

№ 14
июнь
2014 г.



**ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



**ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**И
З
В
Е
С
Т
И
Я**

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

МАТЕРИАЛЫ

***ПЯТНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ***

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

Книга 3

Таганрог – Донецк

УДК 681+531+378+528(06)
ББК 36.25

П63 Известия ЮФУ–ДонНТУ. Материалы Пятнадцатой Международной научно-практической конференции «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х кн. – Таганрог. Изд-во ЮФУ. Кн. 3, 2014, № 14. – 218 с.

В настоящее издание вошли статьи с материалами докладов, представленных на Пятнадцатой Международной научно-практической конференции «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы».

Конференция проводилась 16–19 июня 2014 года в г. Таганроге (Россия). В работе конференции приняли участие сотрудники вузов и предприятий **России**: Южного федерального университета (ЮФУ), Волгодонского инженерно-технического института национального исследовательского ядерного университета Московского инженерно-физического института (ВИТИ НИЯУ МИФИ), Воронежского государственного технического университета (ВГТУ), Юго-Западного государственного университета (ЮЗГУ); **Украины**: Донецкого национального технического университета (ДонНТУ), Красноармейского индустриального института Донецкого национального технического университета (КИИ ДонНТУ), Донецкого физико-технического института (ДонФТИ), Донбасской государственной машиностроительной академии (ДГМА), Донецкой академии автомобильного транспорта (ДААТ), Снежнянского машиностроительного завода «Мотор Сич» (СМЗ «Мотор Сич»), Института экологической безопасности Национального авиационного университета (ИЭБ НАУ).

© Южный федеральный университет, 2014

© Волгодонский инженерно-технический институт национального исследовательского ядерного университета Московского инженерно-физического института, 2014

© Воронежский государственный технический университет, 2014

© Юго-Западный государственный университет, 2014

© Донецкий национальный технический университет, 2014

© Красноармейский индустриальный институт Донецкого национального технического университета, 2014

© Донецкий физико-технический институт, 2014

© Донбасская государственная машиностроительная академия, 2014

© Донецкая академия автомобильного транспорта, 2014

© Снежнянский машиностроительный завод «Мотор Сич», 2014

© Институт экологической безопасности Национального авиационного университета, 2014

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Боровская М.А., д.э.н., проф., ректор ЮФУ (Россия) – сопредседатель;
Минаев А.А., д.т.н., проф., ректор ДонНТУ (Украина) – сопредседатель;
Панычев А.И., к.т.н., доц. кафедры А и РПУ ЮФУ, исполнительный директор «Российско-Украинского университета» (отд. ЮФУ, Россия) – заместитель председателя;
Грубка Р.М., к.т.н., доц. кафедры ТМ ДонНТУ, исполнительный директор «Российско-Украинского университета» (отд. ДонНТУ, Украина) – заместитель председателя;
Башков Е.А., д.т.н., проф., проректор по НР ДонНТУ (Украина);
Федотов А.А., д.т.н., директор ИТА ЮФУ (Россия);
Бутенко В.И., д.т.н., проф. кафедры Механики ЮФУ (Россия);
Грищенко С.Г., к.т.н., директор ИРТС и У ЮФУ (Россия);
Зори А.А., д.т.н., проф., зав. каф. ЭТ ДонНТУ (Украина);
Левченко Г.Г., к.п.н., проф., зав. каф. НЯ ДонНТУ (Украина);
Михайлов А.Н., д.т.н., проф., зав. каф. ТМ ДонНТУ (Украина);
Набиев Р.Н., д.т.н., НИИ ТАП, НААА (Азербайджан);
Навка И.П., к.и.н., проф., проректор по ВС и ВЭД ДонНТУ (Украина);
Пашаев А.М., д.ф.-м.н., проф., ректор НААА (Азербайджан);
Селивра С.А., к.т.н., доц., декан ФИММ ДонНТУ (Украина);
Стефаненко П.В., д.п.н., проф., декан ФРТ и СП ДонНТУ (Украина);
Суслов А.Г., д.т.н., проф. кафедры ТМСА МГИУ (Россия);
Троянский А.А., д.т.н., проф., первый проректор ДонНТУ (Украина);
Турупалов В.В., к.т.н., доц., декан ФК и ТА ДонНТУ (Украина);
Шаповалов Р.Г., к.т.н., доц. кафедры Механики ЮФУ – ответственный секретарь (Россия).

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Боровская М.А., д.э.н., проф., ректор ЮФУ (Россия) – сопредседатель;
Минаев А.А., д.т.н., проф., ректор ДонНТУ (Украина) – сопредседатель;
Грищенко С.Г., к.т.н., директор ИРТС и У ЮФУ (Россия);
Панычев А.И., к.т.н., доц. кафедры А и РПУ ЮФУ – ученый секретарь;
Бутенко В.И., д.т.н., проф. кафедры Механики ЮФУ (Россия);
Навка И.П., к.и.н., проф., проректор по ВС и ВЭД ДонНТУ (Украина);
Башков Е.А., д.т.н., проф., проректор по НР ДонНТУ (Украина);
Грубка Р.М., к.т.н., доц. кафедры ТМ ДонНТУ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

М.А. Боровская (гл. редактор), А.А. Минаев, С.Г. Грищенко, А.И. Панычев, В.И. Бутенко, И.П. Навка, Е.А. Башков, Р.М. Грубка, А.Н. Михайлов, Р.Г. Шаповалов (отв. за выпуск).

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧЕГО СЛОЯ ТОРЦОВОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ СЪЕМА МАТЕРИАЛА ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ ОБРАБОТКЕ

Байков А.В., Феник Л.Н., Кудрявцева С.А.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

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

Abstract: *The results of research of uneven material removal at flat face grinding parts of natural stone products in multipass processing on automatic lines, identified the dominant factors of the technological system, defining uneven removal, suggested ways to improve the geometric accuracy of products.*

Keywords: *mechanical grinding, the amount of material removal, the filling factor of the diamond layer, the tool path.*

Введение. В настоящее время изделия из природного камня (ПК) находят все более широкое применение в машиностроении. Вследствие таких характеристик данных материалов как термостабильность и виброустойчивость из них, в частности, из гранита, изготавливают поверочные и контрольные плиты, станины прецизионных металлорежущих станков и контрольно-измерительных машин.

Причем к изделиям машиностроительного назначения предъявляются высокие требования, как к шероховатости, так и к геометрической точности, в частности, к неплоскостности поверхности. В условиях, когда ширина обрабатываемой поверхности превышает диаметр торцового шлифовального инструмента, требуемая величина отклонения от плоскостности обеспечивается за счет сочетания конструкции алмазоносного слоя инструмента и схемы перемещения инструмента по обрабатываемой поверхности [1, 2].

Одним из наиболее важных этапов обработки деталей из ПК является тонкое алмазное шлифование (ТАШ), т.к. качество поверхности на заданном этапе определяет трудоемкость заключительной операции обработки – полирования. На этапе тонкого алмазного шлифования деталей из природного камня в настоящее время все более активно используется инструмент на полимерном эластичном связующем, обладающий определенной спецификой характера съема материала.

Таким образом, для обеспечения геометрической точности поверхности при тонком алмазном шлифовании изделий из природного камня необходимо определить рациональное сочетание конфигурации алмазоносного слоя торцового шлифовального инструмента и траектории относительного движения обрабатываемой детали и круга.

Материал и результаты исследований.

Аналитическое представление изменения поверхности детали в процессе обработки принято представлять в матричной форме:

$$A_1 = A_0 - B, \quad (1)$$

где A_1 , A_0 – матрицы порядка $m \times n$, отражающие текущие аппликаты, отсчитываемые от базовой поверхности детали в момент времени соответственно t_1 и t_2 ($m \times n$ – число элементарных площадок размером $\delta x \times \delta y$ на поверхности детали);

B – матрица порядка $m \times n$, определяющая величину съема материала по каждой элементарной площадке поверхности детали за время $\Delta t = t_2 - t_1$.

Величина съема материала в каждой точке заготовки определяется путем наложения величин съема при каждом проходе инструмента:

$$z_0 = z_1 + z_2 + \dots + z_n. \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) позволяют определить величину съема материала в любой точке детали при многократном прохождении через нее шлифовального круга. Разница между максимальной и минимальной величиной съема будет характеризовать неравномерность съема, определяемую кинематическими параметрами при данной схеме обработки.

Очевидно, что движение шлифовального круга по поверхности заготовки ведет к различному количеству проходов инструмента в различных зонах заготовки. Кроме того, каждая точка заготовки находится на различном расстоянии от центра перемещения инструмента, что также влияет на неравномерность съема материала. Как показали результаты исследований [3], при перемещении шлифовального инструмента по схеме «зигзаг», наиболее распространенной в настоящее время, величина коэффициента неравномерности съема материала для шлифовальных кругов с различной конструкцией рабочего слоя и при различном сочетании кинематических параметров, не обеспечивается менее величины $\psi=2$, что не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к поверхности указанных деталей.

Для исключения многократного прохождения шлифовального круга по одной и той же элементарной площадке обрабатываемой поверхности предложена схема построчного трассирования с подъемом шлифовального круга при перемещении на очередную строку (рис. 1). Шлифовальный круг перемещается от одного края изделия к другому, приподнимается над обрабатываемой поверхностью до прекращения контакта, смещается на величину, обеспечивающую требуемое значение перекрытия полос обработки, и перемещается в обратном направлении. Далее цикл повторяется.

Предложенная схема позволяет получить регулярную картину наложения полос обработки. Величина съема материала будет постоянной вдоль

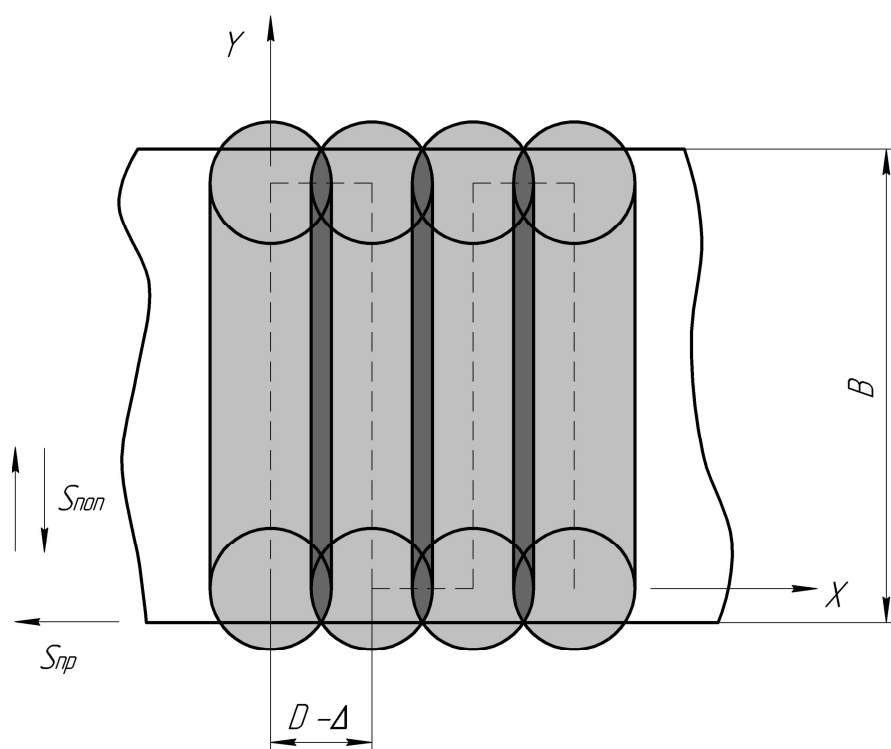


Рис. 1. Наложение полос обработки при движении шлифовального круга по схеме «ступенька с подъемом»

направления поперечной подачи и переменной вдоль продольной подачи. Она будет определяться степенью перекрытия полос обработки Δ и конструкцией алмазосодержащего слоя шлифовального инструмента. Величина съема материала будет описываться следующей системой уравнений (для k -го прохода шлифовального круга по поверхности детали):

$$\left. \begin{aligned} x_k &= x - (k - 1) \cdot (D - \Delta); \\ z_k &= f(x_k) && \text{при } |x_k| \leq R; \\ z_k &= 0 && \text{при } |x_k| > R, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где x и x_k – абсцисса точки поверхности в системе координат соответственно обрабатываемой детали и шлифовального круга;

$f(x_k)$ – функция распределения величины съема вдоль радиуса шлифовального круга;

z_k – величина съема в данной точке поверхности при k -ом проходе;

D – диаметр шлифовального круга;

R – радиус шлифовального круга.

Согласно изложенной методике исследовалось влияние геометрии рабочей поверхности торцового шлифовального круга (алмазосодержащий слой сплошной, в форме радиальных лучей, с вырезами ромбической формы) и степени перекрытия параллельных полос обработки, на неравномерность съема материала. Неравномерность съема материала оценивалась коэффициентом неравномерности Ψ – отношением максимальной точечной величины съема к минимальной. Полученные результаты графически представлены на рис. 2.

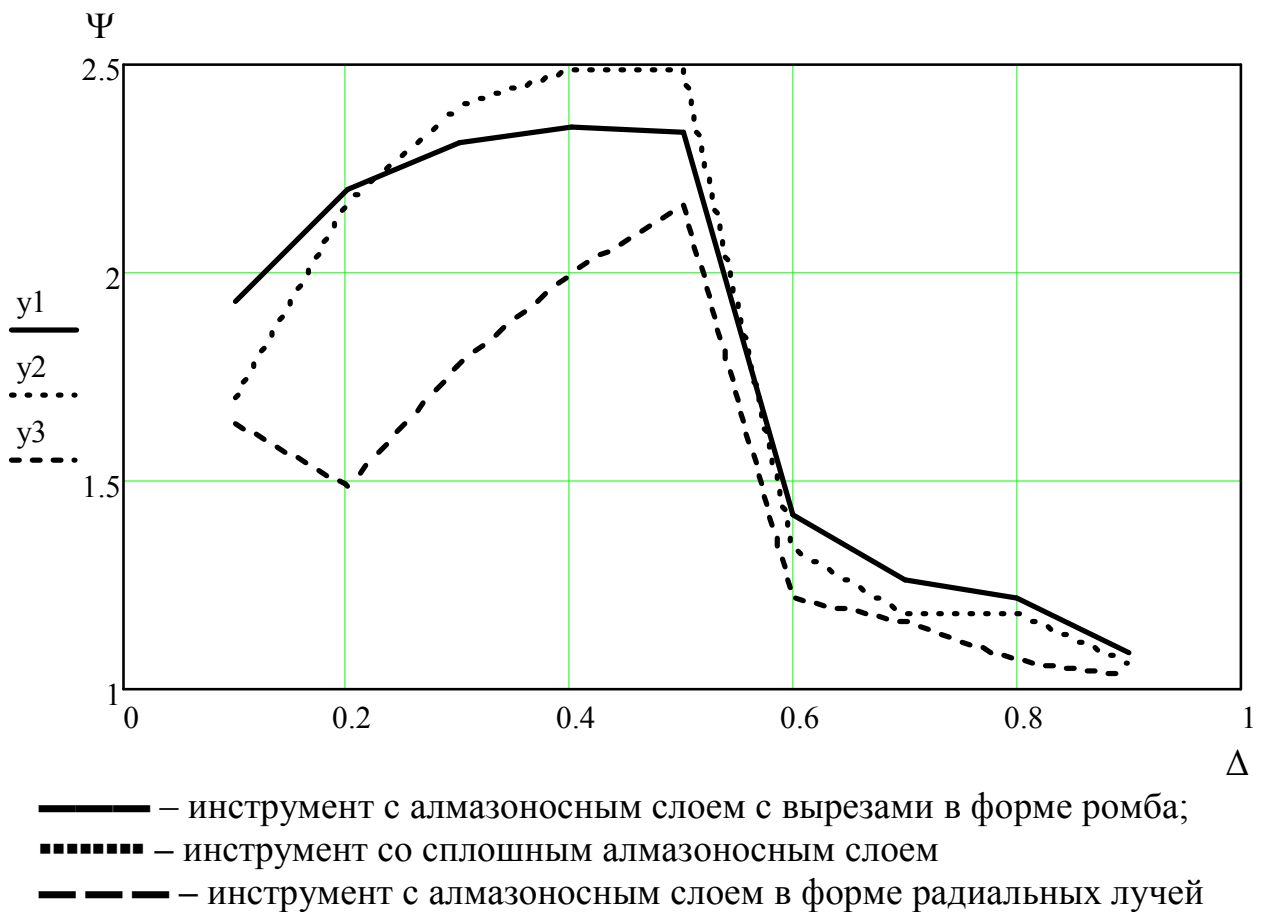


Рис. 2. Зависимость коэффициента неравномерности съема от степени перекрытия полос обработки

Анализ полученных зависимостей показывает, что существенное уменьшение коэффициента неравномерности съема наблюдается при превышении степени перекрытия полос величины $\Delta > 0,5$ для кругов всех рассматриваемых конструкций алмазоносного слоя. Это обусловлено тем, что начиная с этой величины степени перекрытия, рабочая поверхность шлифовального круга многократно проходит по поверхности заготовки. При степени перекрытия $\Delta = 0,6$ количество проходов на различных участках варьируется в пределах $2 \div 3$, при $\Delta = 0,7$ – количество проходов $3 \div 4$, при $\Delta = 0,8$ количество проходов по всем точкам равно 5, а при $\Delta = 0,9$ равно 10. Характерно, что для шлифовальных всех рассматриваемых кругов, с увеличением кратности проходов коэффициент неравномерности приближается к значению $\Psi \approx 1$.

Выводы. При торцовом шлифовании поверхностей, габариты которых превышают диаметр шлифовального круга, на обеспечение геометрической точности влияют конструкция алмазоносного слоя инструмента и схема его перемещения по поверхности заготовки. Характер влияния конструкции рабочего слоя инструмента на неравномерность съема материала определяется коэффициентом заполнения алмазоносного слоя.

Расчеты неравномерности съема припуска для предложенной схемы обработки «ступенька с подъемом» позволили определить рациональную степень перекрытия полос обработки. При удалении необходимого припуска за один проход инструмента по поверхности заготовки, необходимо выбирать минимальную величину степени перекрытия и конструировать рабочую поверхность инструмента, обеспечивающую линейное нарастание величины съема в периферийной зоне шлифовального круга. При удалении припуска за несколько проходов, целесообразно принимать степень перекрытия более чем $\Delta > 0,5$, корректируя режимные параметры обработки. При этом коэффициент неравномерности съема материала будет в $2 \div 2,5$ раза меньше, чем при обработке по схеме «зигзаг», что обеспечит повышение геометрической точности изготавливаемой детали.

Список литературы: 1. Филатов А.Ю. Особенности формирования макро- и микрорельефа плоских поверхностей деталей из неметаллических материалов при алмазном шлифовании / А.Ю. Филатов, В.И. Сидорко, Ю.Д. Филатов // Сверхтвердые материалы. – 2007. – № 6. – С. 48–57. 2. Курілович В.Д. Підвищення ефективності фактурної алмазно-абразивної обробки природного каменю / В.Д. Курілович, С.В. Ковальов, Ю.Д. Філатов // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – Київ. – 2012. – № 64/ – С. 106–112. 3. Влияние конструкции рабочей поверхности торцовых шлифовальных кругов на показатели обработки крупногабаритных деталей / А.В. Байков, Е.А. Чернышев, А.Н. Михайлов, Л.Н. Феник // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XVI международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14–19 сентября 2009 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 64–68.

УДК 621.7.06

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И СТРУКТУРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Буленков Е.А., Бедрицкий М.Н.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел. +38 (062) 3010805; E-mail: bulenkov@ukr.net

Abstract: *The known methods of automatic transfer rotor lines planning do not allow creating multitop-level rotor machines and lines for the production of different kinds of timber wares. Therefore show-but, that is needed the technological and structural perfection for these systems providing.*

The questions of wares routing were decided in the conditions of multitop-level rotor lines, which allowed uniting the group of serial productions in mass. The method of multitop-level instrumental blocks structural synthesis was developed on the base of the offered new principles.

It is suggested to use magnetic conductivity of wares material for interrotor transmission realization in the conditions of multitop-level automatic transfer rotor lines. Possibility of such transmission realization is confirmed experimentally.

The executed researches and offered structural synthesis of multitop-level instrumental blocks method allow to create multitop-level automatic transfer rotor lines in which the group of serial productions unites in mass due to a few wares treatment in one instrumental block.

Key words: multitop-level, routing, instrumental block, technological process, structural synthesis.

Известные методы проектирования автоматических роторных линий не позволяют создавать многономенклатурные роторные машины и линии для производства большого количества различных типоразмеров крепежных изделий. Поэтому показано, что необходимо совершенствование технологического и структурного обеспечения данных систем.

В работе решены вопросы маршрутизации изделий в условиях многономенклатурных роторных линий, что позволило объединить группу крупносерийных производств в массовое. На базе предлагаемых новых принципов в работе разработана методика структурного синтеза групповых инструментальных блоков, обеспечивающих обработку крепежных изделий нескольких типоразмеров.

В работе предложено для осуществления межроторной передачи в условиях многономенклатурных автоматических роторных линий использовать магнитную проводимость материала изделий. Возможность осуществления такой передачи подтверждена экспериментально.

Выполненные исследования и предлагаемая методика структурного синтеза групповых инструментальных блоков позволяют создавать многономенклатурные автоматические роторные линии, в которых группа крупносерийных производств объединяется в массовое за счет обработки нескольких изделий в одном инструментальном блоке.

Список литературы: 1. Клузов И.А. Развитие роторных технологий // Вестник машиностроения. – 2003. – № 4. – с. 46–50. 2. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно–пространственных технологических систем непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с. 3. 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.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ И УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ

Бутенко В.И.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

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

Abstract: The developed method of investigation of thermal conductivity of the material of the surface layer and given the description of the information-measuring system for its implementation. The efficiency of using the designed installation for thermal conductivity of the surface layer at finishing-strengthening treatment of details from different materials are shown.

Key words: layer, the material, the resistance, contact, smoothing, thermal conductivity, loading, processing.

В современных технологических процессах механической обработки поверхностей деталей машин широкое применение находят отделочно-упрочняющие методы обработки [1]. Обоснованный выбор режимов отделочно-упрочняющей обработки (ОУО) невозможен без учёта физико-механических свойств обрабатываемого материала и, в первую очередь, от его температуропроводности [2], во многом зависящего от контактного сопротивления материала поверхностного слоя детали.

Для экспериментального определения контактного сопротивления конструкционных материалов в исследовательской практике широко используется метод стационарного теплового потока [3], в основу которого положено измерение температурного скачка $\Delta\Theta_k$ на плоской контактной границе тестируемых образцов и проходящего теплового потока q . Точность этого метода обеспечивается поддержанием стабильного теплового потока через контакт и надёжной теплоизоляцией исследуемых образцов. При этом термическое сопротивление материала поверхностного слоя образца в зоне контакта R_k определяется по зависимости

$$R_k = \frac{\Delta\Theta}{q}. \quad (1)$$

Основными недостатками данного метода является сложность точного задания и измерения теплового потока, а также строгие ограничения на размер и форму контактной площадки.

Измерение теплопроводности тонких плёнок, образующихся на поверхностях исследуемых образцов после ОУО, основывается на зондовом

методе периодического нагрева. Метод состоит в регистрации температурных колебаний металлического зонда, нагреваемого переменным током с частотой ω . В этом случае теплопроводность материала рассчитывается по амплитуде Θ и фазе φ температурных колебаний зонда. Ограничением этого метода является необходимость точного контроля толщины тестируемой плёнки на поверхности образца.

Для реализации рассмотренных методов экспериментального определения теплопроводности конструкционных материалов необходимы специальные температурные условия. Поэтому наиболее приемлемым для измерения теплопроводности поверхностных слоёв конструкционных материалов после наноструктурирующей ОУО поверхностей деталей машин является метод, основанный на измерении термического сопротивления контакта при периодическом нагреве его тепловым импульсом специального наконечника. Для этого была разработана специальная установка [4], схема информационно-измерительного устройства и общий вид которой представлены на рис. 1.

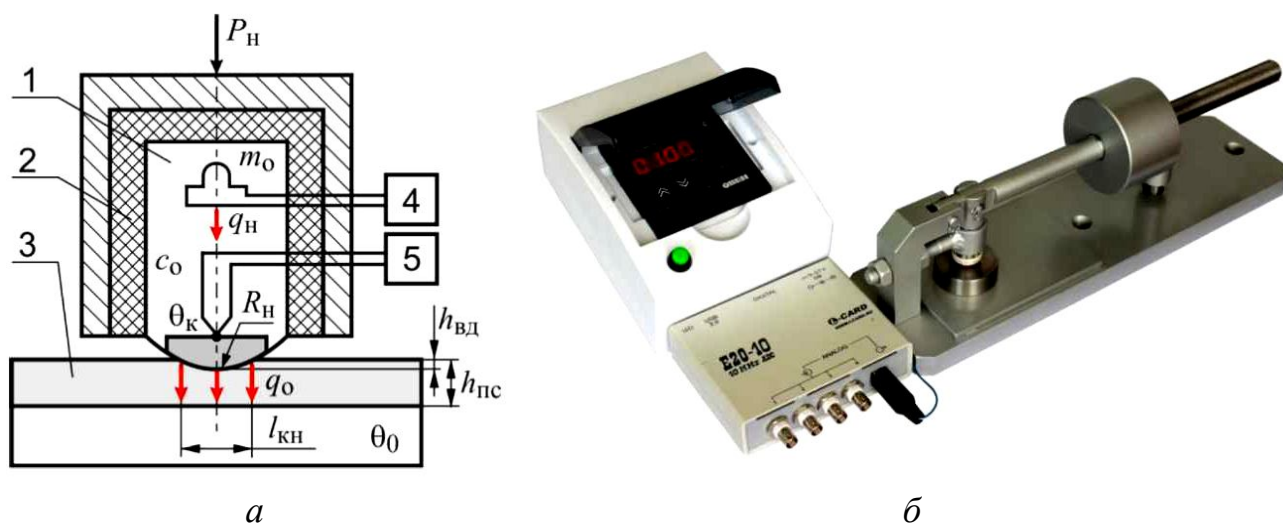


Рис. 1. Схема информационно-измерительного устройства (а) и общий вид установки (б) для определения контактного термического сопротивления материала приповерхностного слоя

Основным элементом информационно-измерительного устройства установки (рис. 1, а) является оправка 1 из материала с высокой теплопроводностью $\lambda > 300$ Вт/м·°С и массой $m \approx 6$ г. Оправка оснащена алмазным наконечником с радиусом $R_n = 1$ мм и имеющим теплопроводность $\lambda \approx 2000$ Вт/м·°С. Оправка нагревается импульсным источником теплового потока 4. Температура алмазного наконечника Θ_k измеряется термопарой с автоматизированным регистратором температуры 5. Термопара встроена в оправку и примыкает к алмазному наконечнику. Импульсный источник тепла за ограниченное время (10 – 30 с) нагревает оправку тепловым потоком q_n до температуры $\Theta_{\text{imax}} = \Theta_0 + 100^\circ\text{C}$, где Θ_0 – температура окружающей среды.

После выключения источника тепла оправка, расположенная в теплозащитном кожухе 2, охлаждается до температуры $\Theta_{пв} = \Theta_{\text{imax}} - 63,6^\circ\text{C}$.

Время охлаждения T_o до температуры $\Theta_{пв}$ зависит как от величины контактного сопротивления материала приповерхностного слоя $R_{\text{кx}}$, так и размера пятна наконечника $l_{\text{кн}}$:

$$R_{\text{кx}} = \frac{1}{\lambda_{\text{пс}} \pi l_{\text{кн}}}. \quad (2)$$

Для обеспечения точности измерения постоянной времени охлаждения $T_{по} = f(\lambda_{\text{пс}}, l_{\text{кн}})$ с помощью регулируемой нагрузки обеспечивается параметр $l_{\text{кн}}$. Глубина внедрения наконечника и размер пятна контакта $l_{\text{кн}}$ выбирается по условию определения теплопроводности $\lambda_{\text{пс}}$ наноструктурированного слоя толщиной до 10 мкм.

Эквивалентная тепловая схема информационно-измерительного устройства установки, определяющей теплопроводность тонкого поверхностного слоя методом теплового импульса, представлена на рис. 2, а. Согласно этой схеме цикл измерения состоит из двух периодов. Первоначально происходит нагрев наконечника от источника тепла q_n с параметрами теплоёмкости c_0 и массы m_0 до температуры $\Theta_k = 100^\circ\text{C}$ за фиксированное время t_n . После окончания периода нагрева (обычно через $t_n = 30$ с) начинается охлаждение наконечника через сопротивление $R_{\text{экв}} = \frac{R_{\text{кx}} R_{\text{п}}}{R_{\text{кx}} + R_{\text{п}}}$, где $R_{\text{кx}}$ – тепловое сопротивление тестируемого материала поверхностного слоя детали; $R_{\text{п}}$ – тепловое сопротивление теплоизоляции установки.

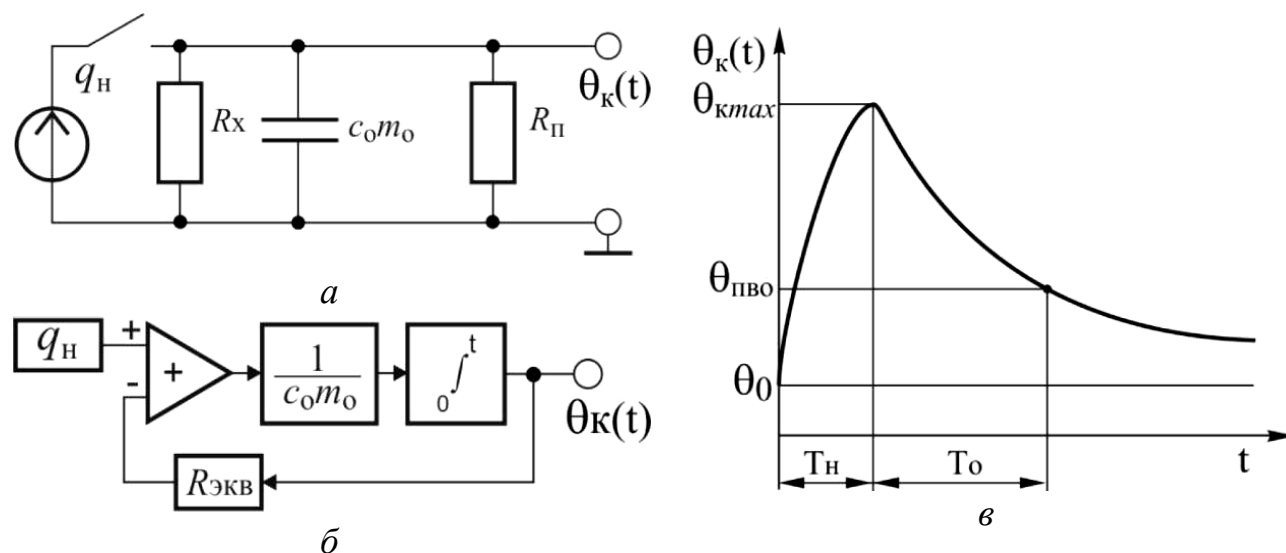


Рис. 2. Эквивалентная тепловая схема измерения теплопроводности наноструктурированного слоя (а), блок-схема численного решения дифференциального уравнения (б) и пример переходных процессов нагрева и охлаждения наконечника (в)

Тарировка информационно-измерительного устройства заключается в экспериментальном построении графика зависимости теплопроводности тестируемого материала поверхностного слоя λ_{nc} эталонных образцов конструкционных материалов от постоянной времени охлаждения наконечника T_{no} . На рис. 3 представлена тарировочная зависимость для определения теплопроводности наноструктурированного материала поверхностного слоя при ОУО деталей.

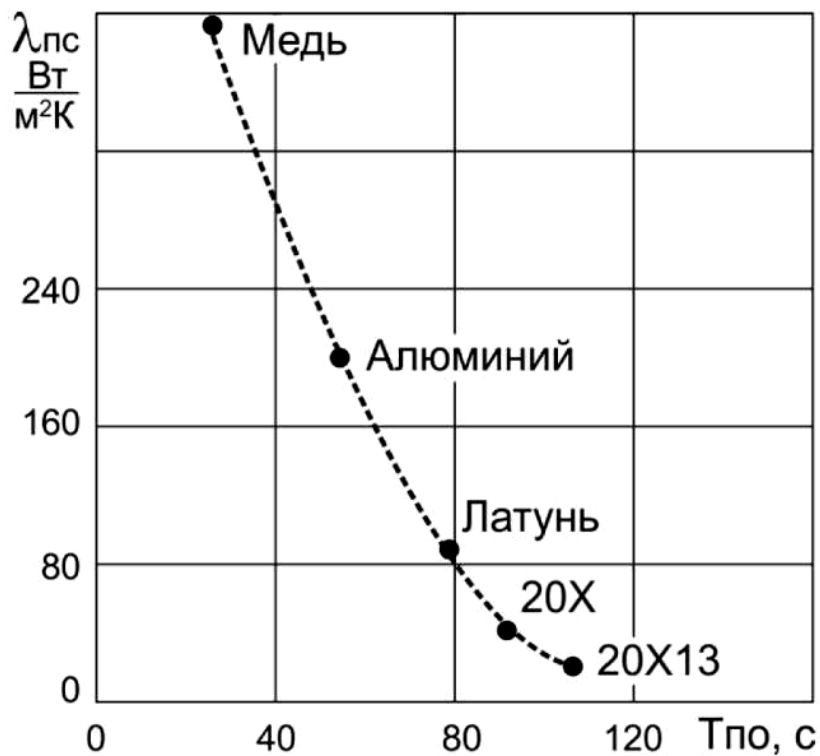


Рис. 3. Тарировочная зависимость для определения теплопроводности материала наноструктурированного поверхностного слоя

Были проведены исследования теплопроводности материала приповерхностного слоя образцов из сталей 20X и 20X13, подвергнутых наноструктурированному выглаживанию на плоских образцах с режимами, указанными в работе [4], с различной кратностью фрикционно-силового нагружения материала N_c и при скорости обработки $v_g = 0,16$ м/с, результаты которых приведены на рис. 4. Среднее значение теплопроводности материала λ_{nc} определялось по результатам десяти последовательно выполненных измерений, при этом максимальное и минимальное полученные значения не учитывались.

Установлено, что теплопроводность материала приповерхностного слоя λ_{nc} стали 20X после чистового точения ($Ra_T = 0,32$ мкм) с исходной величины $\lambda_{nc} \approx 42$ Вт/м·К уменьшается с увеличением кратности нагружения материала поверхностного слоя N_c до значения $\lambda_{nc} \approx 31$ Вт/м·К. После кратности нагружения материала $N_c = 23$ изменение теплопроводности λ_{nc} незначительно и, таким образом, в результате наноструктурирования теплопроводность

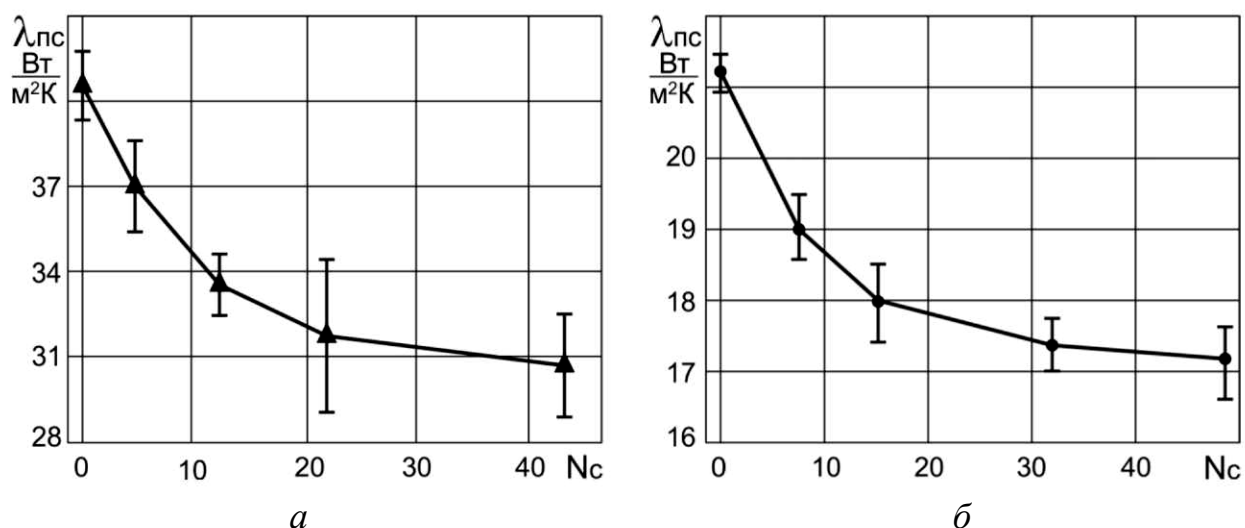


Рис. 4. Изменение теплопроводности приповерхностного слоя $\lambda_{пс}$ образцов из стали 20X (а) и 20X13 (б) от кратности фрикционно-силового нагружения материала наноструктурирующим выглаживанием

материала приповерхностного слоя образцов из стали 20X уменьшается в среднем от 10 до 25 % (см. рис. 4, а). При этом характер изменения величины $\lambda_{пс}$ экспоненциальный.

При экспериментальных исследованиях теплопроводности материала приповерхностного слоя $\lambda_{пс}$ стали 20X13 после чистового точения ($Ra_t = 0,64$ мкм) и многократного нагружения наноструктурирующим выглаживанием установлено её повышение в среднем до 24 % (см. рис. 4, б).

Представленные метод исследования и установка для определения температуропроводности материала поверхностного слоя деталей при ОУО были использованы при изучении структуры и свойств поверхностного слоя деталей трибосистем и решении проблемы повышения их работоспособности технологическими путями [1, 5].

Список литературы: 1. Бутенко В.И. Управление нанотрибологическими характеристиками поверхностей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 385 с. 2. Бутенко В.И. Локальная отделочно-упрочняющая обработка поверхностей деталей машин. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. – 128 с. 3. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н. Контактное термическое сопротивление. – М.: Энергия, 1977. – 328 с. 4. Кузнецов В.П. Теоретическое обоснование и реализация наноструктурирующего выглаживания при обработке прецизионных деталей из конструкционных сталей: Дисс. док. тех. наук. – Курган, 2013. – 341 с. 5. Бутенко В.И. Структура и свойства поверхностного слоя деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 367 с.

ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕЗАНИИ МАТЕРИАЛОВ

Бутенко В.И.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

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

Abstract: *Is made and the mathematical model of process of cutting of materials as system of the differential equations is described. Most effective are revealed and sensitive to changes in dynamics of process of cutting of materials criterion, and also the strategy of division of a spectrum of a vibration-acoustic signal for a quantitative estimation of sets of imitating signals having various amplitude-frequency structure is determined.*

Key words: *a signal, model, system, components, function, spectrum, criterion, dispersion, dynamics, modes of cutting.*

Современное технологическое оборудование, применяемое в машиностроении, характеризуется повышенной точностью и управляемостью (например, станки с ЧПУ), что открывает новые возможности по обеспечению требуемого качества производимой продукции. Для дальнейшего повышения качества металлообработки и более полного использования потенциальных возможностей таких систем необходимо получать в реальном времени достоверную информацию о качестве процесса резания и динамическом состоянии технологического оборудования. При этом информация должна обеспечивать наилучшие решения для управления станками с точки зрения оптимизации процесса резания материалов [1].

Исследования показали [2], что наиболее удобным с точки зрения регистрации физических процессов, протекающих при резании материалов, и возможности применения в многономенклатурном автоматизированном производстве является выделение информации по виброакустическому сигналу, соответствующему колебаниям резца относительно заготовки. Для проведения исследований с целью оценки качества функционирования и мониторинга технологического оборудования в реальном времени необходимо располагать методами выделения полезной информации из виброакустического сигнала [3, 4]. Это и определяет актуальность разработки программно-математической модели идентификации качества динамических процессов при резании материалов, обладающей универсальными возможностями.

Учитывая упруго-напряжённое состояние системы «инструмент – деталь – станок» [5], была составлена следующая математическая модель процесса резания материалов в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases}
m_1 dx_1^2 + c_1 dx_1 + p_1(x_1 - x_n) = Q_y(t); \\
m_n dx_n^2 + c_n dx_n + p_n x_n - p_1(x_1 - x_n) = 0, \\
I_1 d\varphi_1^2 + c_1 d\varphi_1 + p_1(\varphi_1 - \varphi_n) = \frac{DQ_z(t)}{2}; \\
I_n d\varphi_n^2 + c_n d\varphi_n + p_n \varphi_n - p_1(\varphi_1 - \varphi_n) = 0, \\
m_2 dx_2^2 + c_2 dx_2 + p_2(x_2 - x_n) = Q_x(t); \\
m_n dx_n^2 + c_n dx_n + p_n x_n - p_2(x_2 - x_n) = 0, \\
I_2 d\varphi_2^2 + c_2 d\varphi_2 + p_2(\varphi_2 - \varphi_n) = R_u Q_z(t); \\
I_n d\varphi_n^2 + c_n d\varphi_n + p_n \varphi_n - p_2(\varphi_2 - \varphi_n) = 0, \\
m_{1...n} dx_{1...n}^2 + c_{1...n} dx_{1...n} + p_{1...n}(x_{1...n} - x_n) = R_u Q_y(y); \\
I_{1...n} d\varphi_{1...n}^2 + c_{1...n} d\varphi_{1...n} - p_{1...n}(\varphi_{1...n} - \varphi_n) = 0,
\end{cases} \quad (1)$$

где $m_1, \dots, m_n$ – массы движущихся частей исследуемой системы;

$x_1, \dots, x_n$ – координаты положения системы «инструмент – деталь – станок»;

$\varphi_1, \dots, \varphi_n$ – угловые перемещения движущихся частей системы;

$I_1, \dots, I_n$ – моменты инерции движущихся частей системы;

$c_1, \dots, c_n$ – весовые коэффициенты координат положения системы;

$p_1, \dots, p_n$ – весовые коэффициенты угловых перемещений движущихся частей системы;

$Q(t)$ – показатель качества динамических процессов при резании материалов;

D – девиатор показателя качества динамических процессов при обработке материалов резанием;

R_u – показатель, характеризующий динамические свойства технологической системы.

Уравнения (1), описывающие движения динамической системы резания, отображают в основном динамику сервоприводов, т.е. так называемые «медленные» движения под действием обобщённых сил [13]. Формируемые силы от сервоприводов продольного и поперечного движения и вращения шпинделя кинематически взаимодействуют через процесс резания. Сам процесс резания влияет на эти силы, но динамика «быстрых» движений только частично может быть отображена уравнениями (1) как реакция контуров механической системы инструмента и заготовки на приращение соответствующих сил [2 – 4].

Поскольку представленная модель (1) не содержит малых компонент, которые в конечном итоге вызывают эволюционные процессы в динамической системе «инструмент – деталь – станок», была рассмотрена структурная схема формообразующей системы сервоприводов и их взаимодействие через резание с целью выявления возможности выделения эволюционной составляющей динамического процесса.

Известно [4, 6], что передаточные функции приводов поперечной $W_{non}(p)$ и продольной $W_{np}(p)$ подач и передаточная функция шпинделя могут быть

определены лишь для конкретного состояния станка и могут быть использованы для асимптотического анализа процесса. При анализе формообразующей подсистемы следует обратить внимание на многосвязность вектора управления $u(t)$ и возмущений $F(p)$ с формируемыми выходными характеристиками системы, т.е. с макро- и микропараметрами готовой детали. Эта взаимосвязь для всего спектра технологий не имеет аналитического представления и в ряде случаев определена лишь эмпирически. Следовательно, синтез многомерного регулятора не обеспечен апробированным математическим аппаратом. Главная отрицательная обратная связь обычно повышает стабильность динамических характеристик, но в данном случае по выше указанным причинам практически нереализуема. В связи с этим повышение качества управления, мониторинга и детерминированное построение моделей динамических систем в терминах «вход – выход» неосуществимо без дополнительных частных исследований. Этот аспект системы необходимо принять во внимание при идентификации динамических процессов при резании материалов, представив их в общем виде уравнением

$$X_{вых}(t) = F(X_{вх}(t), f(t)). \quad (2)$$

В связи с требуемой универсальностью разрабатываемой системы идентификации качества динамических процессов были рассмотрены существующие методы оценки динамического процесса резания материалов в реальном времени (метод «замороженных» коэффициентов и метод «замороженных» реакций), а также критерии оценки динамических процессов при резании как в частной области (критерий отношения амплитуд спектра), так и во временной области (статистика Херста, интеграл функции Грина).

В результате выполненных исследований было установлено, что метод «замороженных» коэффициентов менее точен и недостаточно оперативен, так как каждый раз необходимо по экспериментальным данным рассчитывать коэффициенты модели в реальном времени и затем вычислять оценку динамического состояния станка. Метод «заторможенных» реакций и оценка на основе интеграла Грина являются оперативными критериями во временной области и позволяют по временным реализациям переходного процесса оценить динамическое состояние системы, но возникают затруднения при идентификации причин неполадок. Наилучшим образом поставленная задача решается в частной области.

Критерий на основе статистики Херста затруднительно использовать в реальном времени из-за большого количества необходимых вычислений для определения значения оценки, т.е. данный критерий не является оперативным. Однако этот критерий можно использовать на этапе исследования систем, чтобы определить глобальные свойства на отдельных этапах резания материалов при изнашивании инструмента, т.е. для качественной оценки динамической системы «инструмент – деталь – станок». Для идентификации в реальном времени эта оценка имеет ограниченные возможности.

Перспективным с точки зрения информативности является интегральный *St*-критерий характеризующий соотношение амплитуд спектра виброакустического сигнала и учитывающий перетекание энергии колебаний из низкочастотной области в высокочастотную область при изменении состояния динамической системы [3]. Эффект перетекания энергии возникает из-за рассеивания энергии, идущей на поддержание колебательного процесса, и связан с диссипативными свойствами динамической системы [5]. Тогда, применяя *St*-критерий, можно количественно оценить этот процесс по выражению

$$St = \sum_{j=1}^m A_j / \sum_{i=1}^n A_i, \quad (3)$$

где A_j – амплитуды на значимых частотах спектра;

A_i – все возможные амплитуды спектра.

Значимость амплитуды обычно определяется по следующему условию:

$$A_j \geq 0,2A_{\max}, \quad (4)$$

где $A_{\max}$ – максимальная величина амплитуды спектра виброакустического сигнала.

Оптимальный режим функционирования станка достигается при $St \rightarrow \min$.

Если спектр является более или менее «ровным», т.е. в нём отсутствует ярко выраженный максимум $A_{\max}$, то значение *St*-критерия будет очень большим, сигнализируя об ухудшении динамического состояния оборудования, в то время как такой вид спектра характеризует стабильную работу станка. В связи с этим целесообразным является использование другого метода реализации спектра на информативную часть и шумы. Таким методом является непараметрический метод, носящий название в разведочном (предварительном) анализе «ящик с усами». Барьер, при выходе за который амплитуды характеризуют неслучайное начало в распределении данных спектра колебаний упруго диссипативной системы, определяется по выражениям [5, 6, 12]:

$$\Delta C = C_2 - C_1; \quad \delta = C_2 + 1,5\Delta C, \quad (5)$$

где C_1 – медиана упорядоченного спектра от первого значения до медианы;

C_2 – медиана спектра от медианы упорядоченного спектра до последнего значения;

ΔC – межквартильный размах (разность между нижней и верхней квартилями).

Стратегии определения значимых амплитуд виброакустического сигнала при идентификации качества динамических процессов при резании материалов в автоматизированном режиме рассмотрены в работе [7].

Известно [8], что процессы, протекающие при резании материалов, носят случайный характер и имеют различную интенсивность, поэтому спектр виброакустического сигнала также изменяется случайным образом. На рис. 1 приведён пример виброакустического сигнала, полученного в технологической системе «инструмент – деталь – станок» с использованием автономного микропроцессорного виброанализатора мод. АУ 014. Следовательно, расчёт числителя и знаменателя *St*-критерия по формуле (3) целесообразно вести с использованием типовых характеристик случайной величины: дисперсии *S* и математического ожидания. Это приводит к следующим математическим моделям:

$$S = \sum_{i=1}^n Amp_i; \quad (6)$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Amp_i; \quad (7)$$

$$S = \sum_{i=1}^n (Amp_i - M)^2, \text{ где } M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Amp_i, \quad (8)$$

где *Amp_i* – амплитуда на значимых частотах спектра, если формула используется для расчёта числителя *St*-критерия, либо амплитуда на незначимых частотах, если формула используется для расчёта знаменателя при расчёте *St*-критерия.

Для выявления наиболее эффективного и чувствительного к изменениям в динамике процесса резания материалов критерия, а также определения стратегии разделения спектра виброакустического сигнала была проведена количественная оценка наборов имитационных сигналов, имеющих различный амплитудно-частотный состав. В результате было установлено, что наиболее реальным при идентификации качества динамических процессов при резании в автоматическом режиме является использование *St*-критерия вида

$$St = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - M)^2}{\sum_{i=1}^n A_i}, \text{ где } M = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m A_j \quad (9)$$

со стратегией разделения спектра только до барьера (5).

В соответствии с зависимостями (6) – (9) была разработана структура программного обеспечения для исследования чувствительности различных моделей расчёта критерия качества спектра к изменениям в динамике процесса резания в реальном времени, а также для мониторинга и подналадки станка при его функционировании. Одновременно были проведены экспериментальные исследования полученного *St*-критерия (9) в производственных условиях ОАО

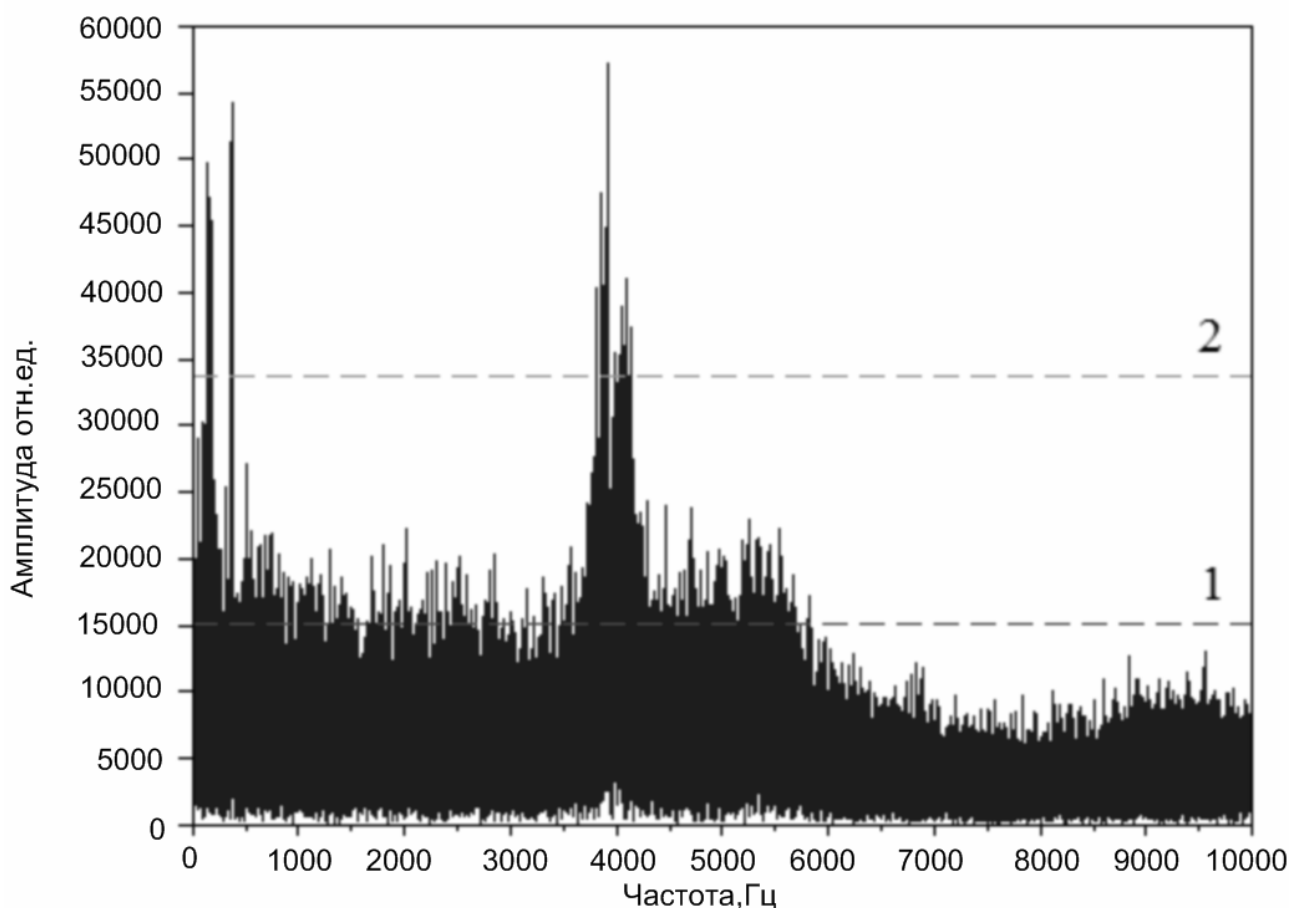


Рис. 1. Иллюстрация виброакустического сигнала, полученного в технологической системе «инструмент – деталь – станок»

«Ейский станкостроительный завод» на токарном станке-автомате мод. 16А20Ф3 при обработке заготовок из стали 35ХГСА резцом с пластиной Т15К6 и глубиной резания 0,5 мм без СОЖ. Частота вращения шпинделя станка n и продольная подача инструмента S_{np} устанавливались в соответствии с табл. 1. Приведённые режимы резания обеспечивали следующие показатели качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей: шероховатость поверхности $Ra = 1,25\text{--}2,5$ мкм, величину технологических остаточных напряжений $\sigma_{ост} = 200\text{--}320$ МПа, толщину упрочнённого слоя $\Delta H = 0,3\text{--}0,5$ мм. На начальном этапе исследований необходимо было определить, является ли зарегистрированный сигнал шумом, а, следовательно, дальнейшее его исследование не имеет значения и режим, для которого был зарегистрирован сигнал, является оптимальным с точки зрения динамики процесса резания материалов (производительность обработки при этом не учитывалось). Для этих целей наилучшим образом подходит стандартный критерий, имеющий название «критерий инверсии» [3]. Данный критерий является одним из наиболее мощных среди непараметрических критериев при определении тенденции в случайном процессе.

Значения частоты вращения шпинделя станка n и продольной подачи инструмента S_{np} в соответствии с номерами режимов резания

Номер режима	n , об/мин	S_{np} , мм/об
1	200	0,10
2	250	0,10
3	315	0,10
4	250	0,15
5	315	0,20
6	400	0,20
7	315	0,15
8	200	0,15
9	200	0,20

Для случайного сигнала, представляющего собой «белый шум», значение «критерия инверсии» равно 1,2698, что меньше критического значения для критерия 1,96 при уровне значимости 0,05. «Критерий инверсий» для виброакустических сигналов, полученных при обработке заготовок из стали 35ХГСА, показал, что во всех зарегистрированных временных рядах присутствует неслучайная составляющая.

Известно [1, 9], что оптимальным является режим функционирования технологической системы, при котором значения St -критерия минимальны. Из рис. 2 видно, что St -критерий принимает минимальное значение на 1 режиме резания, а максимальное – на 6. Одновременно было установлено, что, если в процессе резания материалов значение оценки изменяется незначительно, то при обработке не происходит значимых изменений в динамике резания. Это свидетельствует о том, что на оптимальном режиме идёт стабильная обработка материала.

Оценить значимость процесса изменения тенденции St -критерия можно на основе определения вероятности равенства 0 углового коэффициента [9]. Статистическая проверка гипотезы о равенстве 0 углового коэффициента линии регрессии St -критерия осуществлялась на основе стандартного t -критерия Стьюдента [10]. Табличное значение t -критерия Стьюдента при уровне значимости, равном 0,05, равно 2,0003. Установлено, что для всех режимов резания, приведённых в табл. 1, значения t -критерия Стьюдента превышают табличное значение, т.е. в динамической системе имеют место значимые изменения [1, 5, 6, 8].

Колеблемость значений St -критерия вокруг тенденции количественно характеризует доверительный интервал для неё (рис. 3). Значимость же колеблемости можно оценить, построив линию тенденции стандартных отклонений St -критерия от их среднего значения и оценив значимость её углового коэффициента, либо рассчитав доверительный интервал для неё

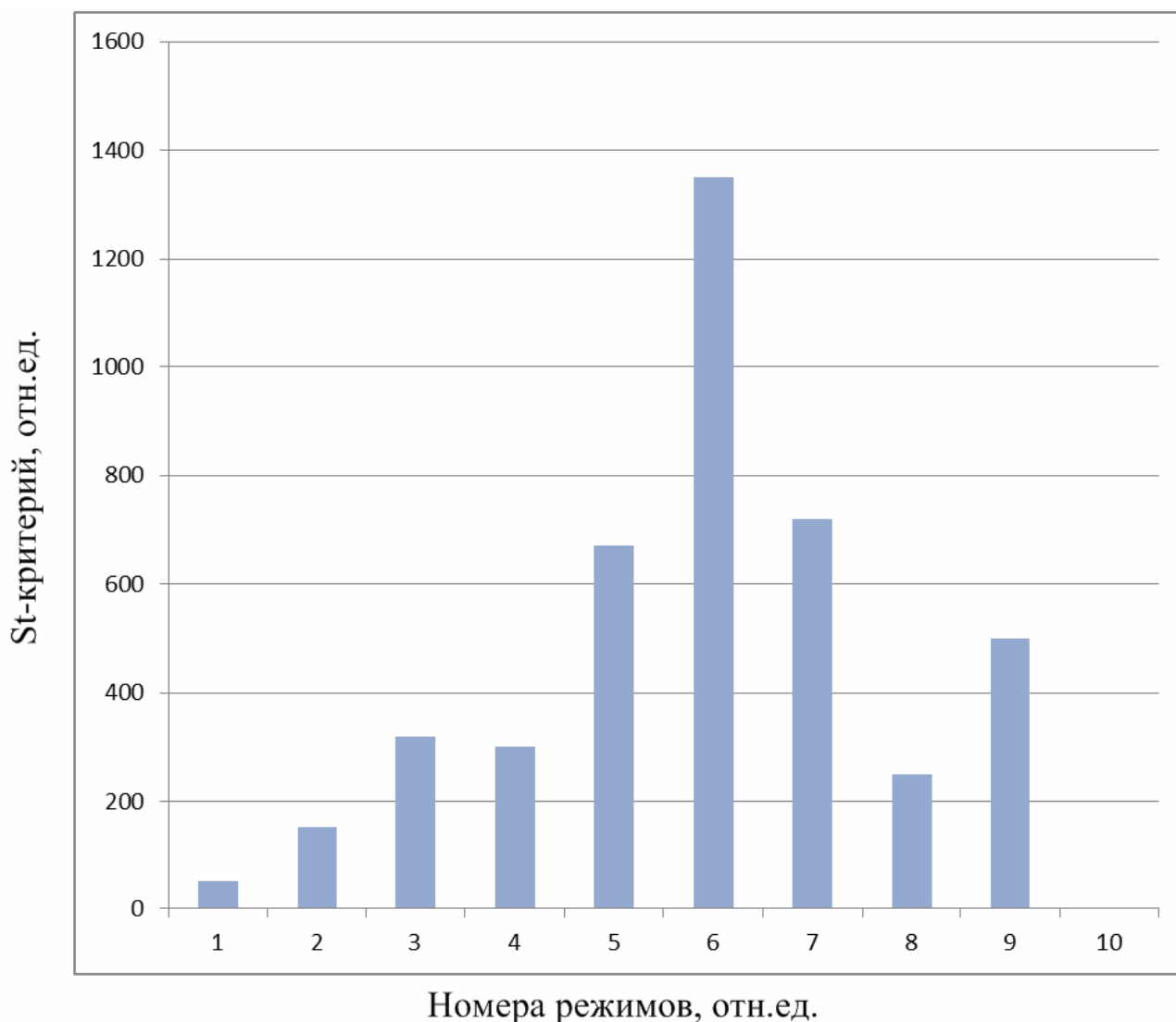


Рис. 2. Изменение значения St -критерия в зависимости от режима обработки заготовок из стали 35ХГСА резцом с пластинкой T15K6

(рис. 4). Как видно из данных, приведённых на рис. 3, 4, наилучший режим резания 1 в обоих случаях имеет минимальные доверительные интервалы.

В результате проведённых исследований было установлено, что даже при наилучших параметрах обработки динамика процесса резания изменяется значительно, т.е. среди исследуемых режимов стабильного резания не было ни на одном из них, но, исходя из значений доверительных интервалов, 1-й режим резания является наилучшим с точки зрения динамики процесса обработки и достижения требуемых показателей качества поверхностного слоя обрабатываемых заготовок (без учёта производительности обработки).

Важной частью процедуры идентификации качества динамических процессов в системе «инструмент – деталь – станок» является определение причин, вызывающих проявление неустойчивости. При этом задача определения причин неполадок сводится к проверке неоднородности данных в выборках из совокупности значений St -критерия, распределённых во времени.

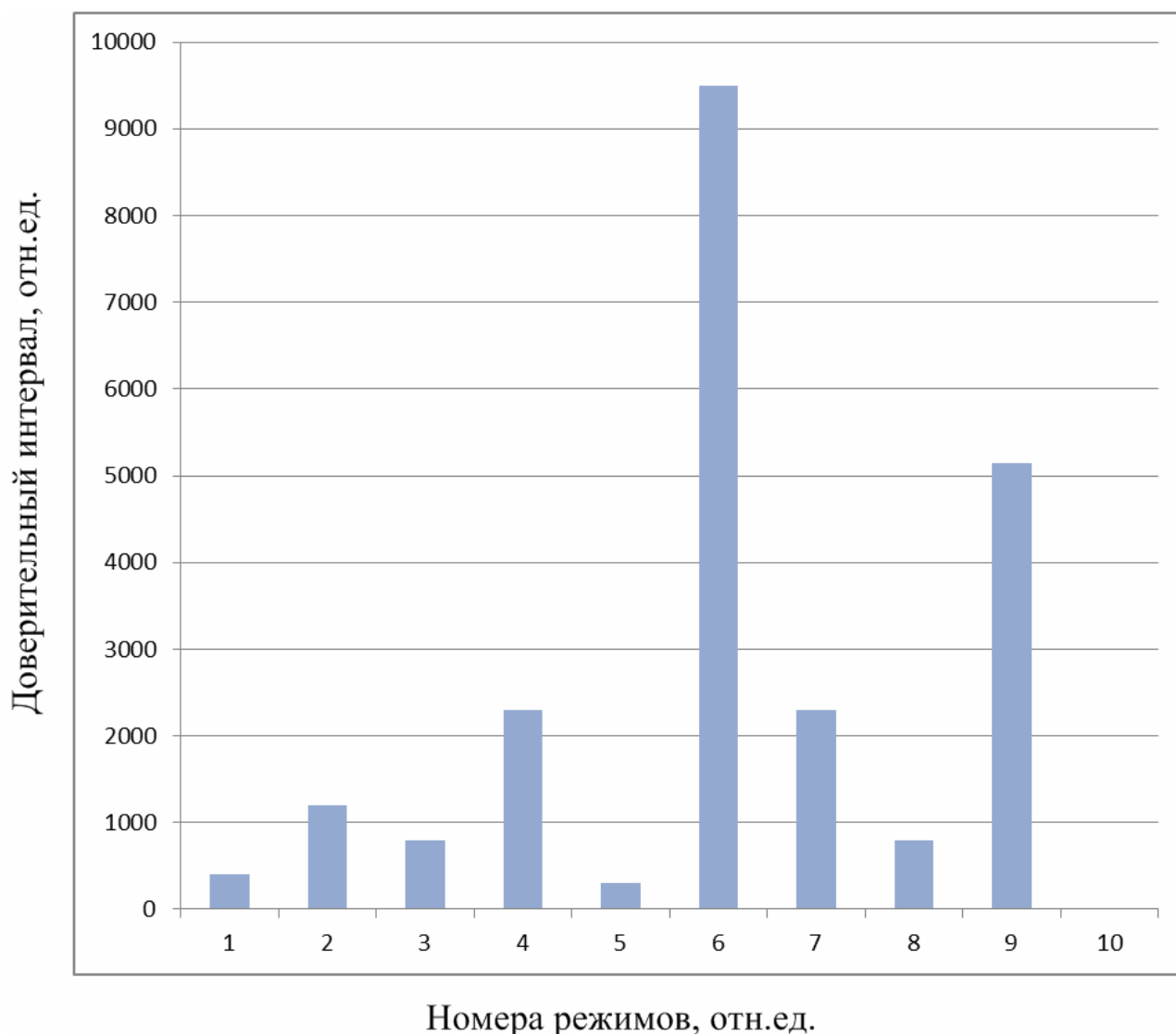


Рис. 3. Изменение значения доверительного интервала линии регрессии St -критерия в зависимости от режима резания заготовок из стали 35ХГСА резцом с пластинкой T15K6

Повышение оперативности и достоверности результатов проверки приводит к необходимости уменьшения объема этих выборок. В этом случае применение стандартных параметрических методов статистического анализа невозможно из-за невозможности выполнения процедуры статистической проверки гипотез о распределении, что означает необходимость применения непараметрических методов дисперсионного анализа. Одним из таких методов является однофакторный дисперсионный анализ Крускала-Уоллиса, позволяющий проверить гипотезу об однородности данных в нескольких выборках [7, 11].

Разработан алгоритм определения причин возникновения нестабильности при статистической обработке данных с использованием анализа Крускала-Уоллиса (рис. 5). Из исходного зарегистрированного сигнала размером N формируется n последовательностей, исходя из следующего. На i -м шаге из исходного сигнала выбирается каждая i -я точка. Для формирования

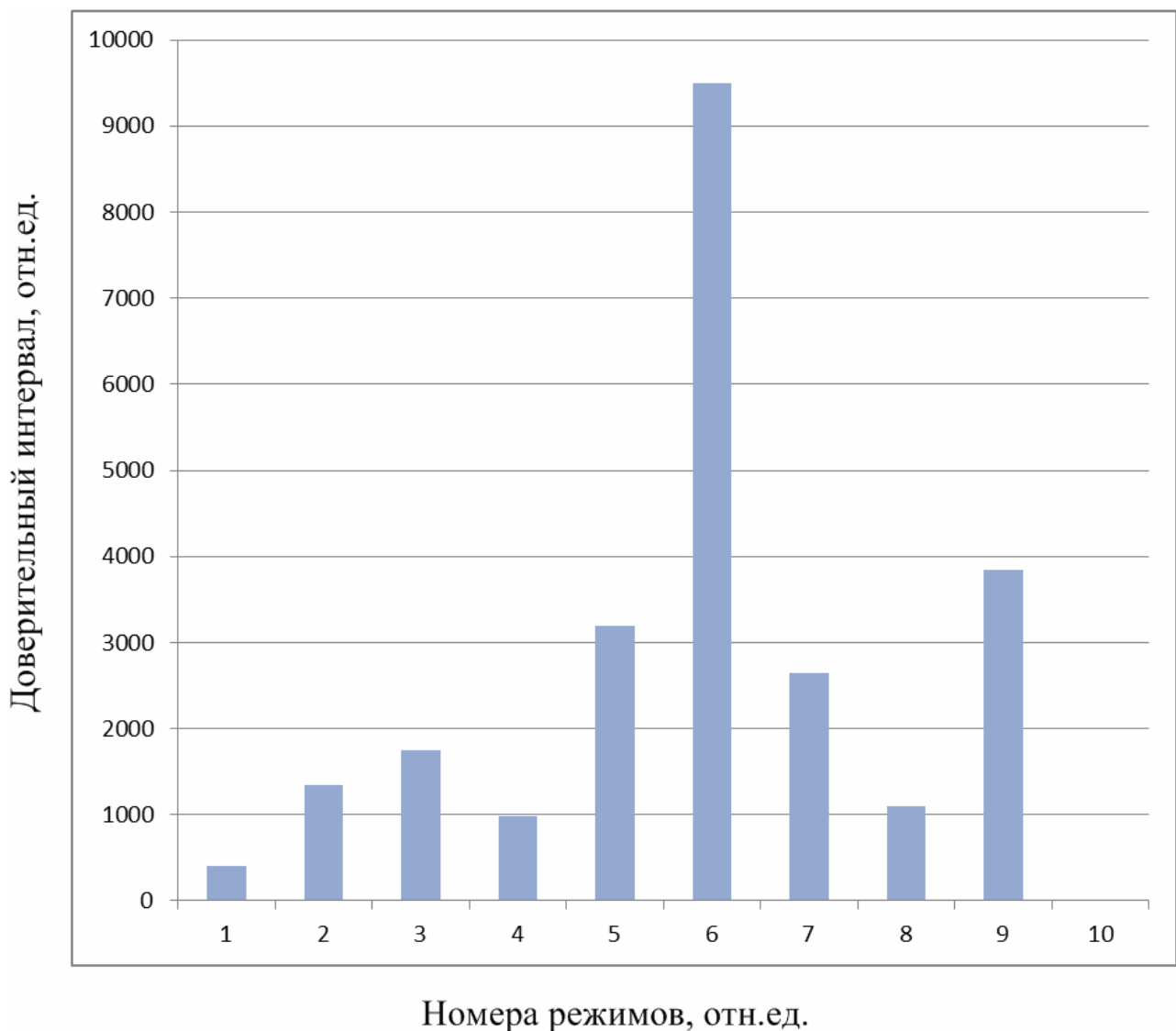


Рис. 4. Изменение значения доверительного интервала стандартных отклонений *St*-критерия в зависимости от режима резания заготовок из стали 35ХГСА резцом с пластинкой T15K6

последовательности точек рассчитывается массив значений *St*-критерия из m точек с шагом $\frac{(N/i - f)}{m}$, где f – количество точек, используемое для преобразования Фурье при расчёте *St*-критерия. Для получения массивов значений *St*-критерий проводится анализ Крускала-Уоллиса и определяются выборки $j_1, \dots, j_k$, в которых данные теряют свою однородность. На основании полученных номеров выборок определяется частотный диапазон, в котором проявляется нестабильность при резании материалов по выражениям $\frac{F}{j_1}, \dots, \frac{F}{j_k}$.

Для более полного исследования динамических процессов технологической системы «инструмент – деталь – станок» при резании материалов был разработан алгоритм идентификации качества динамических

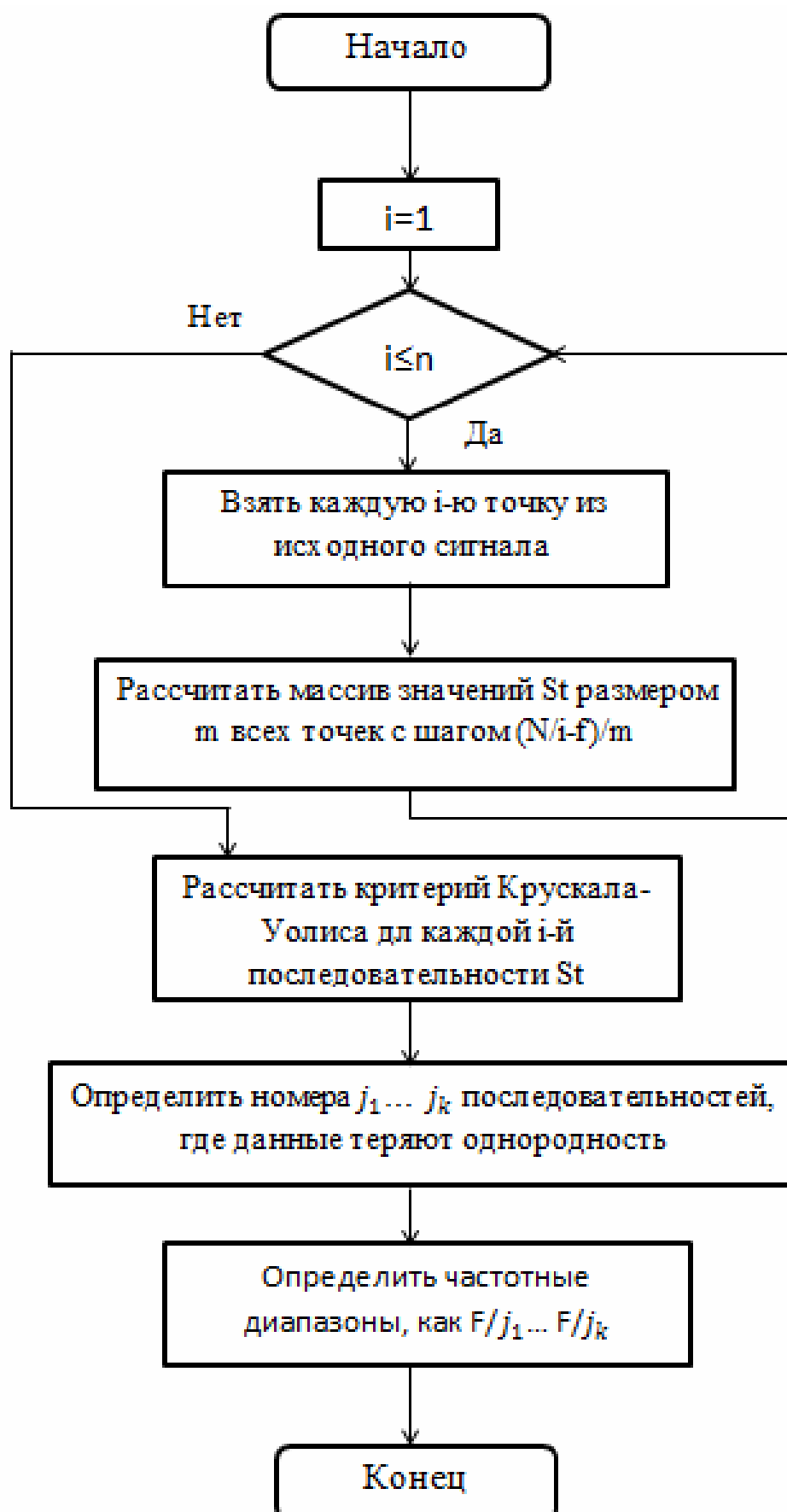


Рис. 5. Алгоритм определения причин нестабильности в системе «инструмент – деталь – станок» при резании материалов

процессов, представленный на рис. 6. В производственных условиях ОАО «Ейский станкостроительный завод» выполнен большой объём экспериментальных исследований (более 1 500 экспериментов) при обработке заготовок из сталей 35ХГСА, 16ГНМА, 12Х3Н и 20ХН с различными режимами резания. В процессе обработки заготовок проводился мониторинг качества динамических процессов. Для этого выделялись линии тенденции в массивах значений St -критерия и его стандартных отклонений, определялись их угловые коэффициенты и рассчитывались доверительные интервалы. Если какой-то из угловых коэффициентов или доверительных интервалов начинал возрастать, то с помощью дисперсионного анализа Крускала-Уоллиса согласно алгоритму, приведённому на рис. 3, 4, выполнялась процедура определения причин этого роста в виде частотного диапазона, в котором выборки St -критерия теряют свойство однородности и с помощью t -критерия Стьюдента принималось решение о виде и степени изменений. При этом руководствовались следующим:

- если возрастает доверительный интервал, то изменения в технологической системе являются незначимыми;

- если значимым является угол наклона линии тенденции в массиве стандартных отклонений St -критерия, то изменения носят параметрический характер и необходимо перейти к первому этапу для поиска нового оптимального режима резания материала;

- если значимым является угол наклона линии тенденции в массиве значений St -критерия, то изменения являются функциональными (например, высока вероятность поломки инструмента) и необходимо прекратить обработку для устранения их последствий.

Таким образом, выполненные исследования и представленные алгоритмы являются основой для разработки программно-математического комплекса, позволяющего определять значения параметров технологического режима резания материалов, которые гарантируют наилучшее качество обработки, а также реализовать процедуру мониторинга динамического состояния системы «инструмент – деталь – станок» с целью определения причин её изменений для принятия решений либо о поиске новых значений режимных параметров, либо о проведении необходимых ремонтно-профилактических работ.

Список литературы: 1. Бржозовский Б.М., Плотников Н.Л. Обеспечение надёжности определения режимов лезвийной обработки для автоматизированного станочного оборудования. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2001. – 88 с. 2. Бровкова М.Б., Мартынов В.В., Свиридов С.В. Обоснование и разработка алгоритма идентификации качества динамических процессов при резании. // Вестник Саратовского гос. техн. университета, 2012, № 4 (68). – Саратов: Изд-во СГТУ. – С. 112–119. 3. Бровкова М.Б., Свиридов С.В., Сидоров Н.С. Разработка системы критериальных оценок состояния сложного технологического оборудования // Вестник Саратовского гос. техн.

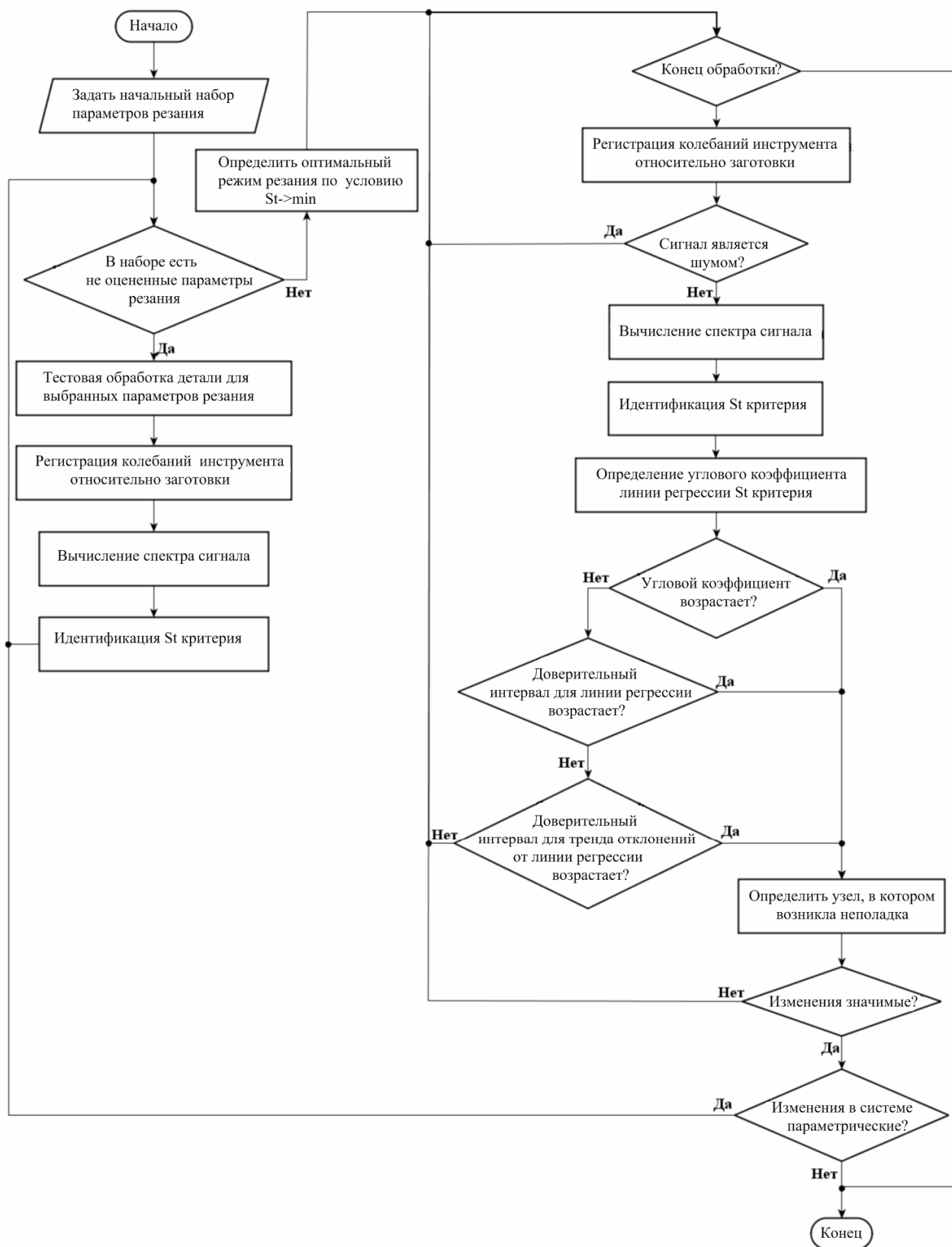


Рис. 6. Алгоритм идентификации качества динамических процессов при резании материалов

университета, 2010, № 51. – Саратов: Изд-во СГТУ. – С. 89–95. **4. Бровкова М.Б., Свиридов С.В., Сидоров Н.С.** Концепция математического моделирования функционирования технологических машин // Вестник Саратовского гос. техн. университета, 2010, № 50. – Саратов: Изд-во СГТУ. – С. 65–70. **5. Заковоротный В.Л.** Нелинейная триботехника. – Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2000 – 293 с. **6. Заковоротный В.Л.** Аттракторы механических систем, взаимодействующих со средой // Известия ТРТУ, 2001, № 5. – С. 132–152. **7. Свиридов С.В.** Обоснование и разработка программно-математического комплекса идентификации качества динамических процессов при резании в автоматизированном режиме /Дисс. на соиск. уч. степени к.т.н. – Саратов, СГТУ, 2013 – 142 с. **8. Бутенко В.И.** Нелинейность процессов при обработке металлов резанием. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. – 224 с. **9. Бржозовский Б.М., Мартынов В.В., Бровкова М.Б., Свиридов С.В.** Оптимизация процесса эксплуатации металлорежущих станков на основе автоматизированной оценки их состояния по интегральным параметрам вибросигналов // Научно-технические технологии в машиностроении и авиадвигателестроении (ТМ-2012): Материалы IV Междунар. научн. – техн. конф. Ч. 1. – Рыбинск: Изд-во РГАТУ, 2012. – С. 83–86. **10. Солонин И.С.** Математическая статистика в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1972. – 215 с. **11. Бровкова М.Б., Хороводова Н.Ю., Беспалова Н.В., Свиридов С.В.** Информационные аспекты оценки качества формообразования сложного технологического оборудования в реальном времени / Инновации и актуальные проблемы техники и технологий: Материалы Всерос. научн.-практ. конф. молодых учёных. Т. 1. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2010. – С. 109–113. **12. Заковоротный В.Л., Семёнова Н.С.** Виброакустическая диагностика трибосопряжений // Вестник ДГТУ. Т. 5, № 1 (23). – Ростов-на-Дону, 2005. – С. 40–49. **13. Гоголев А.Я., Бутенко В.И., Чистяков А.В., Махин Ю.П., Кулинский А.Д.** Технологическая надёжность токарных станков-автоматов и автоматических линий: Учебное пособие. – Новочеркасск: Изд-во НГТУ, 1996. – 81 с.

УДК 621.91

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

Бутенко В.И., Захарченко А.Д.

Инженерно технологическая академия ЮФУ, г. Таганрог, Россия

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

Abstract: *In job is developed and the mathematical model of account of optimum modes of processing of materials by cutting is realized on the personal computer in view of technical restrictions. As major technical restriction the quality of a*

processable surface is accepted, parameter of which roughness was defined on dependence which is taking into account a limit of fluidity of a material and factors of modes of cutting. The graphic dependences of parameters of cutting on a limit of fluidity of a material are given.

Key words: *Modes of cutting; modeling; optimization; parameters of a roughness; the cost price of processing; speed of cutting; depth of cutting; speed of submission; difficultly processable materials.*

Факторы, определяющие обрабатываемость материалов, тесно связаны с физико-механическими свойствами этих материалов, с их химическим составом и структурой. Одни и те же материалы, но различно термически обработанные, обладают различной структурой и различной обрабатываемостью.

Обрабатываемость углеродистых сталей не представляет затруднений для современных режущих инструментов, здесь могут быть применены высокие скорости резания. Обработка специальных сталей и сплавов требует большей жесткости системы СПИД, применения более износостойкого и теплоустойчивого инструмента.

Основными факторами, ограничивающими эффективность обработки сталей с особыми физико-механическими свойствами, являются: большие силы резания, высокие температуры резания, теплофизические свойства, затрудненное стружкообразование, влияние легирующих элементов и характера термообработки, сильная склонность сталей к наклепу и упрочнению, структурные изменения и др. [5].

В то же время отмечается, что строгой определенной зависимости обрабатываемости с физико-механическими свойствами сталей и сплавов не обнаруживается, скорее, наблюдается нелинейность процессов обработки [2].

При разработке технологических процессов обработки различных материалов важное значение имеет правильный выбор и расчет режимов резания, определяющих качество обработки, производительность и технологическую себестоимость деталей.

В работе [1] разработана и реализована на персональном компьютере математическая модель расчета оптимальных режимов обработки материалов резанием с учетом технических ограничений.

Основными техническими ограничениями являлись: стойкость инструмента, мощность электродвигателя привода главного движения; наименьшая и наибольшая скорости резания и подача, допускаемые кинематикой станка; прочность и жесткость режущего инструмента; точность обработки; шероховатость обрабатываемой поверхности [4].

В качестве оценочной функции при оптимизации по трем параметрам n , S , t использовалась удельная минимальная себестоимость

$$F_{\min}=c/(nSt),$$

где c – коэффициент, не зависящий от режимов резания и принимаемый в зависимости от себестоимости обработки.

На основе предложенной математической модели был разработан генетический алгоритм, с помощью которого была решена оптимизационная задача и разработана программа позволяющая установить оптимальные режимы резания при различных входных данных. На рис. 1 представлено рабочее окно программы.

Оптимизация режимов обработки резанием

Меню Введите исходные данные для расчёта

D	36	Npz	-0,15	Nstmin	12,5	E	2100
L	50	Ypz	0,9	Nstmax	1600	I	4096
Rz	12,5	Xpz	0,9	Sstmin	0,05	F	0,05
Yv	0,20	Ng	10	Sstmax	2,8	Cpy	243
Xv	0,15	КПД	0,85	Hp	16	Xn	0,356
Cv	420	Cpz	300	Lp	50	Ys	0,783
Kv	1,0	Kp	1	Npy	-0,30	Zt	1,247
m	0,20	h	2	Ypy	0,60	Cr	15,75
T	60	Bp	12	Xpy	0,90	deltaH	320

Рассчитать Nopt: 1096,633
 Очистить Sopt: 1,484
 Topt: 0,074

# n/n	Nopt	Sopt	Topt
1.	403,429	0,074	0,201
2.	1096,633	0,201	0,201
3.	1096,633	0,201	0,074
4.	403,429	0,074	0,027
5.	1096,633	0,074	0,027
6.	54,598	0,074	0,027
7.	1096,633	1,484	0,074
8.	148,413	0,074	0,027

Рис. 1. Входные данные для расчета

Разрабатывалось данное ПО в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio 2010 на объектно-ориентированном языке программирования C#. Для постройки наглядного приложения был использована система Windows Presentation Foundation (WPF).

•Solution состоит из 3 проектов. В первом WPF приложение, в котором описывается весь пользовательский интерфейс. Второй – логика приложения, третий – генетический алгоритм.

Для запуска и корректной работы программы необходимо установить .NET Framework версии не ниже 4.0. это абсолютно бесплатный набор библиотек, который можно скачать по следующей ссылке:

<http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=24872>.NET

Framework – всесторонняя и согласованная модель программирования Майкрософт для построения приложений, а также возможностью создания разнообразных бизнес-процессов. Файл MainWindow.xaml

```
<Window x:Class="mexanica.MainWindow"
xmlns="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml/presentation"
xmlns:x="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml"
Title="Оптимизация режимов обработки резанием" Height="506"
Width="500" IsEnabled="True"
Icon="/mexanica;component/Images/main_icon.jpg" Left="10" Top="10">
<Grid>
```

Важнейшим техническим ограничением являлось качество обрабатываемой поверхности, параметр шероховатости которой определялся по зависимости

$$R_z = C_R n^{X_n} S^{Y_S} t^{Z_t}$$

Коэффициент C_R и показатели степени в формуле определялись по рекомендациям [3] и приведены в таблице для рассматриваемых материалов.

На рис. 2 приведены графические зависимости, построенные по результатам расчета режимов резания для различных значений предела текучести материалов – стали и параметра шероховатости $R_z = 12,5$.

Значения коэффициентов при R_z для исследуемых материалов

№	Марка стали	σ_m , МПа	C_R	X_n	Y_S	Z_t
1	10	200	18,86	0,276	0,887	1,342
2	12Х3Н	250	18,05	0,284	0,874	1,325
3	20Х	280	17,29	0,301	0,809	1,306
4	35	300	16,41	0,314	0,801	1,254
5	30ХГСА	320	15,75	0,356	0,783	1,247
6	38ХМФА	340	15,07	0,362	0,766	1,238
7	40Х	350	14,38	0,395	0,742	1,196
8	50	400	12,26	0,408	0,715	1,107
9	60ГС	450	10,64	0,417	0,684	1,009
10	110Г13Л	500	8,25	0,429	0,632	1,004

Остальные входные параметры, входящие в расчетные формулы приведены в таблице и на рис. 2.

Предварительный анализ этих зависимостей позволяет сделать такие выводы:

1. Подтверждается нелинейная зависимость режимов резания от физико-механических свойств материалов;
2. Исследуемые материалы, приведенные в таблице, отличаются существенно по своим свойствам, поэтому полученные зависимости можно оценивать только с качественной стороны; нельзя сравнивать количественно материалы, имеющие разный химический состав.

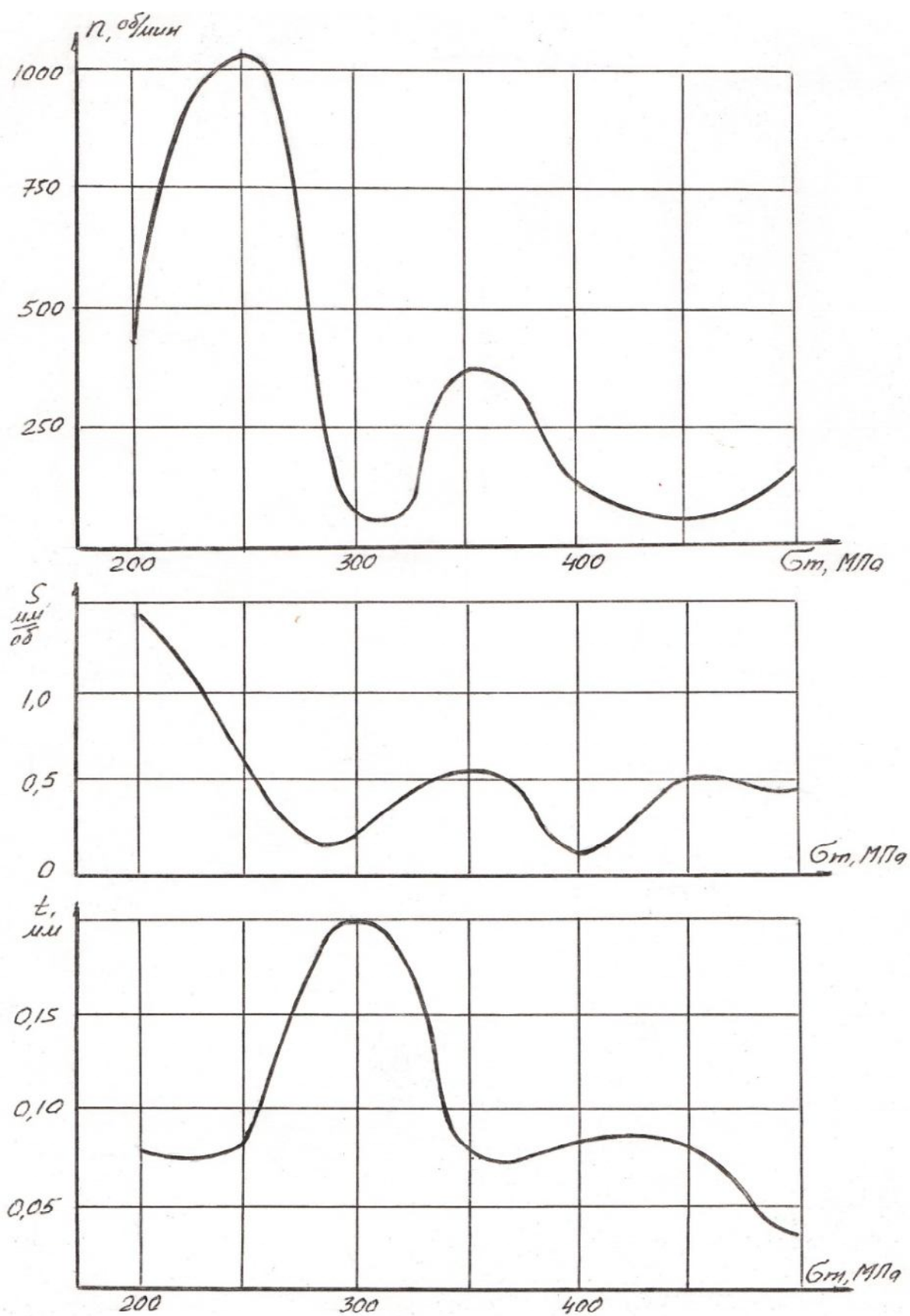


Рис. 2. Зависимость параметров резания от предела выносливости материала при $R_z = 12,5$

3. При расчете программа выдает несколько вариантов сочетаний оптимальных параметров n , S и t , поэтому необходим дальнейший более глубокий анализ результатов с целью получения однозначного ответа.

В заключение следует отметить, что оптимизацию обработки резанием труднообрабатываемых материалов следует осуществлять в зависимости от структуры материала и допустимой (требуемой, заданной) производительности.

Список литературы: 1. Захарченко А.Д., Бутенко В.И., Филиппов Д.П. Оптимизация режимов обработки резанием // Материалы 13 н/т семинара Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы. № 12. Кн. 3. Донецк–Таганрог, 2012. – С. 116–120. 2. Бутенко В.И. Нелинейность процессов при обработке металлов резанием. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. – 224 с. 3. Бутенко В.И. Структура и свойства материалов в экстремальных условиях эксплуатации. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 264 с. 4. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. 5. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с.

УДК 621.874.7

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕКОТОРЫХ УЗЛОВ КРАНОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

Водолазская Н.В., Семейко М.А.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел. +38 (062) 3047723; E-mail: vnv26@bk.ru

Abstract: *In the paper the problems of mechanization of lifting operations with the help of overhead traveling crane are reviewed. The factors resulting in to breakings of crane and its units are studied. The measures permitting to increase working capacity and operating reliability of some units of overhead traveling crane are suggested.*

Key words: *overhead traveling crane, working capacity of units, reason of breakings, operating reliability*

Для механизации разнообразных подъемно-транспортных операций при сборке и изготовлении машиностроительной продукции, в технологических процессах металлургической промышленности, а также в строительной индустрии ведущее место занимают мостовые и краны. Очевидно, что применение современных моделей таких 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. Обновление фондов производится крайне медленно: при общепринятой норме 8–10 % ежегодно обновляется не более 1 % кранового парка. При этом по оценкам ряда специалистов [1–6], к моменту окончания нормативного срока службы у 80–85 % кранов остаточный ресурс не исчерпан. Это объясняется не только значительным разбросом их долговечности в зависимости от свойств материалов конструкций и условий эксплуатации [7], 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, а также выявление узлов конструкции машин, которые наиболее часто приводят к поломкам и простоям оборудования, работающего в условиях агрессивной среды.

Целью данной работы является проведение анализа работоспособности отдельных узлов кранового оборудования, в частности работающего в условиях агрессивной среды, для повышения надежности и безопасной эксплуатации мостовых кранов.

Для решения поставленной задачи необходимо проанализировать причины отказов, в результате анализа было выявлено, что наиболее распространенными из них являются механический и коррозионный износ, появление трещин и различных деформаций [8].

Характерные причины выхода из строя сборочных единиц мостовых кранов, работающих в условиях агрессивной среды, представлены в табл. 1.

Для устранения негативных факторов влияния на сборочные узлы мостового крана, необходимо выявить, на работу каких из них оказывает наибольшее влияние агрессивная среда, в данном контексте под агрессивной средой подразумевается повышенная запыленность известняковой пыли и работа на открытой площадке. На основании проведенных ранее теоретических исследований [9] была построена гистограмма, приведенная на рис. 1, где номинальная продолжительность работоспособности сборочной единицы принята за 100 %, а продолжительность работы в условиях агрессивной среды соответственно в процентном отношении к номинальной. Цифры по горизонтальной оси гистограммы соответствуют наименованиям сборочных единиц, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Причины отказов сборочных единиц мостовых кранов

№ п/п	Наименование сборочной единицы	Перечень деталей рассматриваемого узла	Основные причины отказов
1	Зубчатая муфта	Зубчатая втулка Зубчатая обойма	Механический износ зубьев
2	Тормоз	Тормозной барабан Рычаги Тормозные колодки Пальцы Пружина Шток	Механический износ Коррозийное разрушение Разработка отверстий под пальцы Механический износ Усталостное разрушение Коррозийное разрушение
3	Редуктор	Корпус Крышка Входной вал- шестерня Промежуточный вал-шестерня Выходной вал Подшипники качения	Механический износ и излом зубьев, Износ посадочных размеров, Ослабление шпоночных пазов Износ дорожек и тел качения
4	Грузовой барабан	Барабан Вал барабана Корпус опоры	Механический износ ручьев Износ посадочных размеров Коррозийное разрушение
5	Блочная система	Щека Болты соединения щек Траверс Крюк	Деформация Коррозийный износ Механический износ Механический износ, коррозийное разрушение
6	Подшипниковый узел	Подшипник качения	Механический износ тел качения
7	Ходовое колесо		Механический износ реборд, поверхности качения

Из рис. 1 видно, что на продолжительность работоспособности мостового крана наибольшее влияние оказывают, прежде всего, такие узлы как редуктор, блочная система и ходовое колесо, так как продолжительность их работоспособности в условиях агрессивной среды составляет соответственно 68 %, 73 % и 76 % по отношению к номинальной.

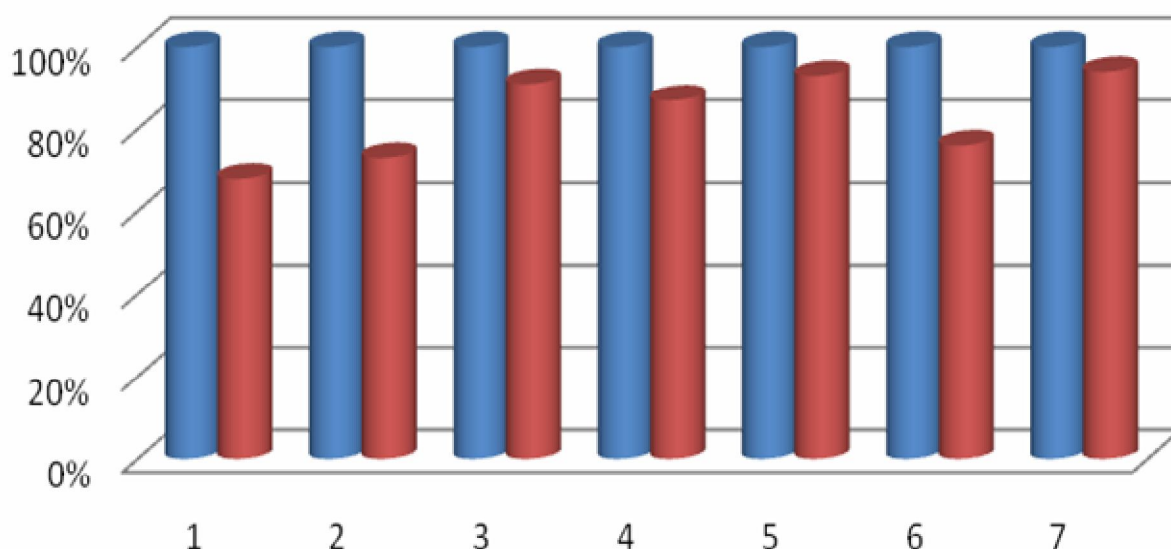


Рис. 1. Гистограмма продолжительности работоспособности сборочных узлов

Конкретные виды и причины отказов отдельных узлов можно рассмотреть на примере грейферного мостового крана грузоподъемностью 10 тонн, который используется в известняково-обжигательном цехе комбината «Азовсталь» г. Мариуполь (табл. 2). В таблице приняты такие обозначения:

P_p – процентное соотношение видов отказов, где за 100 % приняты все причины отказов в работе данного крана,

$P_{пр}$ – время, необходимое для устранения неполадки в процентном соотношении, где за 100 % принято все время простоя крана.

Наглядную иллюстрацию приведенных в табл. 2 данных дает диаграмма, представленная на рис. 2.

На основании представленной диаграммы можно сделать выводы, что на безопасность эксплуатации рассмотренного в качестве примера грейферного мостового крана наибольшее влияние оказывают проблемы связанные с ненадежной работой муфты $P_p=28\%$, $P_{пр}=26\%$; тормоза $P_p=19\%$ $P_{пр}=24\%$ и подвода электропитания $P_p=21\%$, $P_{пр}=20\%$. Именно эти факторы существенно снижают безопасность работы крана и уменьшают его эксплуатационные возможности.

Список литературы: 1. *Абрамович И.И.* Грузоподъемные краны промышленных предприятий: Справочник / *И.И. Абрамович, В.Н. Березин, А.Г. Яуре.* – М.: Машиностроение, 1989. – 360 с. 2. *Богинский К.С.* Мостовые и металлургические краны / *К.С. Богинский, Ф.С. Зотов, Г.М. Николаевский.* – М.: Машиностроение, 1970. – 300 с. 3. *Болотин В.В.* Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с. 4. *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. 5. *Москвин П.В.* Диагностика и прогнозирование остаточного ресурса сварных металлоконструкций мостовых

Анализ работоспособности узлов грейферного мостового крана

№ п/п	Виды отказов	Причины отказов	Пр. %	Последствия отказа	Пр. %
1	Заклинивание подшипников	Недостаток смазки, попадание известняковой пыли	9	Приостановка работы	7
2	Опасная работа грейфера	Затвердевание смазки при понижении температуры, попадании известняковой пыли	13	Перетирание роликов, перетирание каната, ухудшение работы, грейфера	17
3	Ненадежная работа тормоза	Попадание смазки на вал, слабое прижимное усилие, подвержен температурным изменениям	19	Недостаточно быстрое торможение	24
4	Ненадежный подвод электропитания	Намерзание на токопроводе при снижении температуры	21	Выход из строя электродвигателей	20
5	Ненадежная работа муфты	Ревверсивные нагрузки	28	Поломка муфты, попадание смазки на тормозные колодки, выход из строя тормоза	26
Нерассмотренные виды поломок			10		6

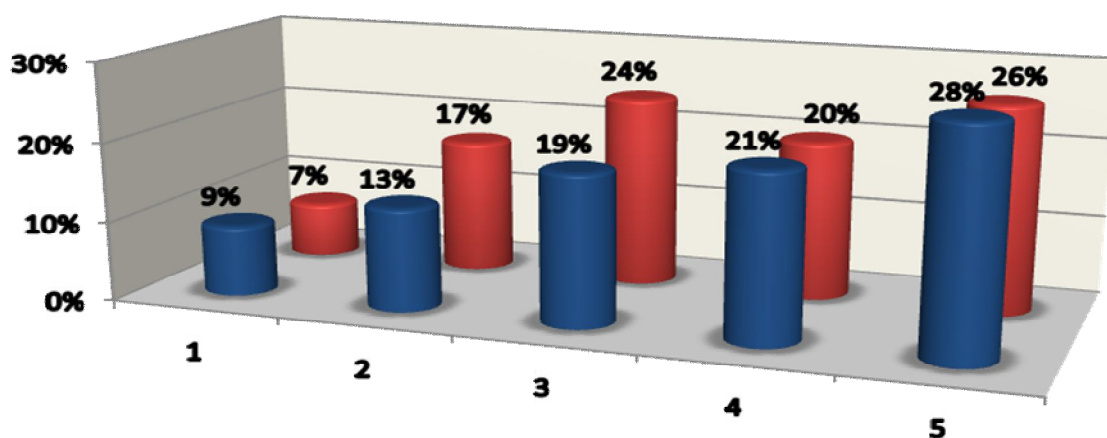


Рис. 2. Диаграмма анализа работоспособности мостового крана

кранов с использованием металлических пленок // Дефектоскопия. – 2007. – № 12. – С. 86–98. 6. Пакаянко Н.Н. Безопасность подъемных сооружений / Н.Н. Пакаянко, В.С. Котельников. – М.–Астрахань: Изд-во Астраханского государственного университета, 2004. – 593 с. 7. Водолазская Н.В. К вопросу повышения надежности и безопасной эксплуатации мостовых и металлургических кранов за счет оценки их остаточного ресурса // Материалы 14 Междунар. научно-практического сем. «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы» (г. Донецк, 15–18 апреля 2013 г.). В 3-х томах. Т. 3. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 182–187. 8. Старостина Ж.А. Определение остаточного ресурса механической части мостовых кранов, работающих в агрессивной среде / Ж.А. Старостина, А.Е. Диев // Техника и технологии. – 2007. – № 3. – 3 с. 9. Водолазская Н.В. Анализ работоспособности отдельных узлов грейферного мостового крана в условиях агрессивной среды / Н.В. Водолазская, М.А. Семейко // Подъемно-транспортное оборудование и логистика. Матер. 2-ой студ. научн.-техн. конф. в г. Донецке, 18–19 апреля 2012 г. – Донецк: ДонНТУ, 2012. – С. 65–68.

УДК 621.311.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧЕЛОВЕКОПОДОБНОГО РОБОТА

Голубов А.Н., Горобец И.А.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./факс: +38 (062) 3010805; E-mail: gorobec@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: *Simulation of transient process in moving system of humanoid robot by using programs COMSOL and SolidWorks. What features have the system of moving the robot? What kind of waves and deformations arise during moving of robot. What type of upgrade for the test robot? What kind of materials, that we can use for production of robots? What can we do, for production of ideal type of moving system?*

Key words: *robot, program, simulation, deformation, wave, carbonfibre.*

Одним из направлений развития робототехники является создание человекоподобных роботов – андроидов, которые способны заменить человека при выполнении работ в неблагоприятных и небезопасных условиях работы. В работе рассматриваются вопросы проектирования этих роботов и использовании при проектировании современных CAD- и CAE-систем.

Дальнейшее развитие техники и все более возрастающие требования к замене монотонного человеческого труда работой автоматов, особенно в опасных (радиация, взрывчатые материалы) или недоступных (глубины моря,

космос) зонах, привело к созданию «умных» машин – роботов, обладающих близким к человеку «богатством» выполняемых движений и некоторым «искусственным интеллектом», позволяющим автоматически принимать решения и выбирать из этого «богатства» те движения, которые необходимы для выполнения технологической задачи даже в не полностью определенных (по информации) средах.

До настоящего времени термины «робот» и «искусственный интеллект» не нашли общепринятого определения, не оговорены никакими международными стандартами. Есть только некоторые варианты, предлагаемые различными учеными. Например, в 1971 г. академик М.В. Келдыш дал следующее определение: «Робот – это машина, выполняющая механическую работу с повышенным уровнем автоматизма». Термин «робот» полностью укладывается в понятие, строго определенное в теории машин термином «автомат», который был введен в 1962 г. академиком И.И. Артоболевским и профессором А.Е. Кобринским: «Автомат – агрегат, представляющий собой систему механизмов и устройств (электронных, электрических, пневматических, гидравлических), в которой полностью механизированы, т.е. выполняются без непосредственного участия человека, процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации» [1].

Одно из направлений развития робототехники является создание человекоподобных роботов – андроидов (рис. 1).

При разработке конструкции таких одним из объектов проектирования является система перемещения робота, имитирующая нижние конечности человека. Элементом этой системы является подсистема, имитирующее



Рис. 1. Человекоподобный робот

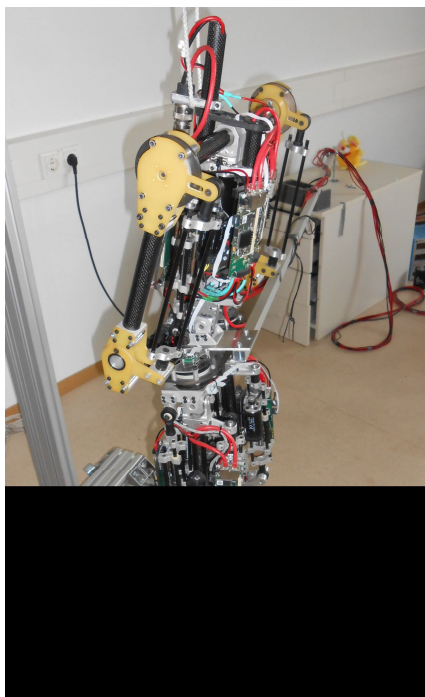


Рис. 2. Робот ROTTO

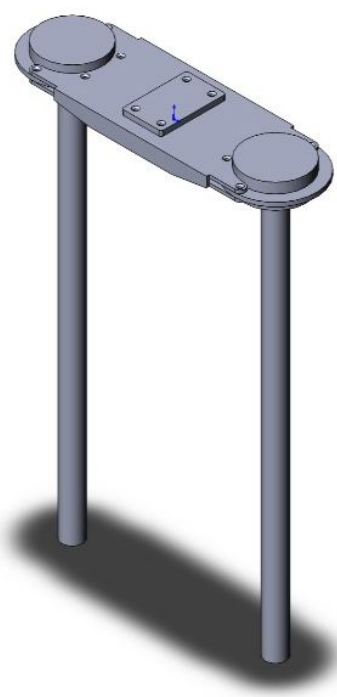


Рис. 3. Расчетная сборка

тазовую кость человека. Рассматриваемый робот (рис. 2) имеет заданную конструкцию и задачей исследования является уточнения возможностей модернизации узлов робота. Задачами, которые решаются при исследовании этого узла, является определение перемещений и деформаций возникающих в элементах этого узла при перемещении робота. Упрощенная динамическая модель этой подсистемы показана на рис. 3.

Для определение напряжений и деформаций возникающих в системе могут использоваться современные CAD-системы (Компас, SolidWorks, AutoCAD) сочетании с CAE-системами (COMSOL, Ansys).

Данные программы позволяют моделировать некоторые процессы, которые могут протекать в проектируемом изделии и позволить внести изменения в его конструкцию до изготовления опытных экземпляров изделия и как следствие сэкономить как трудовые, так и материальные ресурсы.

При моделировании использовались пакеты SolidWorks и COMSOL.

САПР SolidWorks® CAD – это пакет для автоматизированного проектирования изделий, позволяющее конструкторам быстро набрасывать эскизы идей, экспериментировать с элементами и размерами и создавать модели и подробные чертежи. В программе SolidWorks используется трехмерный подход к проектированию. При проектировании детали создается трехмерная твердотельная модель. На основе этой модели можно создавать двухмерные чертежи трехмерных сборок. При проектировании модели с помощью программы SolidWorks можно придать ей большую наглядность по всем трем измерениям, то есть представить модель в том виде, в котором она будет при производстве. Simulation помогает протестировать проект на компьютере, вместо дорогостоящих и долгих испытаний в условиях эксплуатации.

COMSOL Multiphysics является пакетом для анализа методом конечных элементов с решателем и программным обеспечением для моделирования. Пакет программного обеспечения для различных физических и инженерных приложений. COMSOL Multiphysics также предлагает обширные возможности для MATLAB и наборы инструментов для большого количества программ, возможность предварительной обработки и постобработки. Пакет является кросс-платформенным (Windows, Mac, Linux). Ранняя версия (до 2005 года) COMSOL Multiphysics называлась FEMLAB.

Разработанная модель робота была импортирована при помощи надстроек COMSOL для SolidWorks. Надстройка предназначена для интеграции возможностей COMSOL в SolidWorks.

В качестве примера был проведен анализ сборки (рис. 4) представляющей собой расчетную модель тазовой кости человекоподобного робота. Программа позволяет задать условия закрепления, силы, воздействующие на объекты сборки и соединения между элементами сборки.

Итогом расчетов стали графики смещения точек, наблюдаемых на модели (рис. 5), а также деформации в местах крепления (рис. 6).

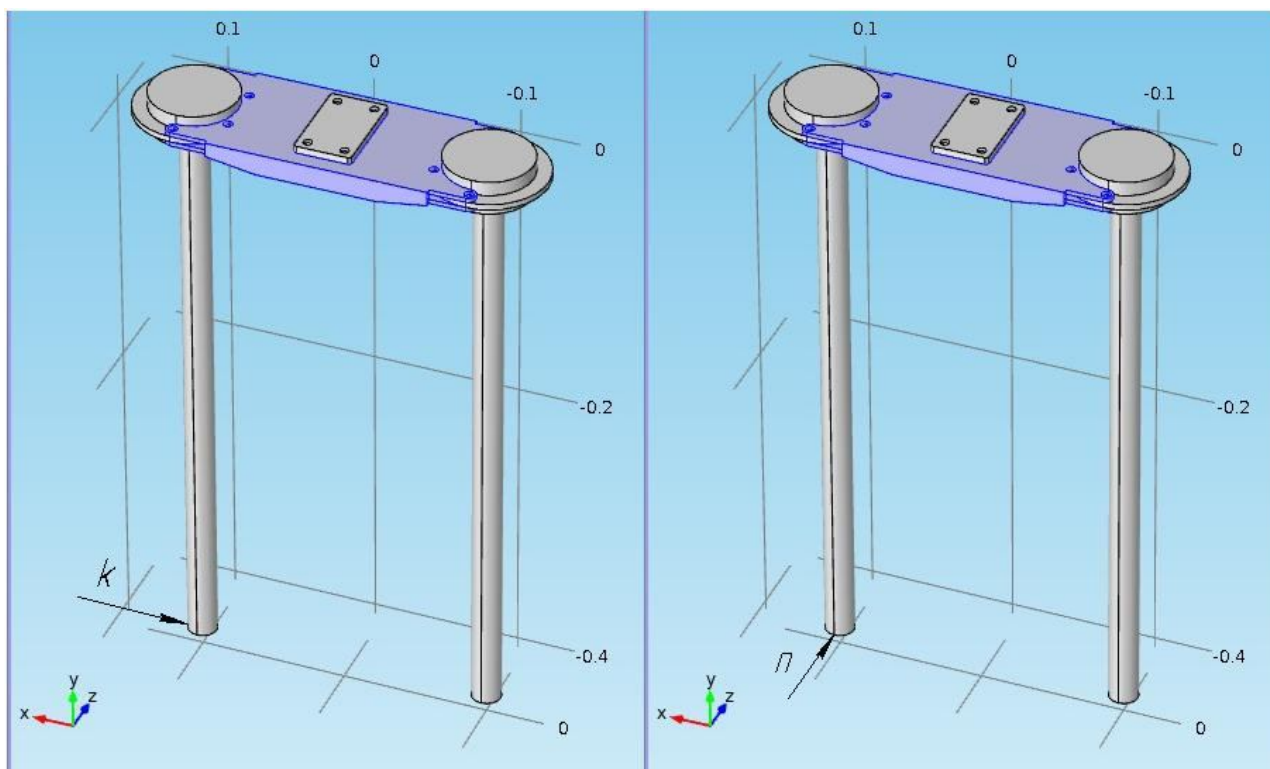


Рис. 4. Направления действия расчетных сил

Для улучшения характеристик колебаний, а именно понижения амплитуды колебаний и частоты, существуют следующие возможности:

- 1) изменение материала «таза» робота;
- 2) внесение изменений в конструкцию робота добавление демпфирующих вставок
- 3) написание алгоритма движения робота, согласно которому все эти колебания компенсируются.

Первый вариант влечет за собой серьезные изменения в конструкции робота и денежные вложения. Третий вариант не рассматривался так как на текущий момент не существует адекватного алгоритма передвижения робота. Был выбран второй вариант модернизации как вариант с наименьшими затратами на разработку и внедрение.

Вариант представляет собой закрепление в местах наибольшей деформации пластин из алюминия, которые увеличивают жесткость конструкции, а также демпфируют колебания (рис. 7). Диаграммы перемещений и деформаций, для этого варианта конструкции, показаны на рис. 8 и 9.

Указанный вариант конструкции моделировался с приложением нагрузки на скручивание и изгиб. В ходе исследований было выяснено, что жесткость модели увеличилась примерно в 3 раза.

Полученные данные позволяют сделать вывод о достаточной жесткости системы и допустимой величине деформаций и перемещений. Так, при

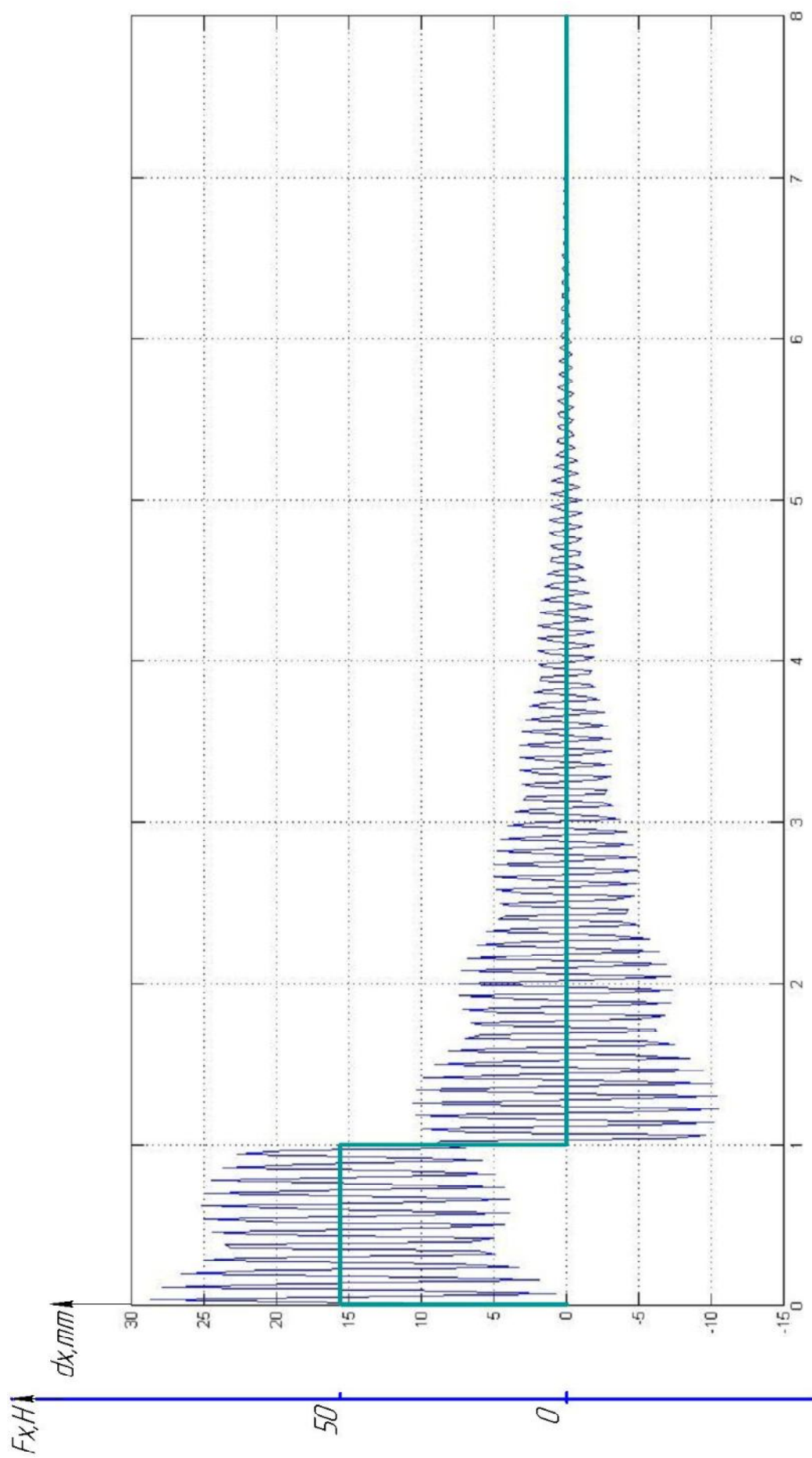


Рис. 5. Диаграмма перемещений

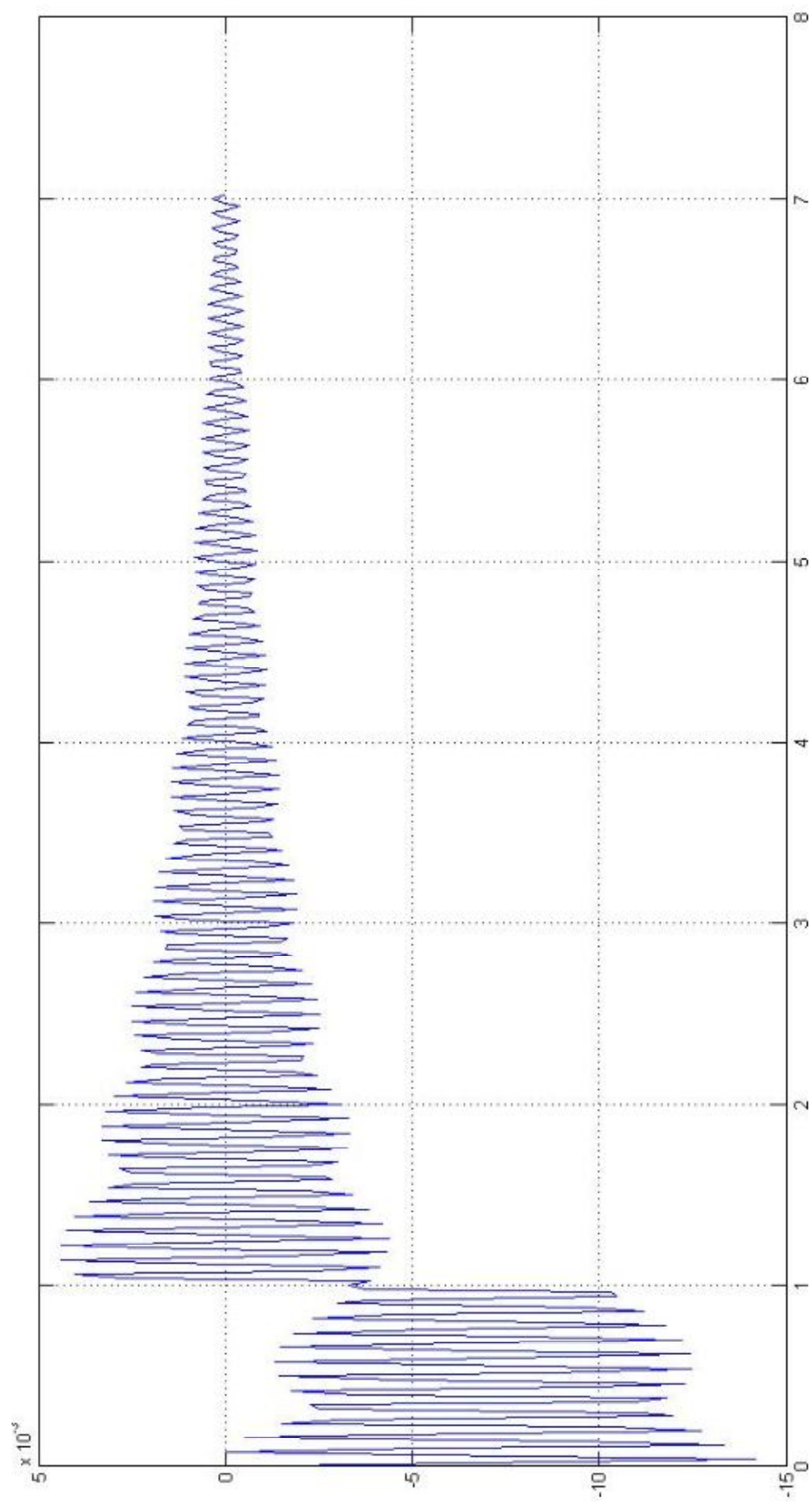


Рис. 6. Диаграмма деформаций

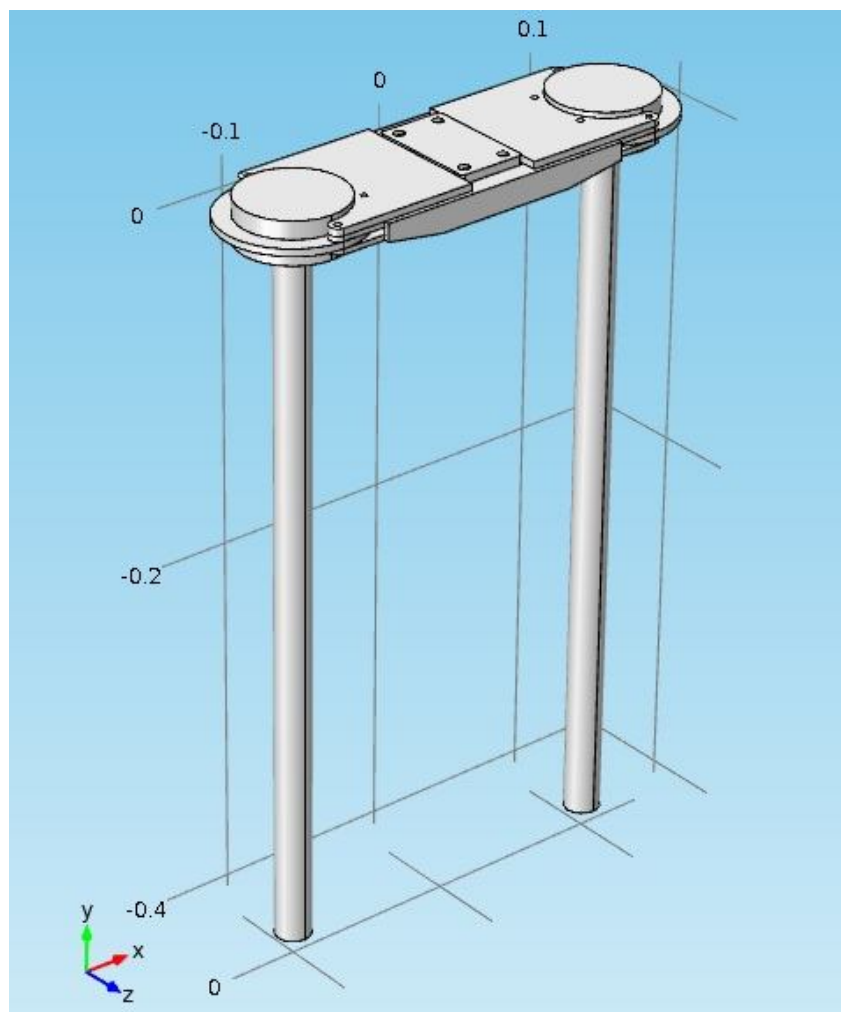


Рис. 7. Расчетная сборка

величине усилий, приложенной к сосредоточенным массам в 50 Н максимальное смещение наблюдаемых точек составляет около 5–6 мм, что в 3 раза меньше изначальных данных.

Деформация в местах максимального напряжения, а именно в местах крепления находятся в пределах 0,0055 мм, что тоже лежит в допустимых пределах. Переходный процесс, в связи невысокой демпфирующей способностью соединения, достаточно продолжителен – 6 сек. Однако остаточные колебания во время переходного процесса имеют максимальную амплитуду около 0,5 мм, что не является критичным для системы. Полученные модели могут использоваться для дальнейших исследований характеристик системы перемещения человекоподобного робота.

Список литературы: 1. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес; отв. ред. С.М. Каплунов; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М.: Наука, Кн. 1. – 2006. – 383 с.

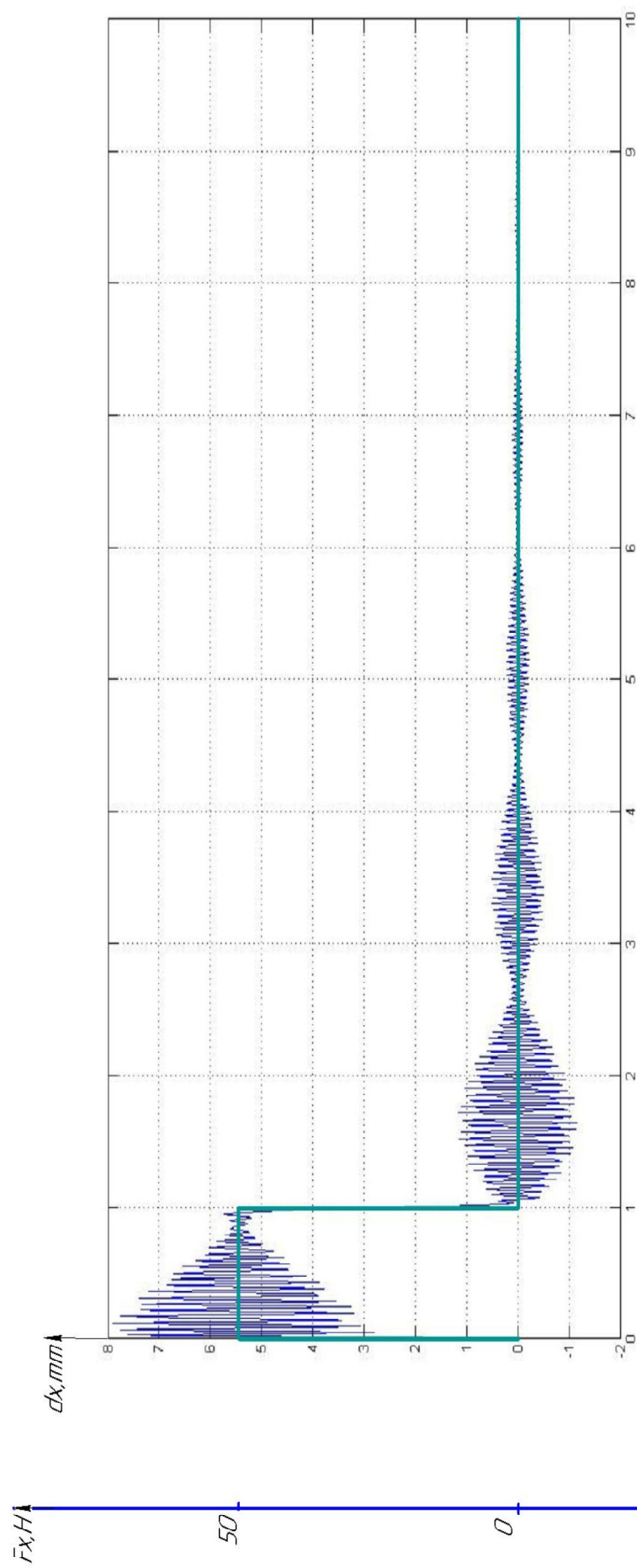


Рис. 8. Диаграмма перемещений

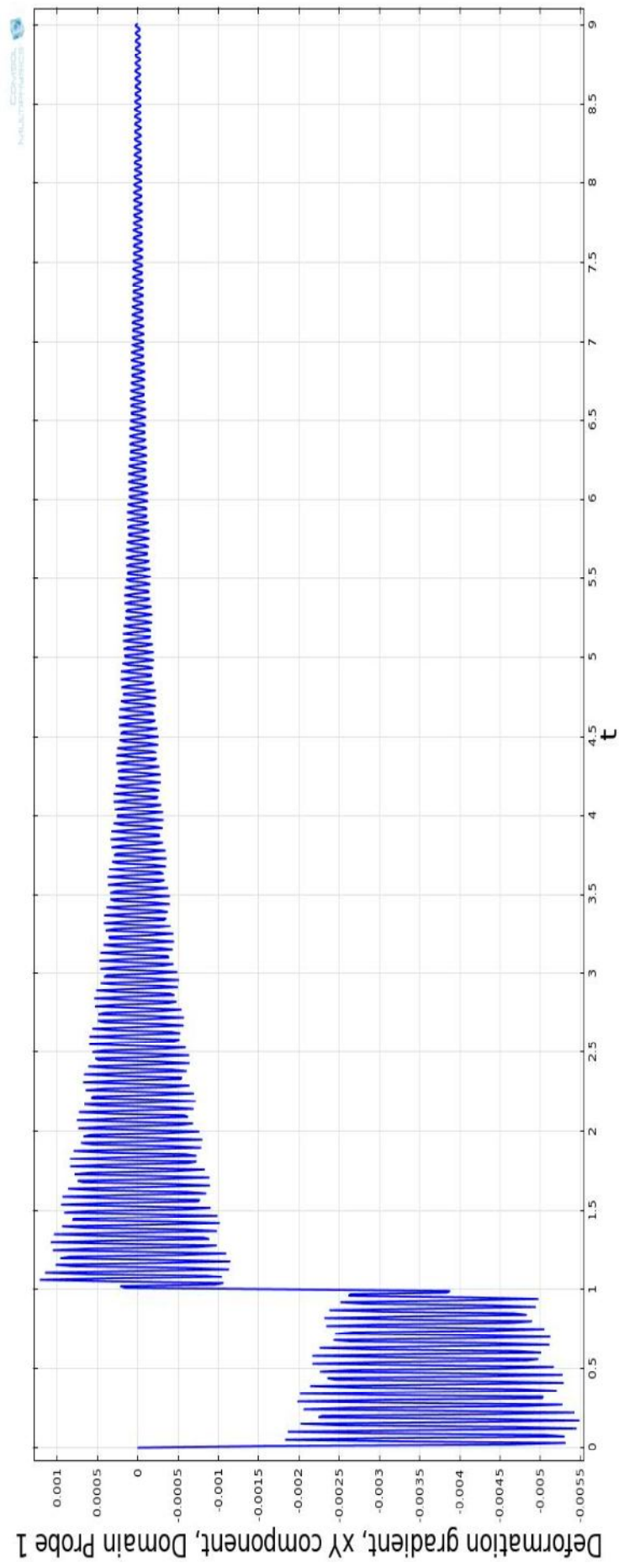


Рис. 9. Диаграмма деформаций

КЛАССИФИКАЦИЯ И КРИТЕРИИ ВЫБОРА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Горобец И.А., Грищенко И.Н.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел. +38 (062) 3010805; E-mail: gorobec@mech.dgtu.donetsk.ua,
grishenko.irinal1992@gmail.com

Abstract: *The article examines the use of information technology in the industry. Provides an overview of CALS-technologies. The classification of industrial enterprises, the analysis of the necessary functions CAD/CAM/PLM systems for the types of business.*

Key words: *company, technologies, system, analysis, business.*

Актуальность проблемы и методы ее решения

В настоящее время в Украине большинство предприятий переходят на эффективные рельсы автоматизации своего производства. Для выживания в режиме жесткой конкуренции предприятиям приходится ускорять выпуск новых изделий, снижать их себестоимость и повышать качество. В этом им помогают современные инструменты ведения бизнеса – CALS-технологии. Под аббревиатурой CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support) понимают непрерывное интегрированное информационное обеспечение участников жизненного цикла изделия данными об изделиях, связанными с ними процессами и средой преимущественно в электронном виде. Прежде всего, CALS – бизнес-стратегия интеграции информационных процессов между участниками жизненного цикла изделия (заказчиков, разработчиков, производителей, поставщиков, эксплуатационных, обслуживающих и ремонтных предприятий, предприятий по утилизации) с целью обеспечить их необходимыми для бизнеса данными об изделии и связанными с ним процессами и средой. Несмотря на наличие слова Support в названии CALS – это именно обеспечение, а не поддержка. И для систем интегрированной логистической поддержки жизненного цикла изделий, и для создателей изделий с переходом на электронное проектирование CALS становится неотъемлемой системообразующей частью обеспечения работ [1].

В контексте современного ведения успешного бизнеса назначением CALS-технологий является представление необходимой информации в нужное время, в нужном виде, в конкретном месте любому пользователю на всех этапах жизненного цикла изделия.

Одной из важных задач создания и успешного внедрения CALS-технологий является обеспечение единообразных описаний и смысловой интерпретации данных независимо от места и времени их получения в общей

системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных. При этом структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, понятийный аппарат и языки представления данных должны быть стандартизованы [1, 2].

Структура CALS-технологий

Суть бизнес-концепции CALS состоит в применении принципов и технологий информационной поддержки на всех стадиях ЖЦ продукции, основанного на использовании ИИС, обеспечивающей единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции, поставщиков (производителей) продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала. В ИИС информация создается, преобразуется, хранится и передается от одного участника ЖЦ к другому при помощи прикладных программных средств, к которым относятся системы CAD/CAE/CAM, PDM, MRP/ERP, SCM и др., рис. 1. Здесь ЖЦ изделия представлен в виде линейки от маркетинговых исследований и до утилизации объекта.

Поскольку реализация CALS-технологий подразумевает использование ИТ, включающие компьютерное оборудование и программные средства, то все программные продукты, используемые в CALS-технологиях, можно разделить на две большие группы:

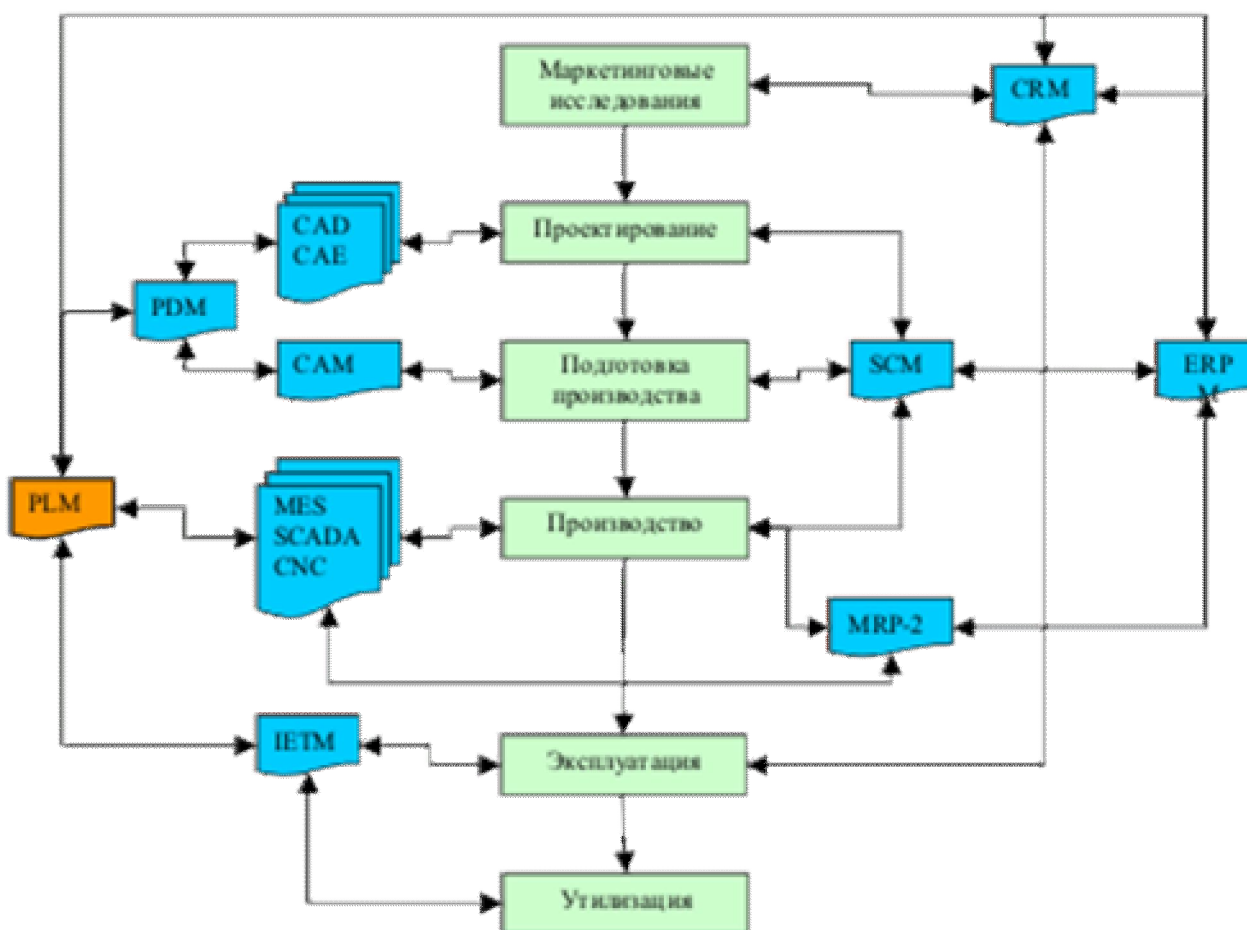


Рис. 1 . Структура CALS и корреляция этапов жизненного цикла изделий

1. Программные продукты, используемые для создания и преобразования информации об изделиях, производственной среде и производственных процессах, применение которых не зависит от реализации CALS-технологий;

2. Программные продукты, применение которых непосредственно связано с CALS-технологиями и требованиями соответствующих стандартов.

К первой группе относятся программные продукты, традиционно применяемые на предприятиях различных отраслей промышленности и предназначенные для автоматизации различных информационных и производственных процессов и процедур. К этой группе принадлежат следующие программные средства и системы [2,3]:

- подготовки текстовой и табличной документации различного назначения (текстовые редакторы, электронные таблицы и т. д. – офисные системы);
- автоматизации инженерных расчетов и эскизного проектирования (CAE-системы);
- автоматизации проектирования и изготовления рабочей конструкторской (проектной) документации (CAD-системы);
- автоматизации технологической подготовки производства (CAM-системы);
- автоматизации планирования производства и управления процессами изготовления изделий, запасами, производственными ресурсами, транспортом и т. д. (системы MRP/ERP);
- идентификации и аутентификации информации (средства ЭЦП).

Ко второй группе принадлежат программные средства и системы:

- управления данными об изделии и его конфигурации (системы PDM – Product Data Management);
- управления проектами (Project Management);
- управления потоками заданий при создании и изменении технической документации (системы WF – Work Flow);
- обеспечения информационной поддержки изделий на постпроизводственных стадиях ЖЦ;
- функционального моделирования, анализа и реинжиниринга бизнес-процессов.

Базис CALS-технологий

Как видно из анализа рис. 1, CALS-технологии, как современная бизнес-модель производства, базируется на фундаменте CAD/CAM/CAE/PLM систем.

CAD/CAM/CAE-системы занимают особое положение среди других приложений, поскольку представляют индустриальные технологии, непосредственно направленные в наиболее важные области материального производства. В настоящее время общепризнанным фактом является невозможность изготовления сложной наукоемкой продукции (кораблей, самолетов, различных видов промышленного оборудования и др.) без применения CAD/CAM/CAE-систем. За последние годы CAD/CAM/CAE-системы прошли путь от сравнительно простых чертежных приложений до

интегрированных программных комплексов, обеспечивающих единую поддержку всего цикла разработки, начиная от эскизного проектирования и заканчивая технологической подготовкой производства, испытаниями и сопровождением. Современные CAD/CAM/CAE-системы не только дают возможность сократить срок внедрения новых изделий, но и оказывают существенное влияние на технологию производства, позволяя повысить качество и надежность выпускаемой продукции (повышая, тем самым, ее конкурентоспособность). В частности, путем компьютерного моделирования сложных изделий проектировщик может зафиксировать нестыковку и экономит на стоимости изготовления физического прототипа.

CAD-системы (computer-aided design – компьютерная поддержка проектирования) предназначены для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации (именуются также системами автоматизированного проектирования САПР). Как правило, в современные CAD-системы входят модули моделирования трехмерной объемной конструкции объекта и оформления чертежей и текстовой конструкторской документации (спецификаций, ведомостей и т.д.). Ведущие трехмерные CAD-системы позволяют реализовать идею сквозного цикла подготовки и производства сложных промышленных изделий.

На данный момент одним из наиболее мощных производителей САПР являются Dassault Systemes, АСКОН (Россия) и Autodesk (США). Главная особенность САПР, указанных производителей – обширные функциональные возможности, высокая производительность и стабильность работы. В настоящее время из 10 известных ядер САПР наибольшую применимость и популярность получили 5 ядер. Из них, важную роль в становлении среднего класса САПР сыграли два ядра твердотельного параметрического моделирования ACIS и Parasolid, которые появились в начале 90-х годов и сейчас используются во многих ведущих САПР. Однако начиная с 2013 года появляется отдельное коммерческое ядро – C3D компании АСКОН (ранее не выходившее на самостоятельный рынок ядер систем), используемое в САПР под брендом КОМПАС с 1989 года.

Сегодня в Украине лидирующими компаниями по использованию САПР среднего уровня сложности – является Autodesk и АСКОН с программными продуктами AutoCAD и КОМПАС, соответственно [4]. При этом, в машиностроении, металлургии превалирует САПР КОМПАС, а в инжиниринговых компаниях проектирования в гражданском строительстве – AutoCAD.

Классификация САПР

В соответствии с ГОСТ 23501.101-87, САПР – это организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации и осуществляющая проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования (КСАП). САПР – система, объединяющая технические средства, математическое и программное

обеспечение, параметры и характеристики которых выбирают с максимальным учетом особенностей задач инженерного проектирования и конструирования. В САПР обеспечивается удобство использования программ за счет применения средств оперативной связи инженера с ЭВМ, специальных проблемно-ориентированных языков и наличия информационно-справочной базы [5, 6].

Структурными составными и составляющими САПР являются подсистемы, обладающие всеми свойствами систем и создаваемые как самостоятельные системы. Это выделенные по некоторым признакам части САПР, обеспечивающие выполнение некоторых законченных проектных задач с получением соответствующих проектных решений и проектных документов.

В соответствии с ГОСТ 23501.108-85 САПР классифицируют по следующим признакам (рис. 2):

- тип/разновидность и сложность объекта проектирования;
- уровень и комплексность автоматизации проектирования
- характер и количество выпускаемых документов
- количество уровней в структуре технического обеспечения.

САМ-системы (computer-aided manufacturing – компьютерная поддержка изготовления) предназначены для проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и выдачи программ для этих станков (фрезерных, сверлильных, эрозионных, пробивных, токарных, шлифовальных и др.). САМ-системы еще называют системами технологической подготовки производства. В настоящее время они являются практически единственным способом для изготовления сложнопрофильных деталей и сокращения цикла их производства. В САМ-системах используется трехмерная модель детали, созданная в CAD-системе.

САЕ-системы (computer-aided engineering – поддержка инженерных расчетов) представляют собой обширный класс систем, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу (группу задач), начиная от расчетов на прочность, анализа и моделирования тепловых процессов до расчетов гидравлических систем и машин, расчетов процессов литья. В САЕ-системах также используется трехмерная модель изделия, созданная в CAD-системе. САЕ-системы еще называют системами инженерного анализа [5].

PLM (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом продукции) представляет собой методологию применения современных информационных технологий для повышения конкурентоспособности промышленных предприятий, причем упор делается на управление данными об изделии. Применение PLM основано на использовании интегрированных моделей данных об изделии и бизнес-процессов предприятия. PLM предполагает новые методы работы с информацией об изделии, позволяя тесно увязать ее с процессами, обеспечивая одновременный доступ к данным различных категорий сотрудников, позволяя в полной мере реализовать принципы параллельного проектирования изделий.

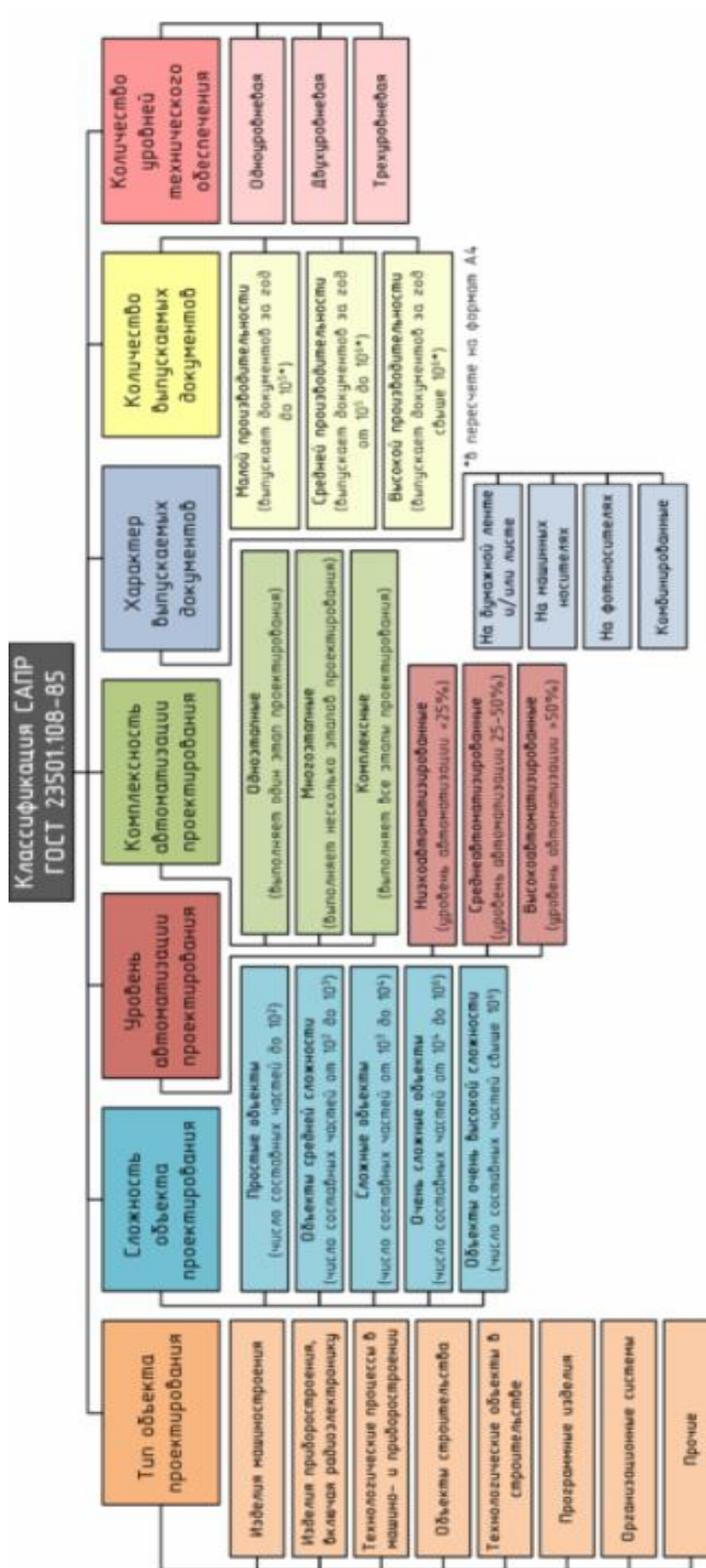


Рис. 2. Классификация САПР

Содержание ЖЦИ

Жизненный цикл промышленных изделий (ЖЦИ) включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до его утилизации по окончании срока использования. Основные этапы жизненного цикла промышленной продукции приведены на рис. 3. К ним относятся этапы проектирования и технологической подготовки производства (ТПП), собственно производства, реализации продукции, эксплуатации и, наконец, утилизации (в число этапов жизненного цикла могут также входить маркетинг, закупки материалов и комплектующих, предоставление услуг, упаковка и хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию).

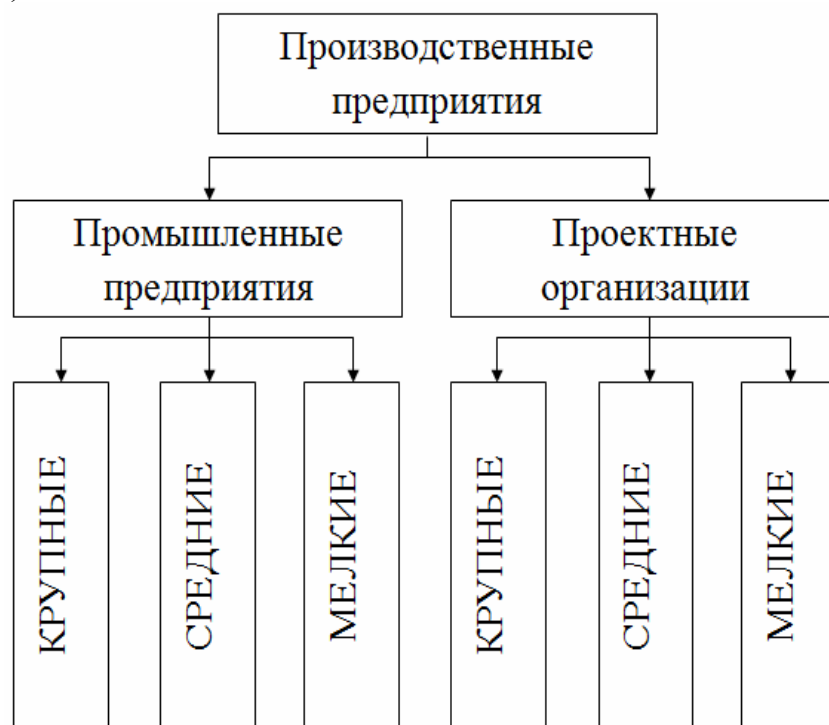


Рис. 3. Классификация типов промышленных предприятий

Рассмотрим содержание основных этапов ЖЦИ для изделий машиностроения.

На этапе проектирования выполняются проектные процедуры – формирование принципиального решения, разработка геометрических моделей и чертежей, расчеты, моделирование процессов, оптимизация и т.д.

На этапе технологической подготовки производства разрабатываются маршрутная и операционная технологии изготовления деталей, реализуемые в программах для станков ЧПУ; технология сборки и монтажа изделий; технология контроля и испытаний.

На этапе подготовки производства и непосредственного изготовления продукции осуществляются: календарное и оперативное планирование; приобретение материалов и комплектующих с их входным контролем; механообработки и другие требуемые виды обработки; контроль результатов обработки; сборка; испытания и итоговый контроль.

На постпроизводственных этапах выполняются консервация, упаковка, транспортировка; монтаж у потребителя; эксплуатация, обслуживание, ремонт; утилизация.

На всех этапах жизненного цикла имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью. На этапах ТПП и производства нужно обеспечить выполнение требований, предъявляемых к производимому продукту, при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики. Понятие эффективности охватывает не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность требования удобства эксплуатации имеют для сложной техники, например, в таких отраслях, как авиа- или автомобилестроение.

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные технические изделия, оказывается невозможным без широкого использования автоматизированных систем (АС), основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АС.

Задачи выбора АС ТПП

В настоящее время существует более 200 САПР разного уровня и разных производителей. В связи с этим перед многими предприятиями появляются следующие задачи: Первая – непростая задача выбора того или иного вида САПР. Критериями выбора САПР для предприятий являются функциональные возможности и технические характеристики САПР, а ограничением – стоимость владения лицензиями систем.

Второй существенной задачей предприятий в сфере технической подготовки производства является хранение электронных документов по проектам: рабочих и сборочных чертежей, спецификации, расчётов, технологических процессов изготовления и сборки изделий, изменений рабочей документации, технических расчетов узлов и объектов. Такое электронное хранилище должно обладать характеристиками: быстрый поиск документации по атрибутам, надёжное и упорядоченное хранение электронных документов, возможность электронного согласования и проведения изменений, наличие электронно-цифровой подписи. Перечисленные свойства позволят не только хранить текущую информацию об объекте, но и управлять жизненным циклом объекта (от его зарождения, изготовления, ремонтов и до утилизации).

Поэтому предлагается все производственные предприятия разделить на две группы: промышленные предприятия и проектные (инжиниринговые) организации. Но поскольку они все разные, нельзя сказать, что для всех

предприятий подойдёт одна и та же CAD/CAM/PLM система. В связи с этим предлагается деление предприятий на три ступени: большие, средние, мелкие, основываясь на их общей численности и численности ИТР в конструкторском и технологическом отделах.

Проведём анализ необходимого функционала CAD/CAM/PLM систем для разного типа предприятий в соответствии с выполняемыми бизнес-задачами:

- крупные – оптимизация существующих процессов;
- средние – повышение эффективности за разумные деньги и короткие сроки;
- мелкие – низкая цена продукта, минимум платных услуг.

Предприятия Украины разнообразны как по количеству работающих, так и по видам деятельности. Поэтому невозможно внесение рекомендаций по выбору аналогичных САПР.

Для подтверждения результатов предварительных теоретических исследований планируется проведение:

- экспериментальных исследований для выяснения потребностей предприятий и их классификации;
- дополнительных теоретических исследований по анализу рациональных структур CAD/CAM/PLM систем для различных видов предприятий;
- разработки методики выбора CAD/CAM/PLM систем для различных типов и видов предприятий.

Выводы

Таким образом, необходим комплексный подход к технической подготовке производства на всех этапах жизненного цикла изделий, которая решается CALS инструментами. Традиционные САПР с их геометрическим, а не информационным ядром, не могут явиться основой для создания таких систем. Сегодня каждое изделие в процессе своего жизненного цикла должно представляться в информационной среде в виде иерархии информационных моделей, составляющих единое целое и имеющих соподчиненность. Решение такого вопроса технической подготовки производства базируется на выборе набора CAD/CAM/CAE/PLM-систем, являющихся базисом CALS-технологий. В настоящее время является актуальным создание методики выбора рационального набора систем в зависимости от вида и типа предприятия.

Список литературы: 1. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, А.В. Рыбаков. – М.: Наука, 2003. – 293 с. 2. Григоров А.В., Горобец И.А., Лысенко О.Н., Голубов Н.В. Интеграция информационной среды и управление проектными данными предприятий – Материалы тринадцатого 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. 72–80. 3. Григоров А.В., Савченко Д.Н., Бороздов А.В., Горобец И.А., Лысенко О.Н. Использование платформы программных средств АСКОН для

автоматизации технической подготовки производства / Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров // Сборник трудов 3-го международного научно-методического семинара в г. Табарка с 06 по 15 октября. – Донецк: ДонНТУ, 2011. С. 100–105. 4. САПР в Украине // ИК-3D. URL: http://www.ik.3dscorpion.com.ua/index.php?ukey=auxpage_66 5. Основные функции САД-систем // Основы САПР. URL: http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=190_CAD/8001.mod/?cou=140_CADedu/CAD.cou 6. Принципы построения САПР // Рефераты. URL: <http://www.ref.by/refs/34/7691/1.html>

УДК 621.9.06-52

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗУБЧАТОЙ ВТУЛКЕ С ЗУБЬЯМИ С ПРОДОЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ МОНТАЖА ВАЛОВ

Грубка Р.М., Тарасова Е.С.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

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

Abstract: *The paper presents the results of a study of the stress distribution in the toothed hub with teeth with longitudinal modification of the finite element method in the software package ANSYS 13.0. Stress determined in assemblage between holders the tooth with a rectilinear generator and toothed hub with teeth with longitudinal modification in the presence of errors in installation shafts.*

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

В работе представлены результаты исследования распределения напряжений в зубчатой втулке с зубьями с продольной модификацией методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS 13.0 [1–3]. Напряжения определялись в соединении между обоймой с зубьями с прямолинейной образующей и втулкой с зубьями с продольной модификацией при наличии погрешностей монтажа валов.

Исследования распределения напряжений в элементах зубчатой муфты выполнены на трехмерной модели половины зубчатой муфты (см. рис. 1). 3D-модель зубчатой муфты построена в программе SolidWorks 2013 и состоит из зубчатой втулки и обоймы [4]. Наличие погрешностей монтажа моделировалось, заданием поворота зубьев втулки относительно зубьев обоймы. Для чего в сборке модели зубчатой муфты освобождалась обойма и поворачивалась на требуемый угол относительно вертикальной оси, а затем снова фиксировалась. После чего обеспечивался контакт зубьев втулки и обоймы при заданном угле перекоса соединения, путем поворота втулки

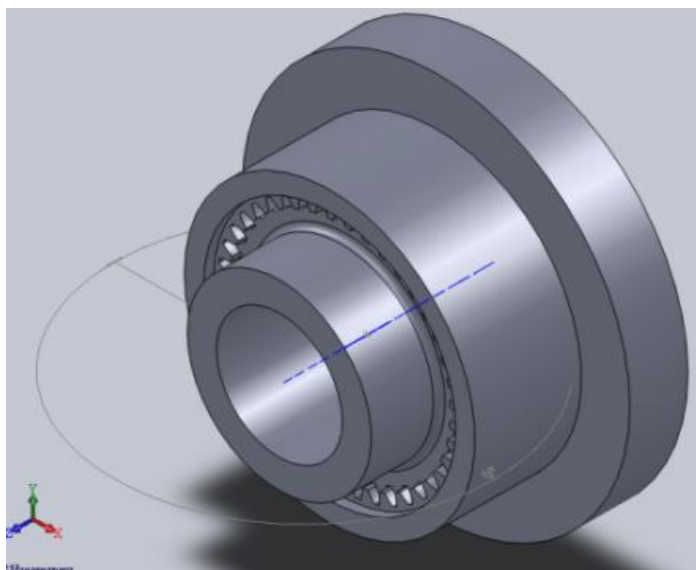


Рис. 1. Трехмерная модель половины зубчатой муфты

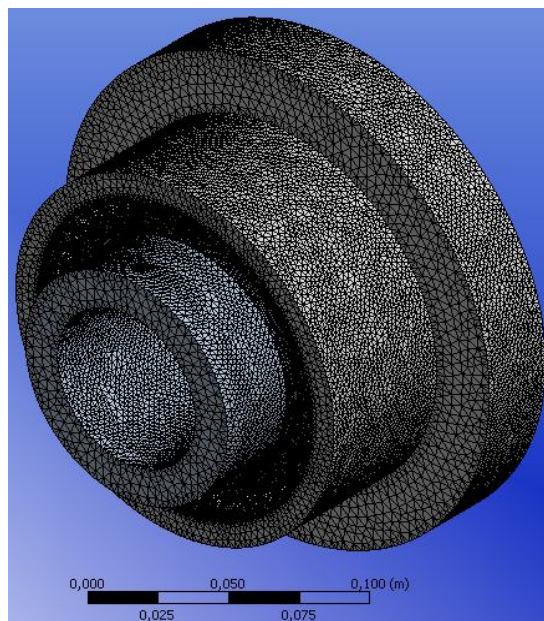


Рис. 2. Трехмерная модель половины зубчатой муфты с сеткой конечных элементов

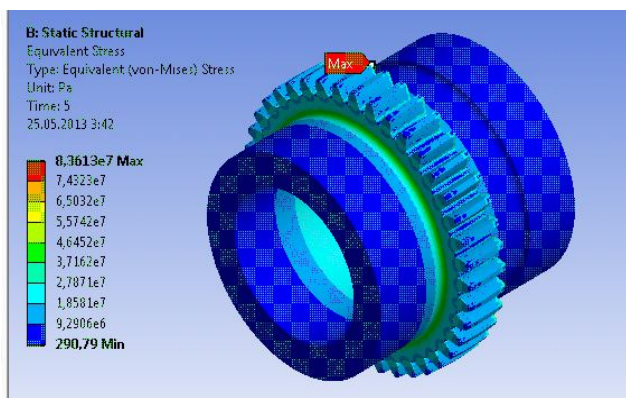
относительно оси вращения до обеспечения касания поверхностей зубьев. Наличие контакта проверялось с использованием стандартной функции в SolidWorks 2012 – проверке интерференции компонентов. Полученная модель импортировалась в ANSYS Workbench, используя стандартную функцию «Import», после чего в модуле Static Structural задавались параметры расчета:

- зафиксирована от перемещения цилиндрическая поверхность фланца обоймы;

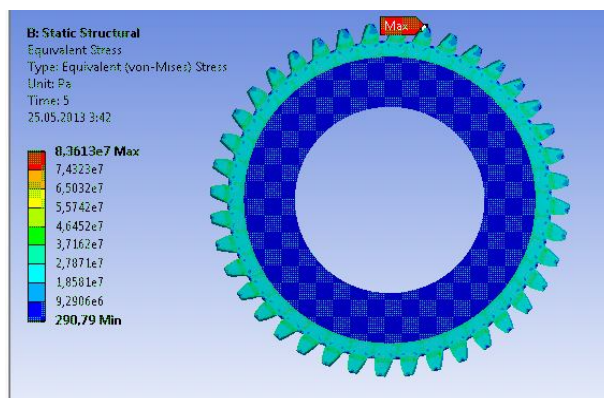
- приложен момент к цилиндрической поверхности отверстия втулки, величина момента составила 4000 Нм, направление – вращение по часовой стрелке, если смотреть со стороны левого торца втулки;

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

После задания ограничений и нагрузок была построена сетка конечных элементов для сборки половины зубчатой муфты рис. 2 и выполнен статический расчет модели при наличии перекоса зубьев втулки относительно зубьев обоймы. В результате расчета получено распределение эквивалентных напряжений в зубчатой втулке с продольной модификацией зубьев рис. 3. Как видно из диаграмм распределения эквивалентных напряжений (критерий von-Mises) рис. 3, наиболее нагружены участки на торце зубчатого венца, расположенного со стороны плоскости разреза 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. 3, б):



a



б

Рис. 3. Распределения эквивалентных напряжений в зубчатой втулке с продольной модификацией зубьев при наличии перекоса зубьев втулки относительно зубьев обоймы: *a* – распределение эквивалентных напряжений; *б* – вид втулки с наиболее загруженного торца

- 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.

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. При рассмотрении полученных результатов определялись значения изгибных и контактных напряжений на боковой поверхности зубьев втулки, которая непосредственно контактирует с зубьями обоймы. Причем изгибные напряжения измерялись у ножки зуба втулки, а контактными являются максимальные напряжения, действующие на рассматриваемой боковой поверхности зуба. Результаты определения напряжений представлены в виде эпюр распределение максимальных изгибных и контактных напряжений на зубьях втулки (рис. 4, 5).

По данным полученным в результате расчетов определяем минимальные, средние и максимальные изгибные и контактные напряжения в зависимости от угла перекоса соединения (табл. 1).

Из данных табл. 1 видно, что максимальные контактные напряжения сначала с увеличением угла перекоса соединения до 15' возрастают, а при дальнейшем увеличении угла перекоса падают, что связано с особенностями распределения зазоров между зубьями в соединении и особенностями

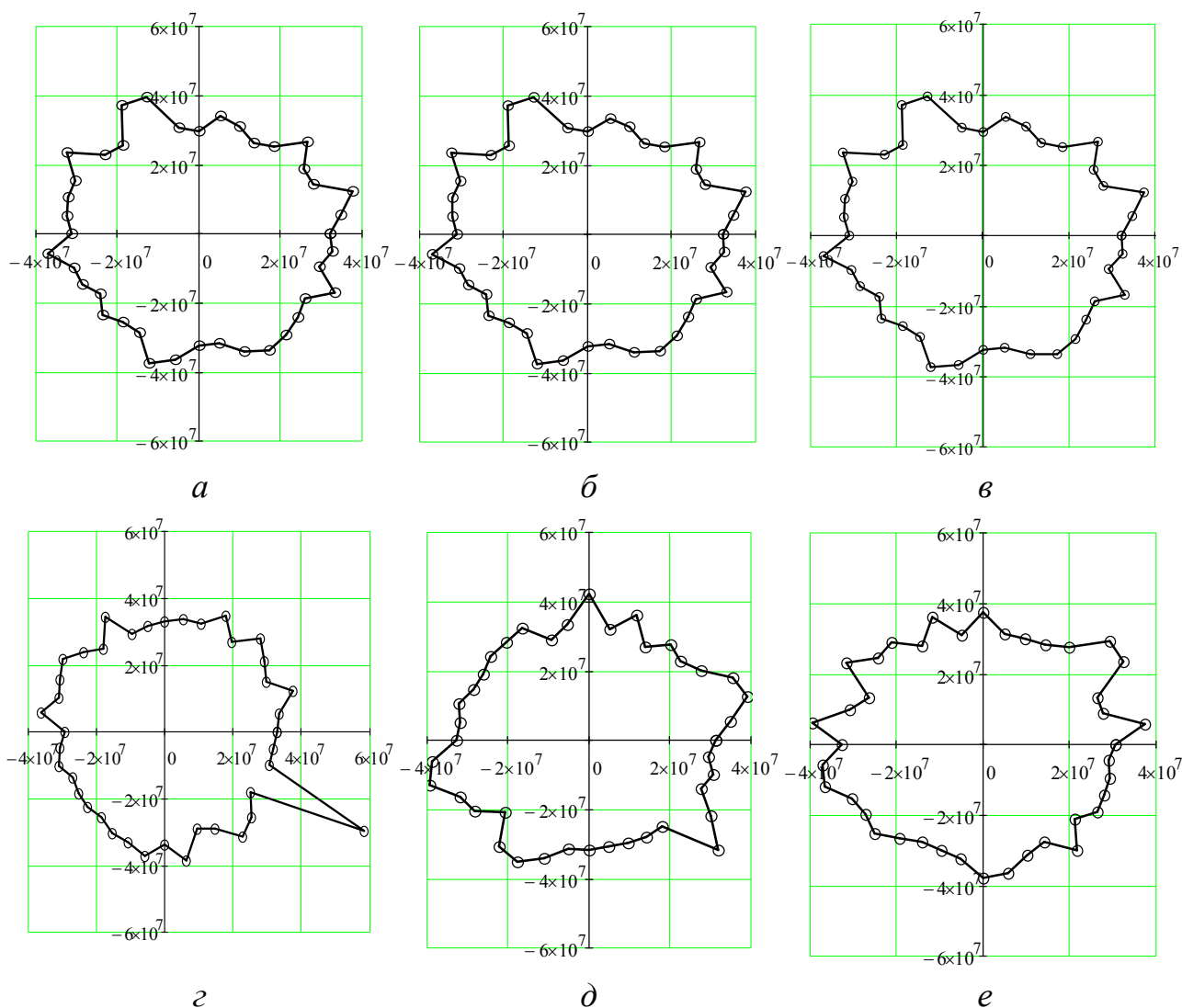


Рис. 4. Эпюры распределения изгибных напряжений на зубьях втулки с продольной модификацией: *а* – $\omega=5'$; *б* – $\omega=10'$; *в* – $\omega=15'$; *г* – $\omega=20'$; *д* – $\omega=25'$; *е* – $\omega=28'$

контактирования зубьев. При этом от распределения зазоров зависит величина нагрузки действующий на каждый конкретный зуб и степень локализации действия нагрузки. А от особенностей контактирования зубьев зависит схема их работы, то ли они под действием нагрузки будут только изгибаться, или срезаться и т.д.

Как видно из результатов расчета, напряжения между зубьями распределены неравномерно, при этом максимальные изгибные напряжения превышают минимальные до 1,52 раза (кроме случая, когда перекос составил $20'$, а отношение – 2,22 раза), а максимальные контактные напряжения превышают минимальные в 2,17 раза.

Таким образом, нагрузка на зубьях зубчатых муфт с втулками с продольной модификацией зубьев распределяется неравномерно, а максимальные напряжения превышают минимальные порядка в 2,2 раза.

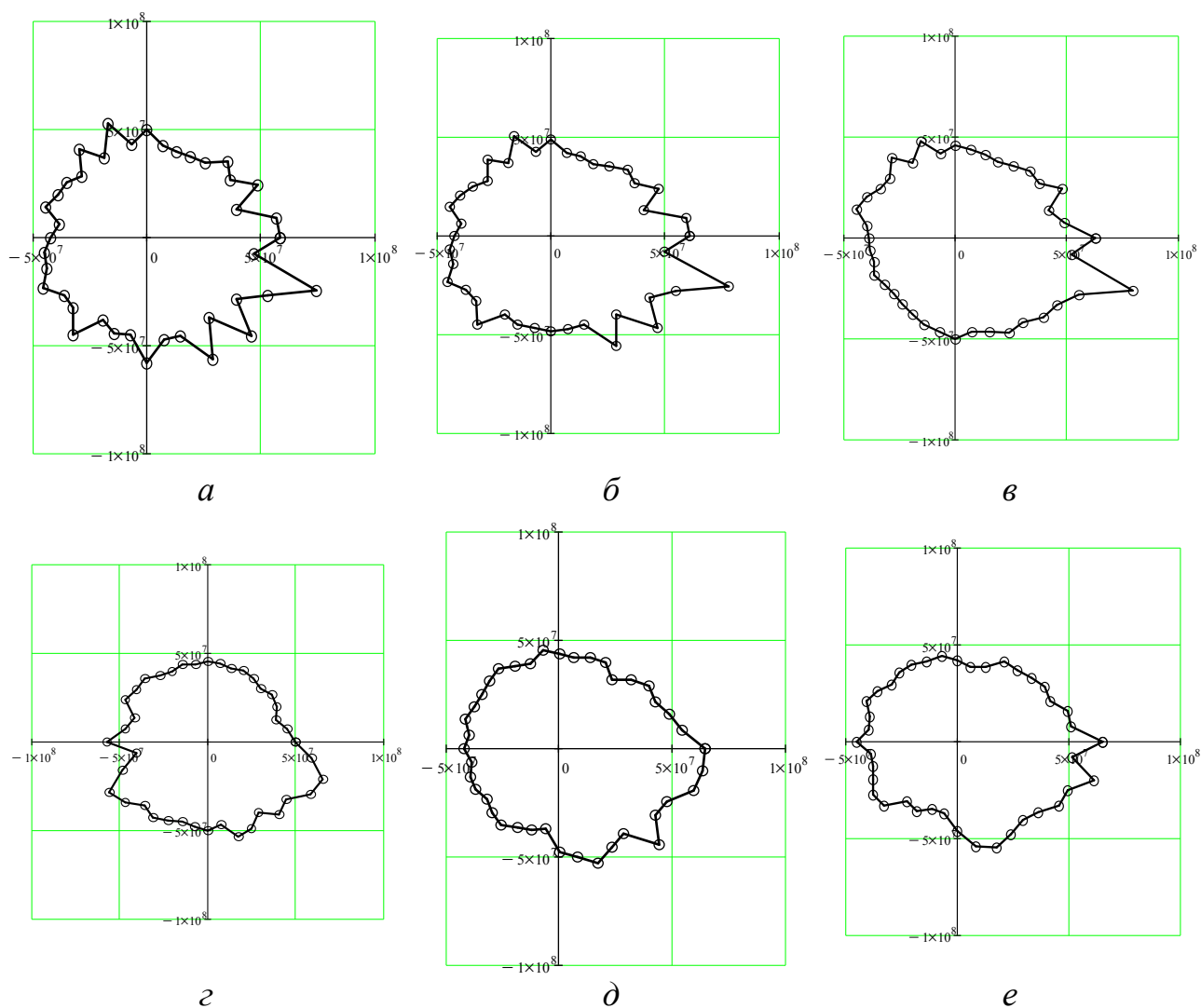


Рис. 5. Эпюры распределения контактных напряжений на зубьях втулки с продольной модификацией: а – $\omega=5'$; б – $\omega=10'$; в – $\omega=15'$; г – $\omega=20'$; д – $\omega=25'$; е – $\omega=28'$

Таблица 1

Значения максимальных, средних и минимальных изгибных и контактных напряжений на боковых поверхностях зубьев

№ п/п	ω , мин	Изгибные напряжения, 10^7 МПа			Контактные напряжения, 10^7 МПа		
		мин.	средние	макс.	мин.	средние	макс.
1	0	2,9	3,401	4,14	3,91	4,587	5,92
2	5	2,96	3,402	4,17	3,92	4,923	7,82
3	10	2,95	3,396	4,17	3,96	4,942	8,21
4	15	2,95	3,394	4,16	3,85	4,769	8,36
5	20	2,94	3,473	6,54	4,07	4,995	6,86
6	25	2,94	3,444	4,49	3,72	4,717	6,45
7	28	2,91	3,383	4,13	3,64	4,717	6,5

Неравномерность распределения нагрузки является следствием особенностей относительного движения элементов в зубчатой муфте, возникающих при наличии погрешностей монтажа валов, в результате чего первоначально в контакте находится одна или две диаметрально расположенные пары зубьев, а между рабочими поверхностями остальных пар зубьев существуют зазоры. Вследствие чего пары зубьев, между которыми первоначально существует контакт, являются более нагруженными, а характер нагружения остальных пар зубьев зависит от величины зазора между боковыми поверхностями зубьев втулки и обоймы и от жесткости элементов зубчатой муфты.

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. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с. 3. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorksSimulation. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с. 4. Грубка Р.М. Определение распределения напряжений в зубчатой муфте между зубьями с прямолинейной образующей при наличии погрешностей монтажа валов / Р.М. Грубка, Е.С. Тарасова, Х.А. Каюмов // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы: Материалы четырнадцатого международного научно-практического семинара, г. Донецк, 15–18 апреля 2013 г. В 3-х т. Т. 3. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 81–85.

УДК 621.93

ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ПРАВКИ СРЕДНЕГО РАЗМЕРА ЗЕРНА СВОБОДНОГО АБРАЗИВА

Гусев В.В., Медведев А.Л.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел. +38 (062) 3010731; E-mail: vladilgusev@mail.ru

Abstract: *A mathematical model of interaction of the free abrasive with the surfaces of diamond grinding wheel and lapping, which describes the features of the process of wear of as the dynamic process of change of the gap between grinding wheel binder and lapping depending on the properties of the free abrasive, grain size, speeds of lapping and abrasive material in dressing.*

Key words: *technical ceramic, diamond grinding wheel, free abrasive, dressing, abrasive wear.*

Качество поверхности обработанной детали из керамики определяется кроме режимов резания еще и состояние рабочей поверхности (РПК) алмазного

круга, которое изменяется в процессе работы. С образованием площадок износа на зернах радиальное усилие, необходимое для внедрения их в обрабатываемый материал возрастает. Суммарная радиальная сила при шлифовании возрастает. Это приводит к формированию в поверхностном слое технической керамики дефектов, размеры и число которых возрастают с ростом радиальной составляющей силы резания. Поэтому при постоянной силе поджима образца к поверхности круга объем удаленного материала в единицу времени снижается, режущая способность круга уменьшается [1]. Для сохранения производительности обработки при обеспечении требуемого качества поверхностного слоя необходимо производить периодическую правку инструмента.

Известны следующие основных направления в разработке перспективных способов правки абразивных инструментов: электроэрозионные, электрохимические и механические, которые основаны на соответствующем воздействии на связку алмазных кругов. Сложность реализации в производственных условиях; большие энергозатраты; ограничения, которые накладываются материалами связки кругов на эффективность процесса правки; сложности при соблюдении правил техники безопасности в условиях повышенной влажности в зоне работы станочника и наличия в ней же источника электрических разрядов большой силы тока ограничивают применение первых двух направлений способов правки. Способы механической правки нашли широкое распространение на производстве. Их многообразие определяется многообразием операций механического воздействия на абразивный инструмент. Все эти способы направлены на исправление геометрии инструмента, который подвергается правке, и создание необходимого микропрофиля рабочей поверхности ШК. Наименее изученным среди механических способов правки, но перспективным из-за направленного воздействия на связку алмазных кругов является способ правки свободным абразивом [2].

Целью работы является исследование влияния зернистости абразивного порошка свободного абразива на увеличение вылета алмазных зерен круга из связки (микрорельефа рабочей поверхности) и на производительность процесса правки.

Исследования велись как теоретически с помощью реализации математической модели в среде MathCAD, так и экспериментально на установке, спроектированной и изготовленной на кафедре мехатронных систем машиностроительного оборудования ДонНТУ.

Для моделирования процесса взаимодействия зерен свободного абразива с притиром и РПК была разработана динамическая математическая модель взаимодействия в системе алмазный шлифовальный круг – свободный абразив – притир. Проверка разработанной математической модели на адекватность показала, что она описывает закономерности процесса износа связки круга с погрешностью, не превышающей 10 %, что достаточно для инженерных моделей [3]. Результаты моделирования (сплошная линия) и эксперимента

(точки на графике) влияния среднего зерна свободного абразива на максимальное расстояние от вершины зерен до связки $\Delta R(\tau)$, на круге 1A1 200x10x5x76 AC32 – 4-M201 после 500 с его воздействия на РПК показаны на рис. 1. После правки с увеличением размера зерна свободного абразива вылет алмазных зерен из связки возрастает. При среднем радиусе зерна, превышающем 150 мкм, практически все зерна участвуют в удалении связки круга в начальный период правки. При размере зерна менее величины первоначального вылета зерна из связки удаление связки ШК не происходит. Для обеспечения вылета зерна из связки на требуемую величину средний размер свободного абразива должен превышать это значение не менее чем на 10–20 %.

Вероятность участия зерен свободного абразива в удалении связки на РПК зависит от величины зазора между притиром и РПК и от среднего радиуса зерна свободного абразива (рис. 2). С увеличением среднего радиуса зерна свободного абразива и времени воздействия свободного абразива (рис. 3) на РПК величина вылета зерен алмазного круга из связки увеличивается, что приводит к уменьшению числа зерен свободного абразива, участвующих в удалении связки круга.

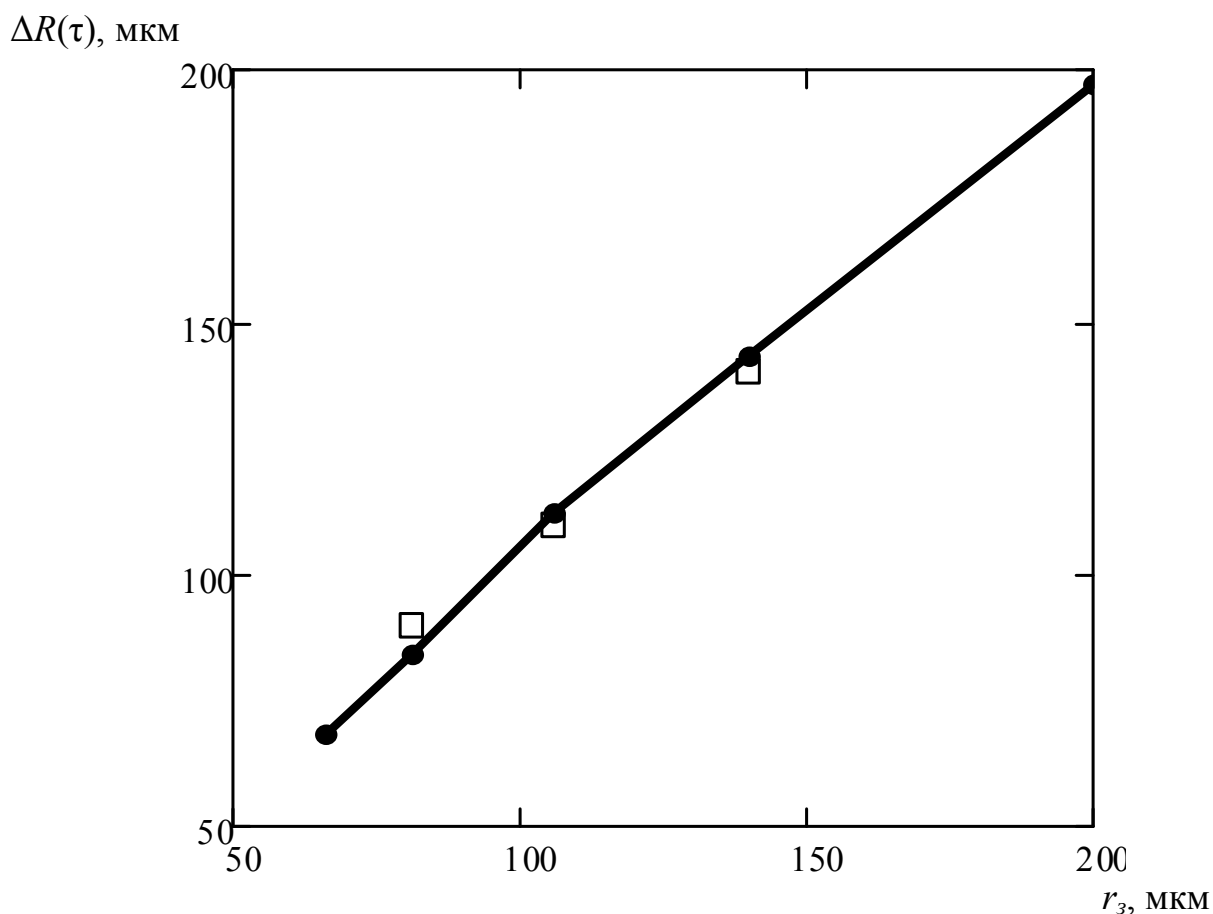


Рис. 1. Влияние среднего размера зерна свободного абразива на максимальное расстояние от вершины зерен до связки $\Delta R(\tau)$, на круге 1A1 200x10x5x76 AC32 – 4-M201 после 500 с его воздействия на РПК

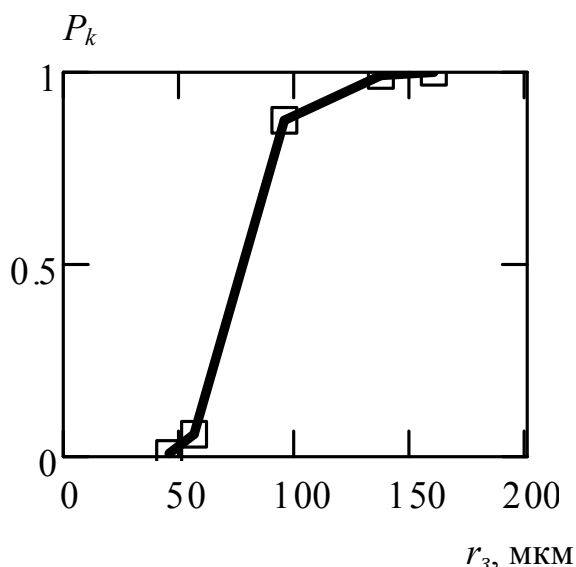


Рис. 2. Зависимость вероятности взаимодействия зерен свободного абразива с поверхностями круга 1А1 200х10х5х76 АС32 – 4-М201 и притира от величины его среднего размера на 50 с после начала правки

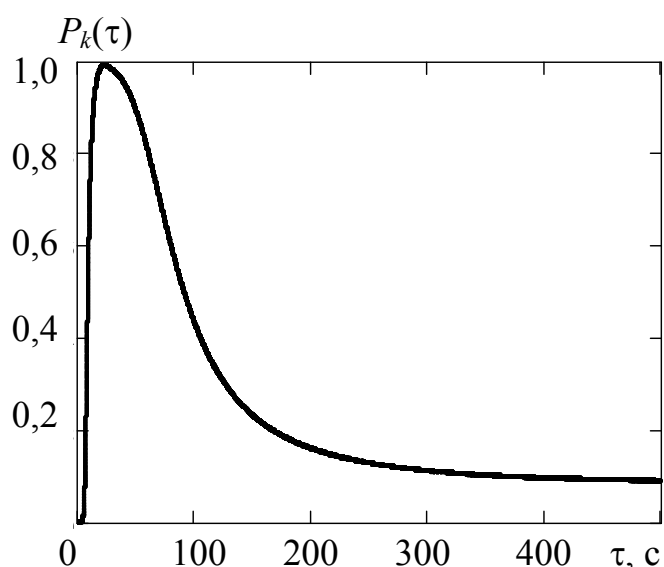


Рис. 3. Изменения вероятности участия зерен свободного абразива в работе при правке свободным абразивом F54 круга 1А1 200х10х5х76 АС32 – 4-М201 от времени взаимодействия

Алмазные зерна ШК контактируют с притиром, сошлифовывая его с постоянной скоростью. Это приводит к линейному износу круга по вершинам зерен вследствие их износа и удаления, наиболее выступающих из них путем дробления и вырыва их из связки (рис. 4, кривая 3). Это приводит к уменьшению интенсивности роста развитости рельефа РПК по высоте $\Delta R(\tau)$ (см. рис. 4, кривая 1). Наибольшая величина вылета зерен из связки $\Delta R(\tau)$ достигается практически к 200 с правки. В дальнейшем при правке эта величина увеличивается незначительно.

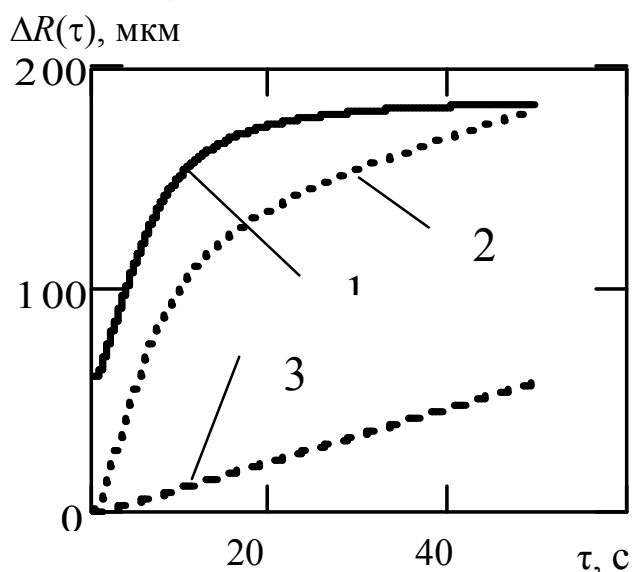


Рис. 4. Влияние времени взаимодействия свободного абразива F54 с поверхностями РПК 1А1 200х10х5х76 АС32 – 4-М201 и притира на величину максимального вылета зерен алмаза круга из связки – 1, величину износа связки инструмента – 2 и линейного износа ШК – 3

Разработана математическая модель взаимодействия свободного абразива с притиром и рабочей поверхностью шлифовального круга. Процесс управляющих воздействий свободного абразива на рабочую поверхность шлифовального круга – динамический процесс. Зерна свободного абразива воздействуют не только на связку шлифовального круга, но и на притир, изнашивая его. Дополнительно притир изнашивается под воздействием алмазных зерен шлифовального круга. Таким образом, зазор между притиром и связкой шлифовального круга постоянно растет, что требует его компенсации. Абразивный износ связки шлифовального круга также оказывает влияние на зазор. В том случае, если свободный абразив размещается в промежутке между алмазными зернами и в то же время несколько превышает разновысотность алмазных зерен над уровнем связки, он приобретает опору на поверхности притира и, контактируя со связкой алмазного круга, приводит к наиболее интенсивному ее износу.

Алгоритм и программа расчета износа связки шлифовального круга и притира при управляющих воздействиях свободного абразива на рабочую поверхность алмазного инструмента, которая позволяет прогнозировать ожидаемое время правки. Время правки свободным абразивом при правильно выбранных параметрах не превышает 200–300 с, что значительно меньше по сравнению с другими способами правки.

Список литературы: 1. *Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М.* Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с. 2. *Гусев В.В.* Выбор времени правки свободным абразивом круга / *В.В. Гусев, А.Л. Медведев, В.В. Савельев* // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. Выпуск 33. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – С. 74–79. 3. *Гусев В.В.* Теоретическое исследование механизма взаимодействия свободного абразива со связкой шлифовального круга и притиром при правке / *В.В. Гусев, А.Д. Молчанов, А.Л. Медведев* // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 9 (205). – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – С. 118–126.

ВОЗМОЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Долженкова В.В.¹, Звягинцева А.В.²

ВГТУ, г. Воронеж, Россия

Тел. ¹+7 (950) 7589034, ²+7 (950) 7501062,

E-mail: ¹dolzhenkova.violetta@yandex.ru, ²zvygincevaav@mail.ru

Abstract: *A review of the potential of information technology to geographically organized information to predict natural hazards using spatial analysis. Shows examples of monitoring natural hazards in the Voronezh region hydrological nature*

Keywords: *monitoring, forecasting, natural hazards, spatial analysis, geographic information systems, predictive model flood zone*

В настоящее время информатизация коснулась всех сторон жизни общества и трудно назвать какую-либо сферу человеческой деятельности, где не ощущалось бы ее мощное воздействие. В науках о Земле информационные технологии породили геоинформатику и геоинформационные системы (ГИС).

Геоинформационные системы – это современная компьютерная технология для картирования и анализа событий объектов реального мира, объединяющая традиционные операции работников с БД с преимуществами полноценной визуализации и пространственного анализа. Информационная система – это база данных, преобразованных в цифровой формат. Они представляют собой детализованные слои, объединенные по географическому признаку и привязанные к определенной системе координат. Базы данных ГИС способны выполнять пять основных задач работы с данными: ввод данных, манипулирование, управление, запрос и анализ, визуализация. В общем случае ГИС позволяют решать в три класса задач: информационно – справочные; сетевой анализ; пространственный анализ и моделирование.

Получение и обработка данных для ГИС – наиболее важный и трудоемкий этап создания подобных информационных систем. В настоящее время самым перспективным и экономически целесообразным считается метод получения данных об объектах на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и GPS-измерений. В широком смысле ДЗЗ – это получение любыми неконтактными методами информации о поверхности Земли, объектах на ней или в ее недрах.

Достоинства метода ДЗЗ заключается в следующем:

1. Актуальность данных на момент съемки (большинство картографических материалов безнадежно устарели);
2. Высокая оперативность получения данных;
3. Высокая точность обработки данных за счет применения GPS-технологий;

4. Высокая информативность (применение спектрозональной, инфракрасной и радарной съемки позволяет увидеть детали, не различимые на обычных снимках);

5. Экономическая целесообразность (затраты на получение информации посредством ДЗЗ существенно ниже наземных полевых работ);

6. Возможность получение трехмерной модели местности (матрицы рельефа) за счет использования стереорежима или лидарных методов зондирования и, как следствие, возможность проводить трехмерное моделирование участка земной поверхности (системы виртуальной реальности).

Дистанционные методы характеризуются тем, что регистрирующий прибор значительно удален от исследуемого объекта. При таких исследованиях явлений и процессов на земной поверхности расстояния до объектов могут измеряться от единиц до тысяч километров. Это обстоятельство обеспечивает необходимый обзор поверхности и позволяет получать максимально генерализованные изображения.

В настоящее время выделяют следующие виды съемки для получения данных ДЗЗ:

1. Космическая съемка (фотографическая или оптико-электронная):

- Панхроматическая (чаще в одном широком видимом участке спектра) – простейший пример черно-белая съемка;

- Цветная (съемка в нескольких, чаще реальных цветах на одном носителе);

- Многозональная (одновременная, но раздельная фиксация изображения в разных зонах спектра);

- Радарная (радиолокационная);

2. Аэрофотосъемка (фотографическая или оптико-электронная):

- Те же виды ДЗЗ, что и в космической съемке;

- Лидарная (лазерная).

Космическая съемка (КС), имеет более низкое разрешение (от 30 до 1 м в зависимости от типа съемки и типа КА), но за счет этого охватывает большие пространства. КС используется для съемки больших площадей в целях получения оперативной и актуальной информации о районе предполагаемых геологоразведочных работ, базовой подосновы для создания глобальной ГИС на район разработки полезных ископаемых, экологического мониторинга нефтяных разливов и т.п. При этом используется как обычная монохромная (черно-белая съемка), так и спектрозональная.

В табл. 1 приведены краткие характеристики основных типов КА ДЗЗ коммерческого использования, применение которых возможно для решения задач по созданию и обновлению ГИС предприятий нефтедобывающего комплекса.

Аэрофотосъемка (АФС) позволяет получать изображение более высокого разрешения (от 1–2 м до 5–7 см). АФС (рис. 1) используется для получения

Краткие характеристики КА для получения данных ДЗЗ коммерческого использования

Название КА	Разрешение панхроматическое	Разрешение многозональное	Размер кадра	Страна
QuickBird 2	0,61 м	2,44 м	16 х 16 км	США
Iconos 2	1 м	4 м	11 х 11 км	США
EROS A1	1,8 м	—	12,5 х 12,5 км	США
KBP – 1000	2 м	—	40 х 40 км	Россия
Spot 5	5 м (2,5 м)	10 м	60 х 60 км	Франция
ТК – 350	10 м	—	200 х 300 км	Россия
Landsat 7	15 м	30 м	170 х 185 км	США

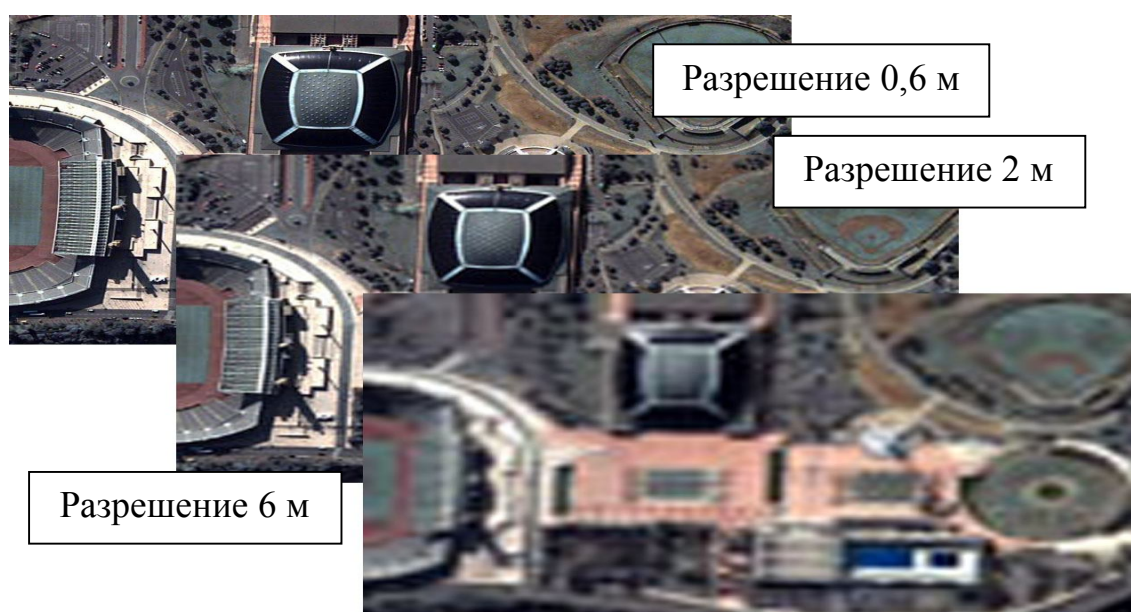


Рис. 1. Пример фотоснимков различного разрешения

высоко детальных материалов для решения задач земельного кадастра применительно к арендуемым участкам добычи полезных ископаемых, учета и управления имуществом. Кроме того, использование АФС на сегодняшний день представляется оптимальным вариантом получения данных для создания ГИС на линейно-протяженные объекты (за счет возможности применения «коридорной» съемки).

Следует также отметить, что по оценкам экспертов, в ближайшем будущем данные ДЗЗ станут основным источником информации для ГИС, в то время как традиционные карты будут использоваться только на начальном этапе в качестве источника статичной информации (рельеф, гидрография, основные дороги, населенные пункты, административное деление).

В настоящее время наблюдается бурный всплеск применения спутниковых систем, предназначенных для определения параметров пространственного положения объектов. Сегодня применяются две системы второго поколения – американская GPS (Global Positioning System) и российская ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система).

Данные систем глобального спутникового позиционирования (СГСП) применяются в различных (мониторинговые, изыскательские, исследовательские и т.п.) системах, где требуется жесткая пространственно-временная привязка результатов измерений. Основными достоинствами СГСП являются:

- Глобальность;
- Оперативность;
- Всепогодность;
- Точность;
- Эффективность.

Основные направления применения спутниковых систем глобального позиционирования при геоинформационных исследованиях следующие:

- Развитие опорных геодезических сетей всех уровней от глобальных до съемочных, а также проведение нивелирных работ в целях геодезического обеспечения деятельности предприятий;
- Обеспечение добычи полезных ископаемых (открытая разработка, буровые работы и др.);
- Геодезическое обеспечение строительства, прокладки трубопроводов, кабелей, путепроводов, ЛЭП и др. инженерно-прикладных работ;
- Землеустроительные работы;
- Спасательно-предупредительные работы (геодезическое обеспечение при бедствиях и катастрофах);
- Экологические исследования: координатная привязка разливов нефти, оценка площадей нефтяных пятен и определение направления их движения;
- Съёмка и картографирование всех видов – топографическая, специальная, тематическая;
- Интеграция с ГИС;
- Применение в диспетчерских службах;
- Навигация всех видов – воздушная, морская, сухопутная.

В глобальных системах позиционирования выделяют три главные подсистемы (рис. 2):

1. Наземного контроля и управления (НКУ);
2. Созвездия спутников (космических аппаратов – КА);
3. Аппаратуры пользователей (АП).

Подсистема НКУ состоит из станций слежения за КА, службы точного времени, главной станции с вычислительным центром и станций загрузки данных на борт КА.

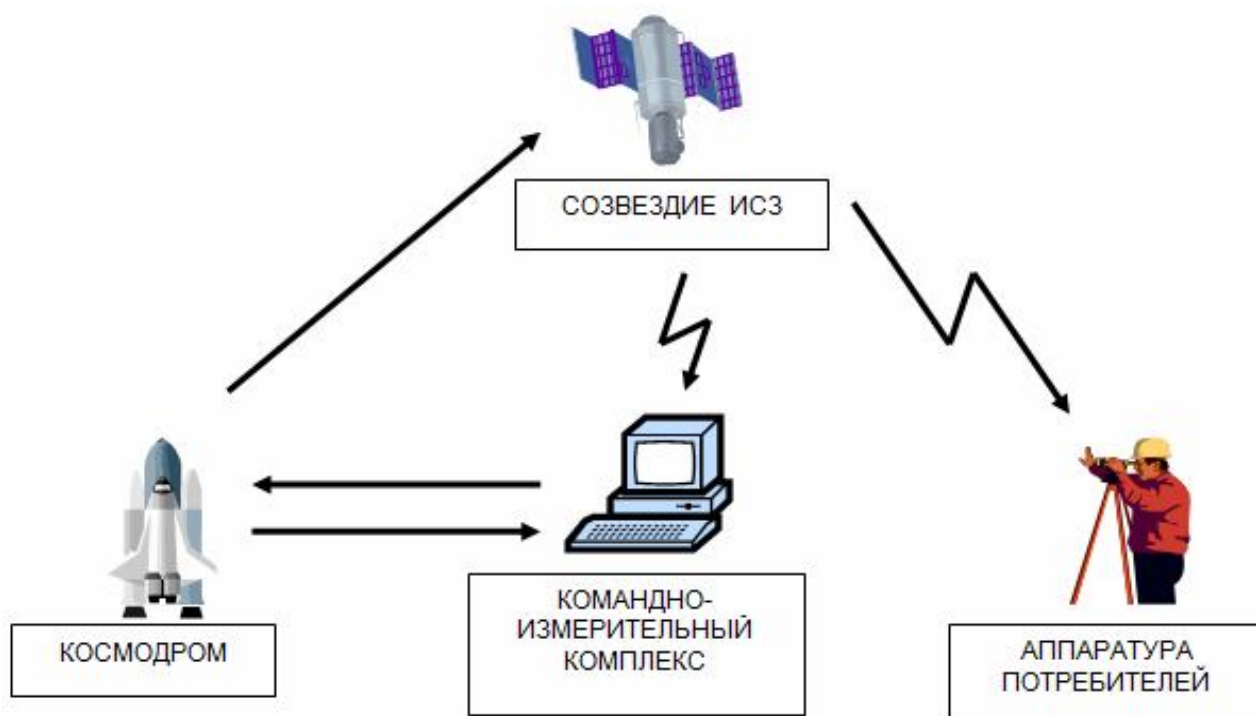


Рис. 2. Компоненты глобальной системы позиционирования

Точность определения координат при использовании GPS-приемников может варьироваться в широких пределах от нескольких десятков метров до единиц сантиметров и зависит от способов измерений, которые делятся на:

- Абсолютные способы определения геоцентрических координат (автономные, дифференциальные);
- Относительные способы определения пространственных векторов – базовых линий (статические, кинематические).

Необходимо отметить, что в настоящее время наметилась тенденция к тесной интеграции GPS-технологий и методов получения и обработки данных ДЗЗ, проявляющейся в основном в области аэрофотосъемки (рис. 3).

На основе данных технологий, на территории Воронежской области организован мониторинг чрезвычайных ситуаций гидрологического характера следующими организациями: ФГБУ «Воронежский гидрометеоцентр», отдел водных ресурсов по Воронежской области Донского бассейнового водного управления, Главное управление МЧС России по Воронежской области [1–3]. В этом случае речной бассейн представляет собой динамическую систему, между объектами которой происходит обмен запасом водных ресурсов (рис. 4). Для разработки долгосрочных и сезонных гидрологических прогнозов необходимо построение банка данных содержащего необходимую исходную информацию для составления прогноза [1]. Для этого на основании полученных текущих параметров окружающей среды, с применением разработанных заранее цифровых моделей местности, в среде геоинформационной системы строится модель развития обстановки для каждого участка местности где существует угроза затопления населенных пунктов и различных объектов экономики.



Рис. 3. Аэрофотокомплекс, интегрированный с GPS-приемником

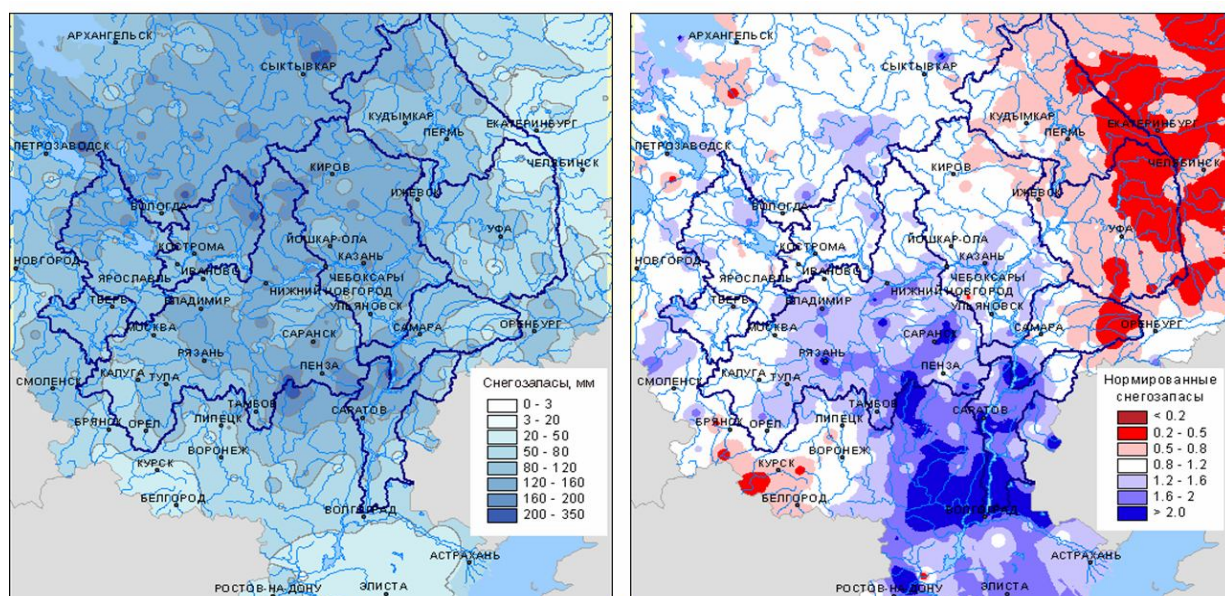


Рис. 4. Запасы воды в снежном покрове (слева) и нормированные снегозапасы (справа)

Например, нами в работе применялись следующие программные средства: пакет статистического анализа Statistika, сервис по построению зон затопления «Floodmap», географическая информационная система ArcGIS по разработке прогноза затопления территории в нижнем течении реки Битюг на основе пространственного анализа с применением ГИС-технологий [4]. С помощью программного обеспечения «FloodMap» можно определить риск затопления любой точки земного шара. Задав определённый уровень подъёма воды, можно увидеть к чему это может привести. Если щелкнуть правой кнопкой мыши на каком-либо месте карты, можно увидеть с какого уровня начнется затопление данной территории и в какой степени она окажется под водой на основе введённых мониторинговых данных. Например: затопление села Лосево Павловского района Воронежской области (рис. 5) начнётся с подъёма воды от отметки 80 метров от текущего уровня и, соответственно, при подъёме на 81 метр, эта местность будет на 1 метр под водой.

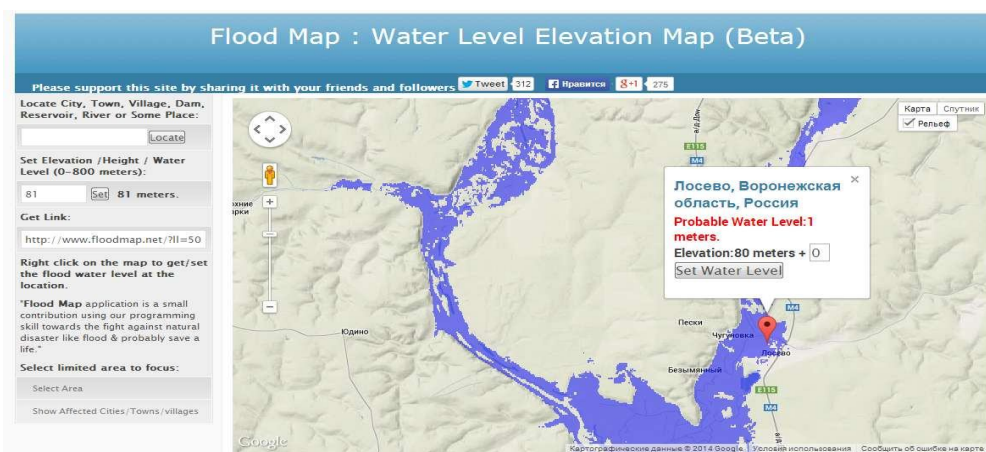


Рис. 5. Затопление Воронежской области при подъёме уровня воды на 1 метр

Таким образом, в случае затопления (подтопления) территории для планирования применения сил и средств по защите населения и территории и детальной оценки обстановки необходимо применение данных дистанционного зондирования земли и аэрофотосъемка. Сведения о текущем состоянии объектов позволяют более детально и точно спланировать действия направленные на защиту жизни и здоровья населения, а также имущество граждан и различных организация. На основании полученных данных вести построение модели затопления территории по текущим уровням затопления территории с учетом прогноза подъема уровня воды. Применение географических информационных систем и данных дистанционного зондирования земли позволят более оперативно получать данные мониторинга гидрологической обстановки и повысят качество прогностических оценок.

Список литературы: 1. Курдов А.Г. Водные ресурсы Воронежской области: формирование антропогенное воздействие, охрана и расчеты. – Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1995. – 224 с. 2. Памятка «Защита и действия населения при стихийных бедствиях гидрологического характера и гидродинамических авариях» / Преподавательский состав УМЦ ГОЧС области, под ред. В.П. Котова. – Учебно-методический центр ГОЧС Воронежской области. – Воронеж, 2008. – 13 с. 3. Прогноз природных, техногенных, биологических и социальных чрезвычайных ситуаций на территории Воронежской области на 2011 год / Главное управление МЧС России по Воронежской области. 4. Долженкова В.В., Звягинцева А.В., Киреев Д.О. Перспективы пространственного анализа в ГИС системах для прогнозирования риска наводнений // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы: Материалы четырнадцатого международного научно-практического семинара. Г. Донецк. В 3-х томах. Т. 2. – Донецк: ДонНТУ, 2013. С. 36–42.

МЕТОД МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ – НЕРАСКРЫТЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Дубинина О.Т., Медведев В.В.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел. +38 (095) 3491433, E-mail: dubinina-olha@yandex.ru; vadim.medvedev@ua.fm

Abstract: *In this paper are disclosed main features of magnetic-pulse processing. Describes the issues that arising at introduction of MPP in manufacture of large parts. Are disclosed economic benefits of the introduction this method of processing.*

Keywords: *magnetic pulse processing, large parts, inductor, magnetic field, hardening of the metal.*

В настоящее время ученые в своих научных разработках все больше концентрируют свое внимание на создании и развитии новых, прогрессивных методов обработки металла. Это обусловлено тем, что гонка по снижению себестоимости и получению новых свойств материалов с каждым годом набирает обороты. Для стран бывшего постсоветского пространства эта проблема стоит наиболее остро, так как техническая база машиностроительных производств сильно устарела, и требует полной модернизации. Положительным моментом в этом случае может стать возможность внедрения сразу передовых методов обработки, минуя промежуточные фазы модернизации.

В настоящее время для удаления остаточных напряжений, которые могут вызывать нарушение сплошности материала и его разрушение, для крупногабаритных изделий используют стабилизирующие термические операции – нормализацию, отжиг. Но для них требуется наличие больших термических печей. Также эти операции нуждаются в больших материальных затратах, таких как затраты на природный и другие газы, затраты на охрану труда, обучение и оплату труда рабочих термических цехов [1].

В направлении улучшения поверхностного слоя металла, изучаются прогрессивные методы, которые позволяют улучшить качество изготавливаемых деталей, упростить технологический процесс и снизить себестоимость. Одним из таких прогрессивных методов является магнитно-импульсная обработка (МИО). В данном направлении уже работают такие ученые, как Печагин А.П. По сравнению с другими направлениями обработки, МИО дает высокий экономический эффект. Он примерно в 3–4 раза выше, чем экономический эффект от традиционных методов обработки [2].

С 70-х годов значительно расширилось применение магнитно-импульсной обработки лезвийного режущего инструмента и динамически нагруженных деталей машин для увеличения их стойкости и надежности работы.

Исследования показали [3], что при импульсном намагничивании лезвийного инструмента из быстрорежущих сталей P18, P12, P6M5 при сверлении, точении и фрезеровании конструкционных сталей коэффициент трения инструмент-деталь уменьшается в 1,5–2 раза. Для вращающихся деталей машин из сталей 40X, 30XГСА, 3X13, ХВГ и других после МИО коэффициент трения в рабочих узлах механизмов снижался в 1,2–2,5 раза. При этом в 3–5 раз ускорялась приработка рабочих поверхностей со смазочными пленками в диапазоне температуры 50–300 °С. Например, температурная стойкость пленки эмульсола при сверлении стали 40X сверлом из сплава P6M5 при МИО инструмента полем напряженностью 350 кА/м возрастала в 2 раза. При МИО инструмента из быстрорежущей стали повышается микротвердость и снижается поверхностное натяжение смазочного материала. При взаимодействии трущихся поверхностей в поверхностном слое снижаются растягивающие напряжения, увеличиваются удерживающие смазочный материал напряжения, возрастает дисперсность блоков мозаики поверхностного слоя металла, повышается закрепление в пограничном слое легирующих элементов, таких, например, как вольфрам, углерод, молибден, ванадий и др. При этом повышается теплопроводность материала, увеличивается скорость отвода тепловых потоков при жидкостном охлаждении, возрастает поляризация органических компонентов смазочного материала, увеличивается адгезия смазочного материала на металлической поверхности и ускоряется отвод теплоты из узлов трения.

При МИО образцов из стали 45X полем напряженностью до 800–1600 кА/м теплопроводность, электропроводимость, коррозионная стойкость увеличивались не менее чем на 5–10 %, а такие технологические свойства, как притираемость, износостойкость, охлаждаемость, повышались на 20–80 % (рис. 1) [3].

Для улучшения механических свойств конструкционных сталей напряженность поля МИО не должна превышать 1000–1500 кА/м. В этом случае ударная вязкость, сопротивление усталости, временное сопротивление на растяжение, предел прочности на изгиб и другие свойства стали возрастают не менее чем на 10–20 %.

При всех преимуществах МИО, его применение для улучшения качества поверхностного слоя и физико-механических свойств металла крупногабаритных деталей большого распространения не получило. Это обуславливается тем, что для МИО необходимы импульсные магнитные поля большой напряженности, создание которых требует достаточно сложного и дорогостоящего оборудования. Так же для различной номенклатуры обрабатываемых деталей малых размеров, таких как режущий инструмент и метиз, можно изготовить одну катушку индуктивности (индуктор) диаметром до 20–25 мм. В тоже время для каждой крупногабаритной детали необходимо изготавливать свою конструкцию индуктора и рассчитывать для неё режимы обработки.

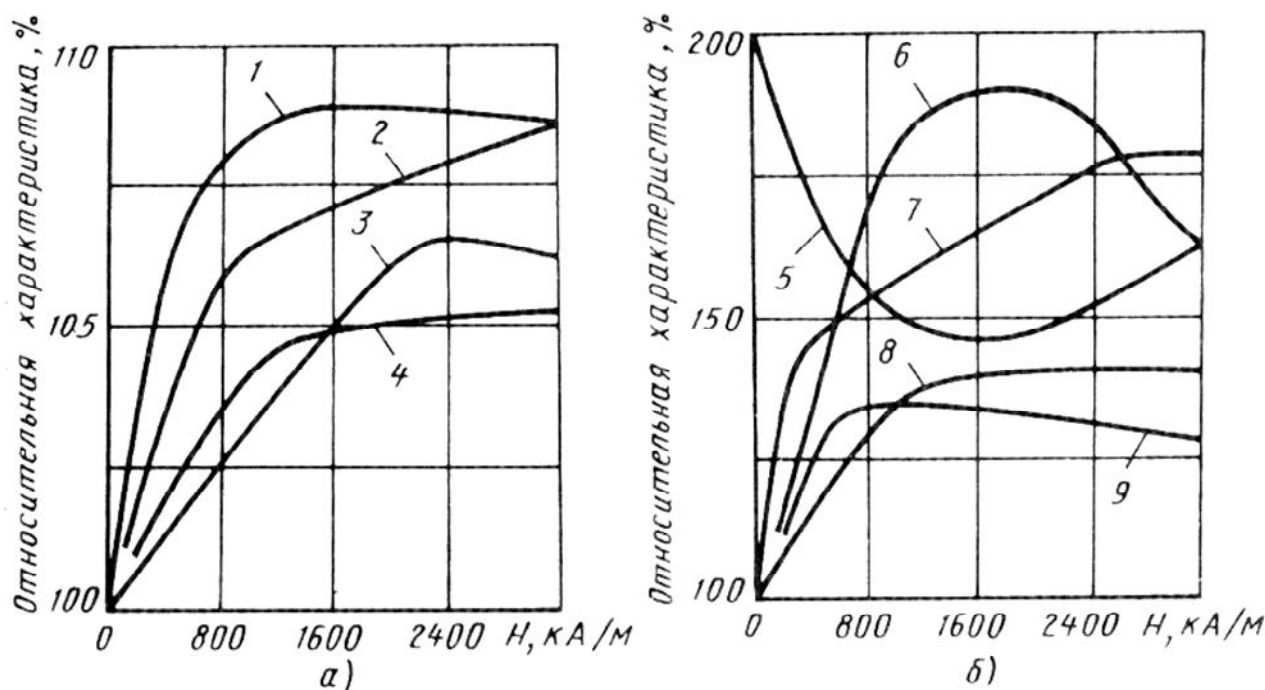


Рис. 1. Относительное изменение физико-химических (а) и технологических (б) характеристик образцов из стали 45Х при МИО напряженностью $H = 0\text{--}3200$ кА/м: 1 – теплопроводность; 2 – магнитная проводимость; 3 – электропроводимость; 4 – коррозионная стойкость; 5 – износостойкость; 6 – притираемость; 7 – прокатываемость; 8 – скорость охлаждения, 9 – обрабатываемость резанием

Расчёт магнитного поля индуктора для крупногабаритных деталей, элементы которых превышают 300–400 мм, показал, что для развития поля 50–70 кА/м требуется протекание тока более 17 кА. Для одновременной обработки всей детали требуются ещё большие токи. Создание аппаратуры, способной развивать столь значительные токи на малогабаритных индукторах сопряжено с большими техническими сложностями. Поэтому предлагается проводить поверхностную обработку крупногабаритных деталей небольшими участками с помощью плоских индукторов. Их габариты рассчитываются исходя из ограничений возможных токов, проходящих по виткам катушки. Предварительные расчёты напряженности магнитного поля показали, что при вполне приемлемых токах в 1–2 кА, габаритный размер одновременно обрабатываемой площади поверхности детали составит 70–100 мм. Выбор рационального расположения витков индуктора позволит увеличить это значение до 200 мм.

Так как время обработки площади под индуктором обычно не превышает 20–30 с, то крупногабаритная деталь размером от 1,5 м, может быть последовательно обработана с помощью МИО за 1 час машинного времени. С затратами электроэнергии до 5–7 кВт. В тоже время на термическую операцию этой же детали было бы потрачено более 5 часов и значительно больше газа в денежном эквиваленте.

Выводы. Для сокращения технологического цикла и значительного уменьшения затрат на термические операции, повышение геометрической точности деталей после улучшения качества материала, уменьшение потребных производственных площадей наиболее перспективным является внедрение магнитно-импульсного метода обработки. Он позволяет улучшить структуру металла и снять остаточные напряжения. Однако очень малая распространённость данного метода, отсутствие готовой для коммерческого использования аппаратуры и недостаточное финансирование перспективных разработок на самих машиностроительных предприятиях, не дает возможности развивать и внедрять магнитно-импульсный метод обработки. Не смотря на это, метод несет в себе большие технологические возможности.

Список литературы: 1. Техно сфера [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tekhnosfera.com> – Заголовок с экрана. 2. Дубинина О.Т. Место магнитно-импульсной обработки в современном машиностроении / О.Т. Дубинина, В.В. Медведев // Молодая наука XXI века. – Краматорск: ДГМА, 2013. – С. 52–54. 3. Малыгин Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 112 с.

УДК 629.7.022 + 621.313.17

ТУРБОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ САМОЛЕТЫ – ЛУЧШЕЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ КОММЕРЧЕСКИХ АВИАКОМПЛЕКСОВ КОРОТКОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ

Дуров Д.С.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Тел. +7 (8634) 371622; E-mail: dsdurov@sfedu.ru

Abstract: *The article considers the prospects for the creation and use of aircraft with hybrid power unit based on electric motors, diesel and jet engines which have the ability to make short takeoffs and landings. The paper suggests possible variants of these aircraft and shows three type of prototypes depending on take-off weight.*

Key words: *hybrid force installation, plane, short rise and landing.*

С целью исключения известных недостатков, присущих реактивным пассажирским самолетам, в Европе и США электро- и самолетостроительные компании (например, «Research/Boeing») объединили для этого свои усилия и по инновационным программам, инициированным первыми, уже проводят исследования новых поколений электросамолетов. Тем более, в США по программе «Fuel Cell Demonstrator Airplane» концерн «Boeing» ведет работы по созданию электросамолетов нового поколения, в основе которых будут

сверхпроводящие электромоторы, работающие за счет топливных элементов, представляющих нечто среднее между аккумуляторами и обычными источниками питания, созданными на основе гибридных литиево-ионных батарей, имеющих быстрое (в течение получаса) время перезарядки и питающих электромоторы самолета. Кроме того, такие электросамолеты нового поколения будут заметно тише традиционных аналогов и обязательно иметь возможность выполнения технологии короткого взлета и посадки (КВП) [1].

В ходе развития электрических самолетов немецкая компания «Bauhaus Luftfahrt» представила в 2012 году свое видение как будет выглядеть полностью электрический самолет (ПЭС) проекта «Ce-Liner» (рис. 1, а). Данный проект такого ПЭС представляет собой моноплан с низкорасположенным крылом С-образной формы, концы которого отклонены к мотогондолам, установленным по бокам фюзеляжа на горизонтальных пилонах вертикального оперения и имеющим электромоторы с закапотированными винтовентиляторами.



а



б

Рис. 1. Инновационный ПЭС проекта «Ce-Liner» и КЭС проекта «E-Thrust» (иллюстрация компании «Bauhaus Luftfahrt» и концерна EADS) [2]

Европейский аэрокосмический и оборонный концерн (EADS) объявил в 2013 году на Авиасалоне в Ле-Бурже сразу о трёх проектах по разработке электро- и гибридных самолётов малых, средних и больших форматов. Однако, именно нынешние полностью электрические малых и средних форматов самолеты имеют значительный вес литиевых батарей (до 35–40 % взлетного веса) и их огромную ёмкость, полностью используемых только на взлетно-посадочных режимах, а всё остальное время крейсерского полета весьма утяжеляющих летательный аппарат. Поскольку, только гибридные технологии с многодвигательной силовой установкой могут исключить вышеназванные недостатки, то третий концепт, представленный EADS и Rolls-Royce – широкофюзеляжный гибридный электросамолет E-Thrust (см. рис. 1, б), создаваемый по системе распределенной тяги (DEAP, Distributed Electrical Aerospace Propulsion) от шести электромоторов. По сути, это последовательная гибридная схема электрического самолета проекта E-Thrust,

при которой отдельно размещённая в кормовой части его фюзеляжа основная турбина с генератором только вырабатывает электричество для шести электромоторов (по три с каждой стороны), а те, будучи расположенными в удобообтекаемых надкрыльевых обтекателях самолета, за счёт малых габаритов не ухудшают его аэродинамику так сильно, как нынешние турбины, размещаемые под крылом, прямо в набегающем воздушном потоке. В системе электросамолета «E-Thrust» почти нет буферных накопителей электроэнергии. Они сведены до относительно небольших ёмкостей, подающих энергию для взлётного режима, когда потребление мощности и взлётной тяги максимально. Это резко уменьшает вес и стоимость последовательной гибридной схемы (мало накопителей), но одновременно при этом не позволяет ограничить мощность основной турбины (той, что необходима и для взлётного режима, и крейсерского полёта), то есть сделать её легче, дешевле, экономичнее и тем более обеспечить возможность выполнения, особенно, технологии КВП.

Взлётная тяга тянущих винтовентиляторов обеспечивается только в горизонтальном направлении, а возможность изменения в вертикальной плоскости направления их вектора тяги и, как следствие, возможного уменьшения посадочной скорости, обеспечиваемой при выполнении технологии КВП, у электросамолета «Ce-Liner» нет, что уменьшает его безопасность. Кроме того, современные технологии позволяют обеспечить следующие величины удельной массы электрических устройств как для электропривода (электродвигатель с блоком управления) до 0,32 кг/кВт (при мощности более 250 кВт), так и для электрогенератора до 0,23 кг/кВт, аккумуляторов с плотностью энергии 0,2 кВт/кг в гибридной мотогондоле с турбовинтовым двигателем (ТВД) и обратимым электромотором-генератором (ОЭМГ) при мощности более 300 кВт. Все это, особенно без системы распределенной групповой тяги винтовентиляторов ограничивает возможность дальнейшего увеличения взлётного веса и веса перезаряжаемых аккумуляторов, а также повышения горизонтальной тяговооруженности и обеспечения выполнения КВП. Поэтому, только многодвигательные силовые установки (СУ), выполненные по параллельно-последовательной гибридной технологии, могут обеспечить создание ряда моделей высокоскоростных электросамолетов короткого взлета и посадки (ЭСКВП), создающих возможность продолжения времени крейсерского полета не менее 3–4 часов полета, в том числе при выполнении технологии КВП.

Широкие эксплуатационные требования к гибридным самолетам нового поколения, несомненно, приведут к освоению ряда моделей уникальных беспилотных и турбоэлектрических ЭСКВП. Освоение инновационных беспилотных и гибридных ЭСКВП, созданных по продольной схеме триплана с хвостовым оперением обратной Y-образности, смонтированным совместно с кормовым кольцевым каналом, имеющим внутри с задним расположением большой толкающий винт, вращающийся в противоположном направлении с тремя меньшими толкающими винтами, установленными по системе их

распределенной тяги вокруг кольцевого канала на цельноповоротных внешнем вертикальном киле и внешних консолях стабилизатора (ЦВВК и ЦВКС). Кроме того, использование параллельно-последовательной гибридной технологии в двухмоторной мотогондоле с турбодизельным/турбовинтовым двигателем (ТДД/ТВД) и обратимого электромотор-генератора (ОЭМГ) по концепции распределенной тяги разновеликих винтов (РТРВ) схемы РТРВ-Х1+3 позволит удвоить горизонтальную тяговооруженность, а также обеспечит значительное повышение взлетного веса и весовой отдачи. Благодаря этому в фюзеляже гибридных высокоскоростных ЭСКВП исполнения РТРВ-Х1+3 (см. табл. 1) станет возможным разместить полезную нагрузку – 9–52 пассажиров.

Учитывая сказанное, создание ЭСКВП-9/19 исполнения РТРВ-Х1+3 турбодизельных самолетов проекта «Легкий многоцелевой самолет с пассажироместимостью 9/19 человек (ЛМС-9/19)», обеспечивающих повышение транспортной и, особенно, топливной эффективности на местных воздушных линиях и не имеющих недостатков зарубежных электросамолетов проектов «Ce-Liner» и «E-Thrust» будет весьма перспективным. Освоение этих высокоскоростных ЭСКВП, созданных по продольной схеме триплана и классической компоновке низкоплана с использованием параллельно-последовательной гибридной технологии в двухмоторной хвостовой гибридной мотогондоле с ТДД/ТВД и ОЭМГ и концепции РТРВ по схеме 1+3, позволит удвоить горизонтальную тяговооруженность и упростить конструкцию хвостового оперения и исключить главный редуктор с валами трансмиссии.

Таким образом, ЭСКВП, имеющий ПГО, стреловидное крыло С-образной формы с концевыми крылышками, увеличивающими взлетный вес около 5,2 %, скороподъемность и крейсерскую скорость до 10 % и снижающими потребление топлива около 5,6–6 %, представляет собой гибридный самолет продольной схемы триплана с тремя электромоторами, по одному ТДД/ТВД и ОЭМГ. Воздушные флюгерно-реверсивные толкающие винты на левой и правой поворотных мотогондолах, создающие горизонтальную и соответствующим отклонением вниз наклонную тягу, обеспечивают необходимые управляющие моменты и уменьшение дистанции при выполнении технологии КВП. Причем ПГО находится спереди крыла, создает дополнительную подъемную силу и разгружает его, что и предопределяет наравне с высокой тяговооруженностью гибридной СУ возможность легко реализовать и выполнение технологии КВП. Последнее, весьма важно при палубном базировании и, особенно, беспилотного ЭСКВП, так как обеспечивает короткий его взлет и посадку на палубу корабля (достаточно 165–200 м) при взлетной тяговооруженности не менее 0,63. Поэтому дальнейшие исследования по созданию таких ЭСКВП, используя вышеназванные преимущества, позволит освоить их широкое семейство, особенно с генераторными ТДД типа Е-8 и Е-12 фирмы DAI (Австрия), обеспечивающими реально высокие технико-экономические результаты. Теперь уже нет сомнений в том, что такие гибридные ЭСКВП исполнения РТРВ-Х1+3 – это одно из

Предварительные технические требования к высокоскоростным гибридным ЭСКВП

№ п/п	Параметры	Величины		
		Тип 1.1	Тип 1.2	Тип 1.3
1	2	3	4	5
1.	Размеры планера на базе:	М101 Гжель	М-105 Дуэт	Ил-114-300
	Длина коммерческого/беспилотного, м	10,55/9,75	16,1/14,95	26,88
	Высота без винтов на шасси, м	3,72	5,25	8,9
	Размах крыла/сложенного, м	13,0/8,2	14,7/9,1	26,25/15,9
	Площадь крыла/(стояночная), м ²	17,04/(87)	25,7/(147)	62,69/(245)
	Площадь ПГО, м ²	3,41	6,42	15,67
2.	Гибридная СУ на базе трех электромоторов и одного ОЭМГ с ТДД/ТВД, модель	ТДД Е-8/ ТВД АИ-450	ТДД Е-12/ ТВД ВК-800	-/ТВД ТВ7-117С
2.1	Мощность пиковая четырех электромоторов/общая +взлетная ТДД/ТВД, кВт + л.с.	170×4/ 680+450×1	282×4/ 1128+800×1	825×4/3300 +2650×1
3.	Массы и нагрузки (при тяговооруженности):	(0,64)	(0,64)	(0,63)
3.1	При взлетной тяге винтов $d \times 3/D \times 1$, кгс	1280/1280	2320/2320	4893/5322
3.2	При выполнении технологии КВП, кг	4000	7250	22485
3.3	Нормальная целевая нагрузка при Взлете по п. 3.2, чел. (т)	2+9(0,9)	/2+19(1,9)	/2+52(5,2)
3.4	Пустого/в т.ч. Вес батареи, кг	2650/928	4740/1660	15455/5410
3.5	Запас топлива, кг	250	410	1630
4.	Диаметр реверсивных винтов d/D , м	1,39×3/2,0	2,0×3/2,88	3,54×3/5,08
4.1	Сметаемая площадь всеми винтами, м ²	7,69	15,93	49,76
4.2	Скорость вращения винтов d/D : При выполнении КВП, мин ⁻¹ При крейсерском полете, мин ⁻¹	3440/2750 2752/2200	2375/1915 1900/1532	1350/1085 1080/868
5.	Удельная нагрузка на сметаемую взлетную площадь винтами, кг/м ²	520,16	451,97	451,87
6.	Удельная нагрузка на мощность, кг/л.с.	2,9	3,11	3,15

1	2	3	4	5
7.	Критерий п. 3.3×п. 9.3 при КВП, т·км	1809,0	4073,6	12812,8
8.	Удельная нагрузка на крыло, кг/м ²	195,6	224,2	286,94
9.	Летно-технические характеристики:	ЭСКВП-0,9	ЭСКВП-1,9	ЭСКВП-5,2
9.1	Крейсерская 1-я/2-я скорость на 25/50 % от пиковой электрической мощности СУ, км/ч	460/640	460/640	460/640
9.2	Общее время полета по п. 3.2/в т.ч. При использовании 75 % зарядки батарей, ч	3,85/0,85	3,85/0,85	3,85/0,85
9.3	Протяженность полета по п. 3.2/в т.ч. При 75 % использовании зарядки батарей, км	2464/544	2464/544	2464/544
9.4	Максимальная 3-я скорость, км/ч	695	695	695
9.5	Практический потолок, м	8600	9000	9145
9.6	Дистанция при посадке с пробегом/ При взлете с коротким разбегом, м	165/110	200/135	240/160

важнейших направлений развития как авиационной техники, так и гибридных авиакомплексов КВП, особенно на базе высокоскоростных ЭСКВП.

Параллельно-последовательная гибридная СУ, например, ЭСКВП-0,9 (см. табл. 1, тип 1.1) исполнения РТРВ-Х1+3, включающая три электродвигателя с меньшими винтами диаметром 1,39 м и один ОЭМГ – с большим винтом диаметром 2,0 м суммарной пиковой/номинальной мощности 680/374 кВт, имеет в гибридной мотогондоле с ОЭМГ и генераторный ТДД (типа Е-8), который при взлете может предоставить еще 330 кВт (450 л.с.). При благоприятных погодных условиях литиево-полимерная батарея позволит ЭСКВП-0,9 перемещаться на расстояние в 544 км. Однако при падении зарядки до 25 % от максимального значения включится ТДД и будет в полете, вращая только ОЭМГ, подпитывать аккумуляторы. Его топливный бак при выполнении КВП вмещает 250 кг топлива, что эквивалентно дополнительным 1920 км полета. Поэтому, выполняя КВП и имея запас топлива на время получасового полета, и даже с учетом работы генераторного ТДД топливная эффективность для ЭСКВП-0,9 на дальности до 2500 км весьма впечатляюща и составит 11,27 г/пасс·км.

Важной особенностью применения параллельно-последовательной гибридной технологии силового привода и концепции РТРВ-Х1+3 в высокоскоростных ЭСКВП, обеспечивающей качественный рост потребительских свойств, является то, что она масштабируема и позволит наряду с коммерческим (беспилотным) ЭСКВП-0,9 создавать и легкие

среднемагистральные ЭСКВП с пассажировместимостью 19 и 52 человек, освоенные на платформе самолетов соответственно М-105 «Дуэт» и Ил-114-300. При этом гибридный ЭСКВП-5,2 с общей топливной экономичностью 12,72 г/пасс·км может иметь три электромотора пиковой/номинальной мощностью 800/440 кВт каждый и турбовинтовой двигатель (ТВД) модели ТВ7-117С (мощностью $N = 2650$ л.с.) соответственно с толкающими тремя меньшими винтами на ЦВБК и ЦВКС и одним толкающим большим винтом, установленным в кормовом кольцевом канале, диаметром соответственно 3,54 м и 5,08 м. Это позволит выполнить гибридный ЭСКВП исполнения РТРВ-Х1+3 по продольной компоновке триплана, конструктивно-силовой схеме низкоплана, что создает возможность сравнительно дешево обеспечить возможность преобразования его полетной конфигурации с самолета с четырьмя разновеликими флюгерно-реверсивными винтами для взлетно-посадочных режимов полета, в самолет с трех-, двух- или одновинтовой движительной системой для соответствующих скоростей крейсерского полета и обратно [3].

Список литературы: 1. Бауэрс П. Летательные аппараты нетрадиционных схем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 320 с. 2. Адрес в сети Интернет: <http://www.chip.ua/stati/aviatsiya-budushhego-20-30-let/> 3. Дуров Д.С. Электрический самолет короткого взлета и посадки. Патент RU №2013158602 27.12.2013 (положительное решение).

УДК 621.25

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА ГРУППОВОЙ ПАЙКИ ЭКРАНИРУЮЩИХ ПЕРЕГОРОДОК

Ермолаева Н.В., Соромотин А.Н.

ВИТИ НИЯУ МИФИ, г. Волгоград, Россия

*Тел./факс: +7 (8639) 225949; E-mail: NVermolayeva@mephi.ru,
vorped92@yandex.ru*

Abstract: *It's used the surface-mount technology for mass soldering of screening walls. We change the process flow of print-wire assembly and select the soldering data.*

Keywords: *surface-mount technology, screening wall, mass soldering, printed circuit board, brazing paste.*

В настоящее время развитие микроэлектроники приводит к миниатюризации электронной базы. В результате все большее распространение получает технология поверхностного монтажа.

Поверхностный монтаж по сравнению с монтажом в отверстия имеет ряд преимуществ: микроминиатюризация аппаратуры при одновременном росте ее функциональной сложности, улучшение электрических характеристик, снижение стоимости приборов. Однако данная технология характеризуется повышенными требованиями к точности температуры пайки, ее зависимостью от времени, поскольку при групповой пайке нагреву подвергается весь компонент [1, 2].

Целью настоящей работы является применение технологии поверхностного монтажа для групповой пайки экранирующих перегородок.

Экранирующие перегородки представляли собой пластины из алюминиевого сплава Д16 высотой 1,5 см и толщиной 3 мм, покрытые слоем олово-висмут. Геометрия расположения экранирующих перегородок соответствовала топологии печатной платы. Внешний вид экрана представлен на рис. 1.

В существующий технологический маршрут сборки печатной платы были внесены изменения, соответствующие этапам сборки и пайки экранирующих перегородок к печатной плате. В частности, в данный маршрут были внесены следующие этапы:

- пайка частей экрана в единую экранирующую перегородку;
- нанесение паяльной пасты методом дозирования;
- установка экранирующих перегородок на печатную плату;
- пайка в конвекционной печи.

Следует подчеркнуть, что экранирующая перегородка припаивалась к плате после установки основных элементов. Согласно технической документации на печатную плату были установлены высокотемпературные элементы. Таким образом, процесс пайки экрана в конвекционной печи не привел к деградации характеристик данных элементов.

Пайка деталей экрана между собой осуществлялась с применением припоя ПОС-61 ГОСТ 21931-76 методом ручной пайки.

Следующим этапом технологического процесса было нанесение паяльной пасты на плату. Поскольку на плату уже были установлены элементы, то нанесение методом трафаретной печати могло повредить элементы. Поэтому для нанесения паяльной пасты мы использовали нанесение с помощью дозирования с применением настольной системы дозирования WR300.

Так как на плате уже напаяны элементы с использованием паяльной пасты на основе Sn62/Pb36/Ag2, у которой температура оплавления составляет 183°C,



Рис. 1. Внешний вид экранирующих перегородок

то для пайки экранов требовалось подобрать паяльную пасту, у которой температура оплавления ниже, чтобы не произошла распайка элементов, установленных на плату. Нами был проведен анализ характеристик ряда паяльных паст. Было принято решение использовать паяльную пасту ТВ48-М742 [3]. Безотмывочная низкотемпературная паяльная паста КОКИ ТВ48-М742 D (точка плавления 138°C) предназначена для дозаторов, для бессвинцовой технологии.

Мы провели ряд экспериментов для подбора оптимального режима пайки. Пайка осуществлялась в конвекционной печи RO400FC. Данная печь оплавления представляет собой современную систему для пайки электронных узлов на печатных платах, а также для выполнения отверждения материалов. Печь имеет четыре зоны нагрева, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Зоны нагрева паяльной печи

Зона	Процесс
1	Предварительный нагрев (подъем температуры платы)
2	Зона активации (начало активации флюса и дополнительный предварительный нагрев платы)
3	Зона активации (активация флюса и дополнительный предварительный нагрев платы)
4	Зона пайки (камера двойного нагрева сверху и снизу)

В ходе эксперимента варьировались температура в зоне оплавления и скорость конвейера конвекционной печи.

При скорости конвейера 280 мм/мин и температуре в зоне пайки 165°C паста не расплавилась. При повышении температуры во всех зонах печи на 5°C паста начала расплавляться, но оплавление произошло не полностью. При дальнейшем повышении температуры во всех зонах печи еще на 5° паяное соединение характеризовалось недостаточным смачиванием и серой пористой структурой. Поскольку более низкая температура пайки в нашем случае имеет принципиальное значение, так как необходимо, чтобы не произошла распайка ранее припаянных компонентов, то существенное увеличение температуры недопустимо. В ходе экспериментов было выяснено, что уменьшение скорости конвейера позволяет увеличить количество тепла, переданного пасте, и соответственно, улучшить качество пайки, не увеличивая температуру.

Скорость конвейера варьировалась в пределах 270 – 240 мм/мин. Температура в зонах печи оставалась неизменной. Данные по температуре приведены в табл. 2. При скорости конвейера 270 мм/мин паяльная паста расплавилась, но оплавление произошло не полностью. При скорости конвейера 240 мм/мин наблюдались следы перегрева (пайка потемнела, внешний вид пайки неровный и бугристый), в целом пайка была некачественной.

Оптимальный режим пайки оплавлением

Температура, °С				Скорость конвейера, мм/мин
1 зона	2 зона	3 зона	4 зона	
100	150	175	185	250

Расплавление паяльной пасты и ее полное оплавление было достигнуто при скорости конвейера 250 мм/мин. В табл. 2 приведен оптимальный режим пайки оплавлением. При данных параметрах режима пайки произошла пайка экрана к печатной плате и не произошла распайка элементов, ранее установленных на плату.

Выводы

В результате проведенной работы было разработано внедрение в технологический маршрут сборки печатной платы дополнительных элементов, которые соответствуют маршруту сборки и установки экранов на печатную плату. Была проведена пайка деталей экрана в единый экран. На печатную плату была нанесена паяльная паста методом дозирования. Был проведен ряд экспериментов для подбора оптимального режима пайки. При данном режиме произошла качественная пайка экрана к печатной плате.

Список литературы: 1. http://www.ostec-materials.ru/tech_lib/technology/poverkhnostnyy-montazh.php / Поверхностный монтаж. 2. <http://www.elinform.ru/>. Основы технологии и оборудование для поверхностного монтажа. 3. <http://www.mettatron.ru/produktsiya/bessvintsovye-payalnye-pasty/> Паяльная паста КОКИ ТВ48-М742 D.

УДК 004.4.2

РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ МЕТОДОМ ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Звягинцева А.В., Долженкова В.В.

ВГТУ, г. Воронеж, Россия

Тел. +7 (950) 7501062; E-mail: zvygincevaav@mail.ru

Abstract: *The analysis of emergency situations at the technosphere, associated with the use of liquefied petroleum gas. Illustrates the application of mathematical methods to predict possible crashes technological equipment using methods of constructing a «fault tree» at the gas processing plant.*

Keywords: *modeling, object technosphere, analysis, risk, process equipment failures, Technosphere Safety, explosion, fire, propane.*

Аварийные ситуации, связанные с взрывами и пожарами на газоперерабатывающих заводах, как правило, влекут за собой значительные потери среди людей, разрушения технологического оборудования, а также значительный материальный ущерб. Крупные аварии обычно характеризуются комбинацией случайных событий, которые возникают с различной частотой и на разных стадиях развития аварии. Для выявления причинно-следственных связей между ними используется метод логико-графического анализа «дерево событий».

В качестве объекта исследования выбран Оренбургский газохимический комплекс (ОГХК, рис. 1), крупнейший в Европе, который был основан в 70-х гг. прошлого века на базе Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ), запасы которого составляли около 2 трлн м³ природного газа. Продукцией газоперерабатывающего завода (ОГПЗ) являются сухой газ, элементарная газовая сера, стабильный конденсат, широкая фракция легких углеводородов, сжиженный газ [1, 2]. Цель работы:

- провести анализ аварийности на исследуемом и аналогичном производствах;
- выявить возможные причины и разработать сценарии возникновения и развития аварийной ситуации на объекте методом построения дерева отказов;
- рассмотреть вероятность возникновения различных вариантов аварий с взрывом и последующим пожаром пролива на территории установки.

Площадь ОГПЗ 27 га, в т.ч. технологические установки – 11,4 га, товарно-сырьевой парк – 16,4 га. В соответствии с санитарными нормами СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01 ОГПЗ относится к предприятиям 2 класса, нормативная санитарно-защитная зона для которых установлена 500 м. Газофракционирующая установка ГФУ-1 предназначена для получения стабильного бензина и сжиженных газов, или стабильного бензина и фракций индивидуальных углеводородов из широкой фракции углеводородов [3]. Основными показателями работы ГФУ являются четкость разделения сырья на составляющие компоненты и концентрация целевых компонентов во фракциях. Устойчивая работа ректификационных колонн ГФУ возможна при обеспечении:

- равномерной подачи сырья в целом на установку и на загрузку отдельных колонн;
- равномерной подачи орошения;
- постоянства состава сырья;
- надежного обеспечения установки теплоносителем и хладагентами.

Анализ причин возникновения аварий на Оренбургском газоперерабатывающем заводе представлены на рис. 2.

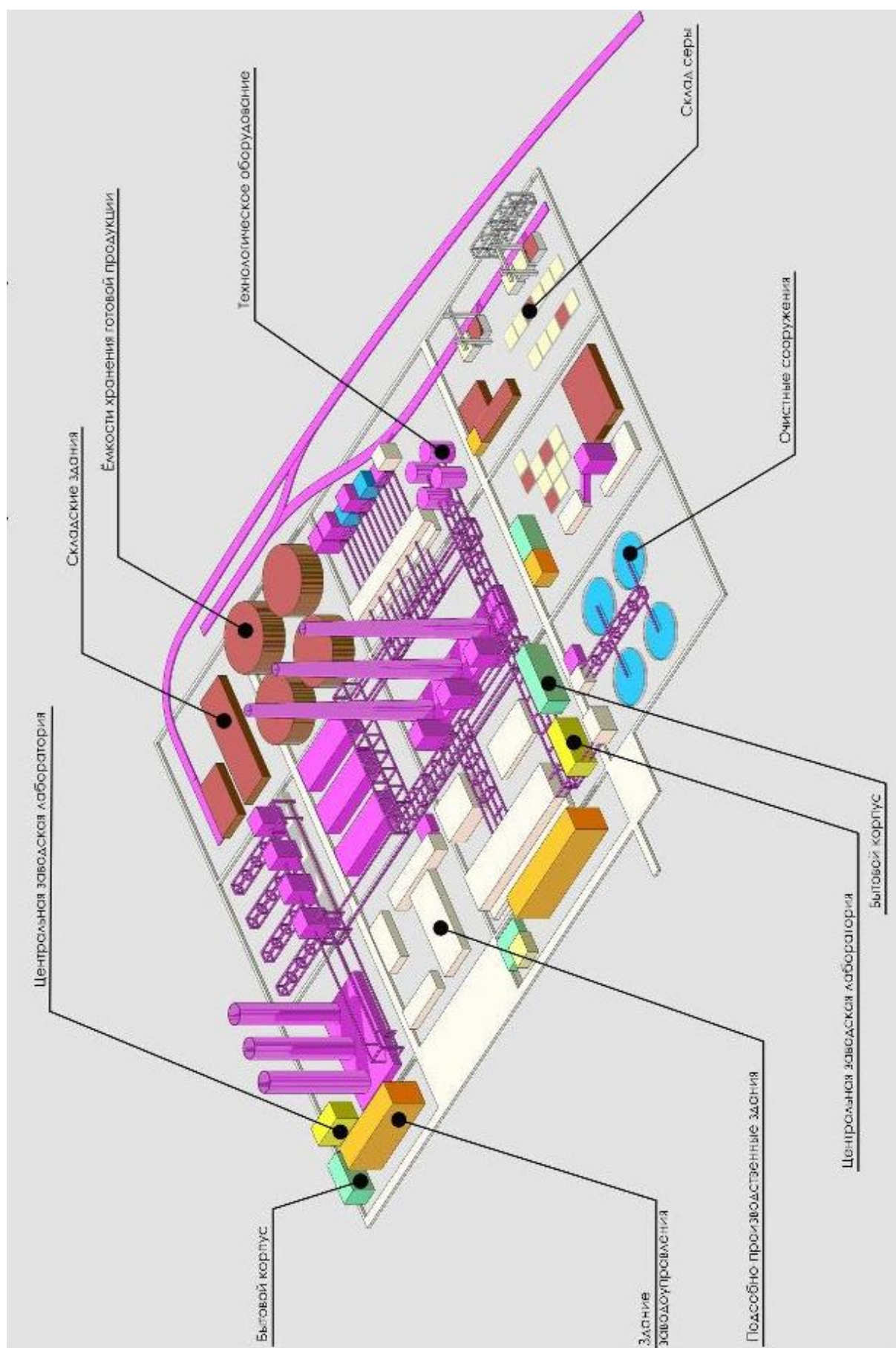


Рис. 1. Макет Оренбургского газохимического комплекса (ОГХК)

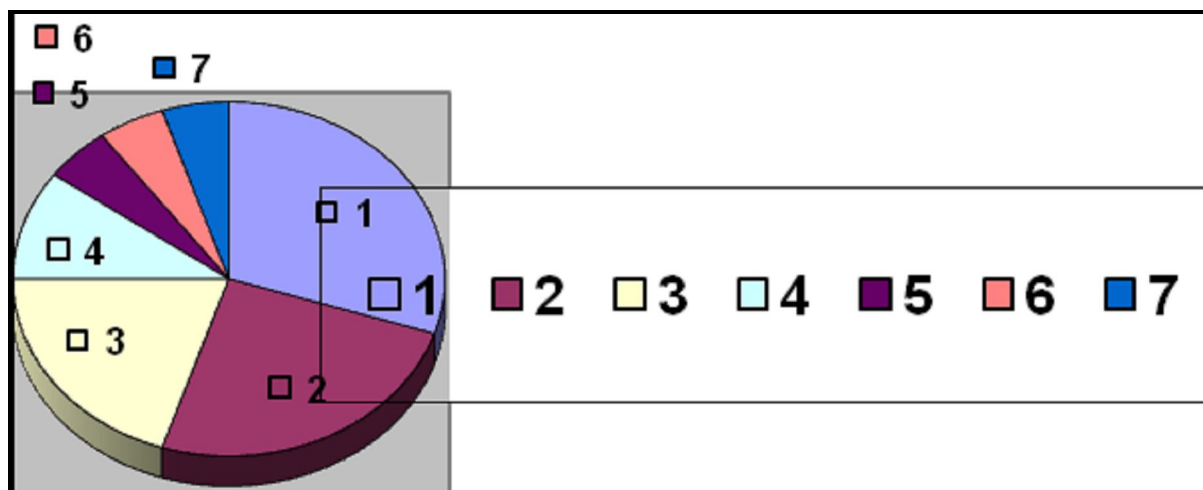


Рис. 2. Причины возникновения аварий на предприятиях нефтегазопереработки:
 1 – ошибки персонала (30 %); 2 – нарушение технологического процесса (25 %); 3 – отказы средств регулирования и защиты (20 %); 4 – пропуск через фланцевые соединения (10 %); 5 – коррозия (5 %); 6 – механические повреждения (5 %); 7 – сбои в подаче электроэнергии (5 %)

Диаграмма последствий залповых выбросов сжиженных углеводородов (СУГ) показана на рис. 3. Из диаграммы следует, что из общего количества взрывов в нефтегазовой промышленности в 42,5 % случаев происходят взрывы сжиженных углеводородных газов. При залповых выбросах горючих газов 7 % не сопровождаются воспламенением, 35 % завершаются взрывами, в 23 % случаев взрывы сочетаются с пожарами, 34 % сопровождаются только пожарами.

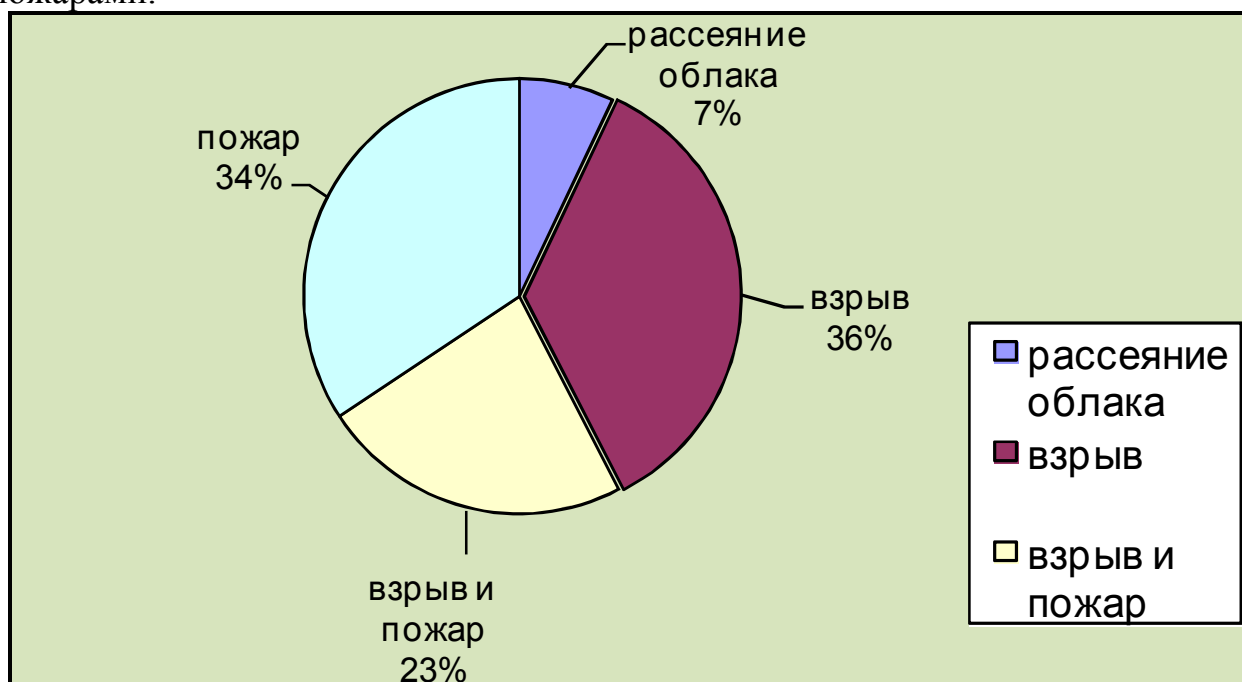


Рис. 3. Диаграмма последствий залповых выбросов сжиженных углеводородов (СУГ)

Анализ характера и причин аварий в нефтегазовой промышленности показывает, что около 95 % связано с взрывами: 54 % в аппаратуре, 46 % в производственных зданиях и на открытых технологических площадках. Обработка статистических данных чрезвычайных ситуаций на данных объектах техносферы за 2000–2010 гг. показывает, что из общего количества взрывов в 42,5 % случаев происходят взрывы сжиженных углеводородных газов. При залповых выбросах горючих 7 % не сопровождаются воспламенением, 35 % завершаются взрывами, в 23 % случаев взрывы сочетаются с пожарами, 34 % сопровождаются только пожарами.

Прогнозирование частоты аварий проводится на основе статистических данных.

Следует отметить, следующие общие специфические особенности СУГ – сжиженных углеводородных газов СУГ [4–6]:

- при температуре окружающей среды содержимое резервуара, представляет собой двухфазную среду (жидкость–пар) с давлением, превышающим атмосферное (иногда в 7–8 раз);
- разгерметизация резервуара в любой её точке приводит к истечению жидкой или парообразной среды с образованием в окружающем пространстве взрывоопасного паровоздушного облака;
- при истечении жидкой фазы определенная часть её (в некоторых случаях до 40 %) мгновенно испаряется, остальная часть жидкости образует зеркало пролива, из которого происходит интенсивное испарение продукта;
- СУГ являются горючими веществами, минимальные энергии, зажигания смесей паров которых с воздухом низки;
- сгорание взрывоопасных паровоздушных облаков приводит к образованию ударных волн с тем или иным разрушением окружающих объектов.

Пропан, бутан и их смеси – самые экологически чистые виды топлива, ведь это сжиженные углеводородные газы, которые содержат минимальное количество серы и других загрязнений. Пропан в состоянии газа тяжелее воздуха; при случайном выбросе в атмосферу газ оседает и, в зависимости от условий погоды и ветра, быстрее или медленнее растворяется в воздухе. При 30 °С доля мгновенно испарившегося пропана будет составлять 0,4 от общей массы пропана. Так как происходит мгновенное воспламенение, именно эта часть будет участвовать в образовании взрыва или огненного шара, остальная часть образует пожар пролива, рис. 4.

Сжиженный пропан относится к жидкостям, у которых критическая температура выше, а точка кипения ниже окружающей среды. Основное отличие жидкостей данной категории заключается в явлении «мгновенного испарения», которое возникает тогда, когда в системе, включающей жидкость, находящуюся в равновесии со своими парами, понижается давление. Через некоторое время устанавливается новое состояние равновесия, причем температура кипения жидкости будет ниже. Доля мгновенно испарившейся жидкости зависит от температуры окружающей среды.

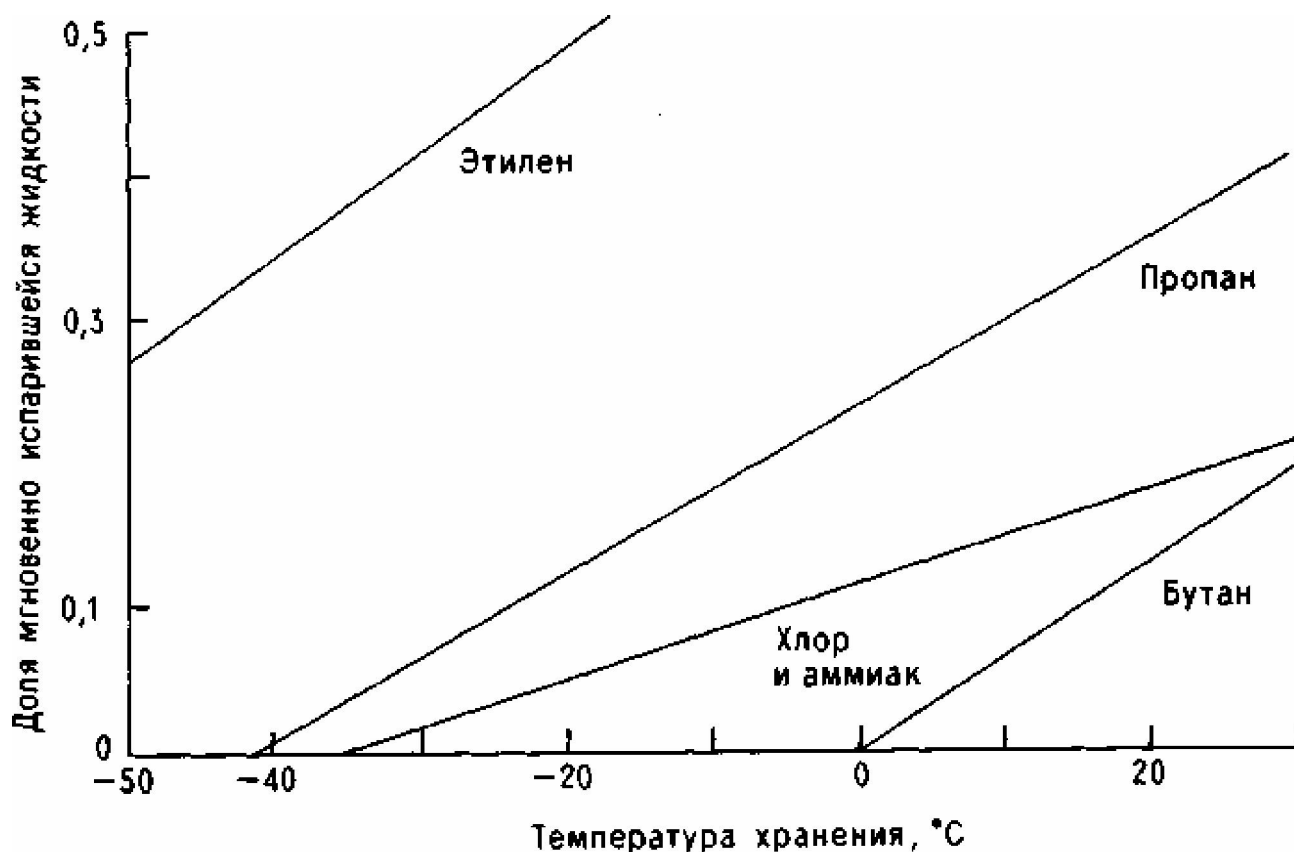


Рис. 4. Доля мгновенного перехода жидкости в газообразное состояние в зависимости от температуры

При пробое резервуара выше уровня жидкости выброс пара при давлении в резервуаре будет продолжаться до тех пор, пока вся жидкость не испарится. При пробое резервуара ниже уровня жидкости в отверстии плоской стенки, скорее всего можно ожидать появление однофазного потока жидкости. При этом мгновенное испарение будет происходить с внешней стороны места утечки.

Образование парового облака может привести к трем типам опасностей: крупному пожару, взрыву парового облака, токсическому воздействию [4–6].

Вероятность возникновения инициирующего события – разрушение емкости с выбросом пропановой фракции, принята равной 1.

Значение частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития аварии по конкретному сценарию [7–11].

Значение частоты возникновения сценария аварийной ситуации, при разрушении резервуара содержащего пропановую фракцию, с образованием огненного шара равно:

$$P_{o.ш.} = P_1 \cdot P_{13} \cdot P_{37} \cdot P_{712} = 1 \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,03 = 6 \cdot 10^{-4}.$$

Вероятность возникновения факельного горения:

$$P_{\text{фак}} = P_1 \cdot P_{12} \cdot P_{25} = 1 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 0,32.$$

Вероятность возникновения пожара пролива:

$$P_{\text{п.п.}} = P_1 \cdot P_{13} \cdot P_{37} \cdot P_{713} = 1 \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,03 = 6 \cdot 10^{-4}.$$

Вероятность возникновения взрыва:

$$P_{\text{взрыв}} = P_9 + P_{11} = P_1 \cdot P_{12} \cdot P_{24} \cdot P_{49} + P_1 \cdot P_{13} \cdot P_{37} \cdot P_{711} = 1 \cdot 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,03 = 6,4 \cdot 10^{-2} + 6 \cdot 10^{-4} = 6,46 \cdot 10^{-2}.$$

Таким образом, наиболее вероятным сценарием развития аварии является факельное горение при длительном истечении продукта, но, учитывая статистику аварий, связанных с разрушением резервуаров, наибольшие разрушающие последствия имеют залповые выбросы больших объемов продукта (мгновенная разгерметизация) с последующим взрывом, поэтому рассматриваются именно эти сценарии.

Учитывая все свойства обращающихся веществ и особенности технологического режима, рассматривая причины возникновения аварийных ситуаций, было составлено дерево отказов развития аварийных ситуаций, которое представлено на рис. 5.

Аварийные ситуации на рассматриваемом объекте возникают вследствие разрушения колонн, емкостного оборудования, трубопроводов, поэтому именно эти варианты аварий и выбираются в качестве типовых сценариев.

Причины аварийных ситуаций:

1) Прекращение подачи электроэнергии:

– приведет к резкому увеличению температуры теплоносителя в змеевиках печи;

– приведет к резкому увеличению температуры теплоносителя в змеевиках печи.

2) Прекращение подачи воздуха КИП и А:

– приводит к отказу в работе регуляторов уровней, давлений и температуры, отказ в работе КИП и А приведет к переполнению колонн и емкостей.

3) Прекращение подачи воды оборотного водоснабжения:

– приведет к повышению давления в колоннах и емкостях.

4) Выход из строя насосов:

– приведет к переполнению емкостей орошения и подъему давления в аппаратах.

Анализ деревьев отказов с учетом природно-климатических характеристик района показал, что наиболее опасным вариантом развития аварии будет

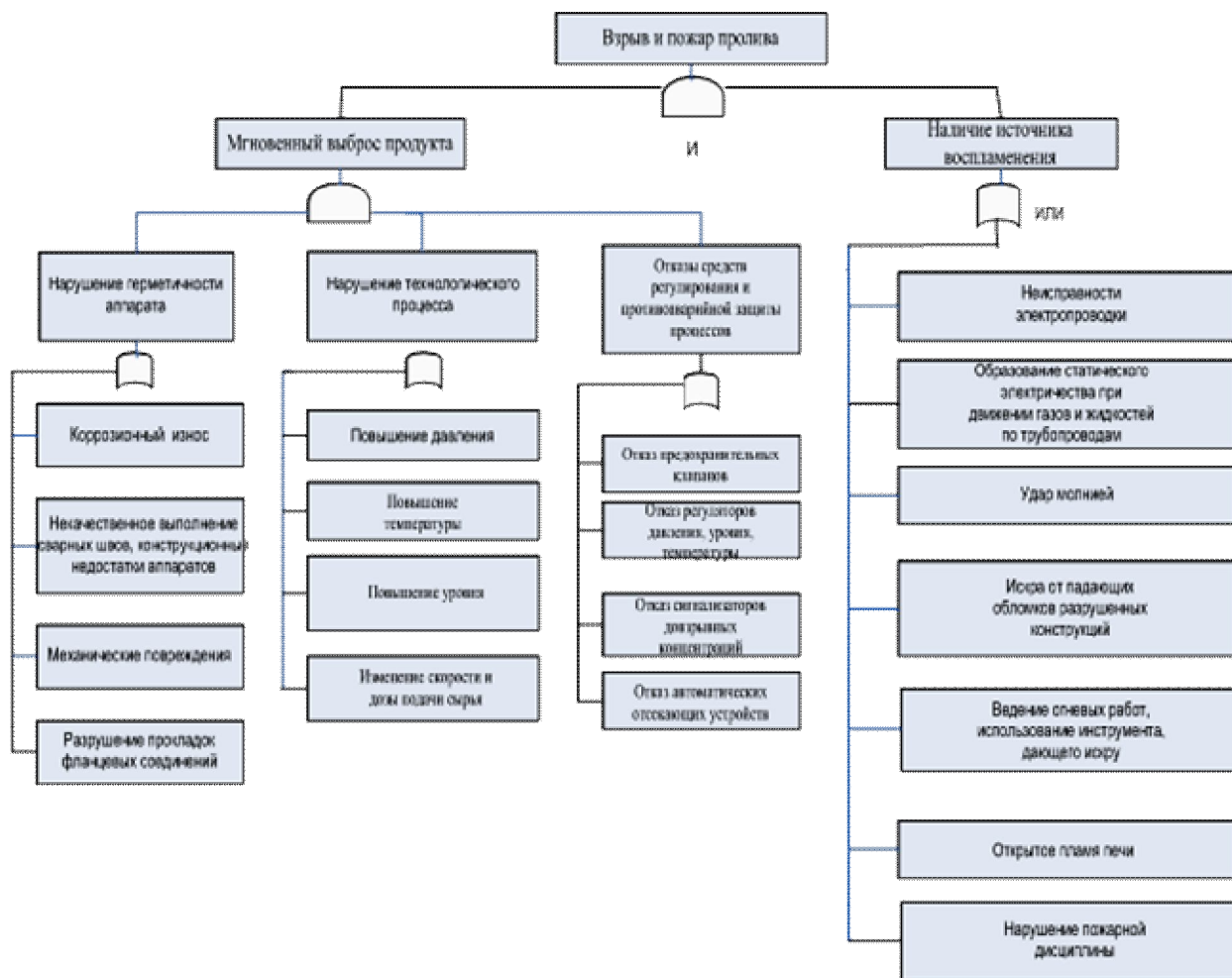


Рис. 5. Сценарий развития техногенной аварии методом построения дерева отказов

полная разгерметизация емкости орошения с пропаном объемом 16 м^3 на открытой площадке. Участок переработки газа относится к взрывопожароопасным производствам категории «А». Во взрыве примет участие 2304 кг пропана, а в пожаре пролива 3456 кг. Сценарии техногенной аварии на газофракционирующей установке предполагают возникновение взрыва и пожара пролива пропана. Основными поражающими факторами при данном сценарии аварии будут тепловое излучение пожара пролива и избыточное давление ударной волны при взрыве. Методика расчета критериев пожарной опасности (параметров волны давления и импульса волны давления) при сгорании взрывоопасной смеси определена в соответствии [9]. Избыточное давление Δp , кПа, развиваемое при сгорании газопаровоздушных смесей, рассчитывали по формуле

$$\Delta p = p_0 (0,8 m_{np}^{0,33} / r + 3 m_{np}^{0,66} / r^2 + 5 m_{np} / r^3),$$

где p_0 – атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

r – расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака, м;
 m_{np} – приведенная масса газа или пара, кг, рассчитанная по формуле:

$$m_{np} = (Q_{cz} / Q_0) m_{z,n} \cdot Z,$$

где Q_{cz} – удельная теплота сгорания газа или пара, Дж/кг;

Z – коэффициент участия, который допускается принимать равным 0,1;

Q_0 – константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг;

$m_{z,n}$ – масса горючих газов и (или) паров, кг.

Импульс волны давления i , Па·с, рассчитывают по формуле

$$i = 123 m_{np}^{0,66} / r.$$

Удельная теплота сгорания пропана $4,6 \cdot 10^7$ Дж/кг.

Приведенная масса m_{np} :

$$m_{np} = (Q_{cz} / Q_0) m_{z,n} \cdot Z = (4,6 \cdot 10^7 / 4,52 \cdot 10^6) \cdot 2304 \cdot 0,1 = 2344 \text{ кг}.$$

Избыточное давление Δp на расстоянии 30 м:

$$\Delta p = 101 \cdot [0,8 \cdot 2344^{0,33} / 30 + 3 \cdot 2344^{0,66} / 30^2 + 5 \cdot 2344 / 30^3] = 135 \text{ кПа}.$$

Импульс волны давления i :

$$i = 123 \cdot (2344)^{0,66} / 30 = 687 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Далее в работе оценены последствия взрыва и пожара пролива пропана на газофракционирующей установке ГФУ-1 [11]. Расчет показал, что общее количество пострадавших – 108 человек, 42 – смертельный исход, легкая или средняя степень тяжести – 66 человек, 17 из них находятся в завалах, площадь пожара пролива $S = 692 \text{ м}^2$.

В процессе выполнения работы установлено:

1. Газофракционирующая установка относится к категории повышенной взрывопожароопасности АН. В результате проведенных расчетов величина индивидуального риска – $8,77 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ [10], что превышает риск 10^{-6} , установленный ГОСТ Р 12.3.047-98 [9], поэтому необходимо внедрение современных технических решений, обеспечивающих снижение величины риска.

2. Социальный риск не превышает нормативное значение 10^{-7} , пожарная безопасность выполнена, но требуется принятие всех возможных мер по снижению риска возникновения взрыва.

3. Основными причинами взрывов и пожаров на установке газофракционирования являются: выход параметров технологического

процесса за критические значения; отказ в работе приборов контроля; нарушение герметичности оборудования.

Список литературы: 1. <http://www.cafcointl.com>. 2. <http://www.lafgroup.com>. 3. Декларация промышленной безопасности Оренбургского газоперерабатывающего завода ОАО «ОГХК». – Оренбург, 2002. 4. Балыбердина И.Т. Физические методы переработки и использования газа. – М., Недра, 1988. – 123 с. 5. Бард В.А., Кузин А.В. Предупреждение аварий в нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах. – М.: Химия, 1989. – 356 с. 6. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 672 с. 7. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования. 8. ПБ 09-170-97. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. 9. ГОСТ 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. 10. РД 03 – 418 – 01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. 11. Методика оценки последствий аварий на пожаро-, взрывоопасных объектах. – М.: ВНИИГОЧС, 1994 г.

УДК 622.458

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЗРЫВАХ НА КАРЬЕРЕ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Звягинцева А.В.¹, Уколов Д.А.²

ВГТУ, г. Воронеж. Россия

Тел. ¹ +7 (950) 7501062, ² +7 (951) 5598037;

E-mail: ¹zvygincevaav@mail.ru, ²denzel883@mail.ru

Abstract: *The problems of pollution dust and gas emissions in the explosions at the quarry mining and processing enterprise JSC «Mikhailovsky» pool MRA. The analysis of the processes of dust explosions on the career of Mikhailovsky GOK and techniques quantify the impact of emissions on the environment . Calculated fugitive dust and harmful gases into the atmosphere during blasting operations at the quarry.*

Keywords: *dust and gas emissions, explosions, quarry, atmosphere, pollution, qualitative and quantitative assessment*

ОАО «Михайловский ГОК» – одно из трех действующих горнорудных предприятий бассейна КМА. Профилем работ комбината является добыча и переработка богатых руд (производство аглоруды и доменной руды), добыча

неокисленных железистых кварцитов и их обогащение, окускование концентрата и окатышей.

Исследования в зонах влияния горно-обогатительных предприятий КМА, в частности Михайловского ГОКа показали, что открытый способ разработки достиг уровня развития, что стал оказывать очень серьезное негативное воздействие на окружающую среду, вызывая ландшафтные изменения, способствуя загрязнению прилегающих территорий, воздушного и водного бассейнов. В процессе разработки месторождения полезного ископаемого в атмосферу карьера от ряда источников выделяются пыль и ядовитые газы. Интенсивность их выделения зависит от свойств и состояния горной породы, погодных условий, техники и технологии разработки, эффективности применения способов подавления пыли и вредных газов. В этой связи запыленность и загазованность воздуха на рабочих местах может изменяться в широких пределах [1–3].

Образующаяся и летающая в атмосфере карьера пыль различается по минералогическому, химическому и дисперсному составам.

Минералогический и химический состав, образующийся в карьере пыли близок к минералогическому составу разрабатываемой породы, особенно непосредственно около источника пылеобразования. Кроме того, на химический состав оказывает влияние производственные процессы, связанные с выделением вредных газов. При этом наблюдается адсорбция вредных газов и паров на поверхности пыли. Так, пыль, образовавшаяся при массовом взрыве, содержит следы оксида углерода, до 0,475 мг/г акролеина и до 0,219 мг/г оксидов азота. Опасность представляет заболевание горнорабочих силикозом, которое связано с вдыханием пыли, содержащей свободный диоксид кремния (SiO_2). Содержание свободного диоксида кремния на уступах Михайловского карьера достигает до 50 %. Цель работы анализ процессов пылеобразования при взрывах и расчет неорганизованных выбросов пыли и вредных газов в атмосферу при взрывных работах на карьере горно-обогатительного комбината ОАО «Михайловский».

Дисперсный состав пыли зависит от ряда природных и технологических факторов. Например, при шарошечном бурении скважин дисперсный состав пыли зависит от физико-механических свойств буримой породы, типа шарошечного долота, скорости его вращения, усилия подачи, количество подаваемого в скважину сжатого воздуха, глубины скважин, способа борьбы с пылью. С удалением от источника пылеобразования дисперсный состав пыли в факеле выброса изменяется за счет выпадения более крупных фракций пыли. Так, содержание фракций менее 1,4 мкм на расстоянии 40 м от взорванного блока составляет 63 %, а на расстоянии 600 м – 80 %. Дисперсный состав пыли, полученный счетным методом; на различных расстояниях от взрывающегося блока при средней скорости ветра (4 м/с) приведен в табл. 1.

Воздух в карьере можно рассматривать как обычный атмосферный, в котором кроме азота (78,08 %), кислорода (20,95 %), аргона (0,93 %),

Дисперсный состав пыли на различных расстояниях от взрываемого блока

Расстояние от взрываемого блока	Дисперсный состав пыли (%) при фракциях, мкм				
	до 1,4	1,4–4	4–15	15–50	более 50
40	63,09	25,46	9,03	1,12	1,30
60	68,89	23,13	6,76	0,92	0,40
90	65,74	22,69	9,89	1,66	0,02
120	72,21	21,30	6,67	1,24	0,025
200	74,31	17,52	7,33	0,80	0,04
300	75,11	19,50	4,80	0,57	0,02
600	79,87	15,76	3,70	0,51	0,16

углекислого газа (0,03 %), водяных паров и тонкодисперсной пыли содержатся такие ядовитые газы и пары, как оксиды азота, оксид углерода, сероводород, сернистый газ и альдегиды. Состав представлен на рис. 1. В некоторых случаях, особенно при оценке газообразных продуктов взрыва, используется понятие «условный оксид углерода», это собственно СО, образующиеся при взрыве ВВ, и диоксид азота, пересчитанный на СО (принимается 1 л NO₂ равным 6,5 л СО). Сероводород H₂S в карьере выделяется из горной породы. Источниками выделения сернистого газа SO₂ в карьере являются пожары и взрывы в породах с высоким содержанием серы. Источниками выделения альдегидов, в частности формальдегида CH₂O являются двигатели внутреннего сгорания и термическое бурение.

В соответствии с «Едиными правилами безопасности при разработке полезных ископаемых открытым способом» (ЕПБ) содержание вредных газов в рабочей зоне карьера не должно превышать величин, приведенных в табл. 2.

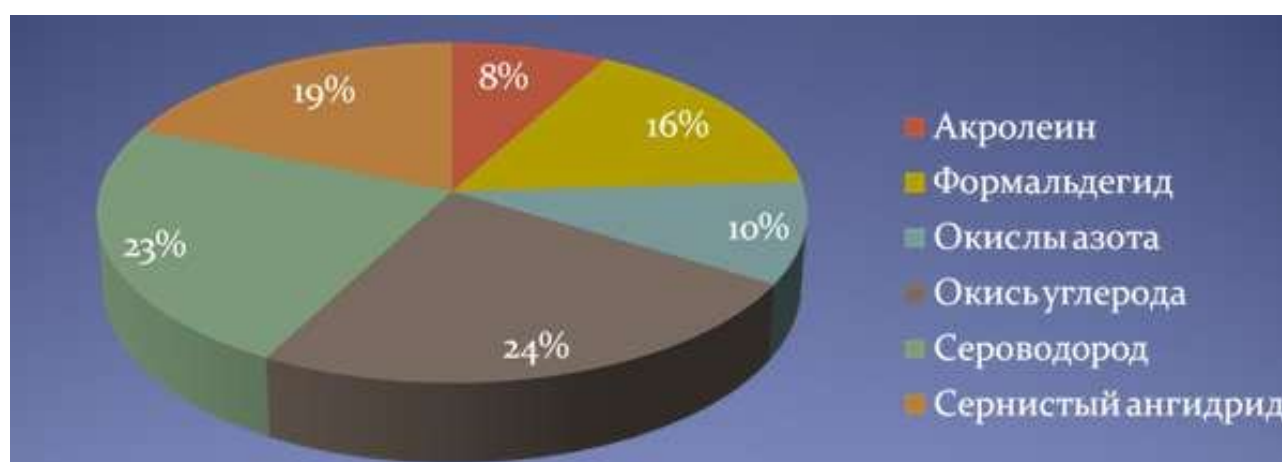


Рис. 1. Процентный состав загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны карьера

Предельно допустимые концентрации для загрязняющих веществ
в воздухе рабочей зоны

Газ	Предельно допустимая концентрация	
	мг/м ³	% по объему
Акролеин	2	0,00008
Формальдегид	5	0,00016
Оксиды азота (в пересчете на N ₂ O ₅)	5	0,0001
Оксид углерода	30	0,0024
Сероводород	10	0,00066
Сернистый ангидрид	10	0,00035
Углекислый газ	-	0,5

Исходные данные для расчета выбросов загрязняющих веществ от взрывных работ:

1. Тип взрывааемых пород: богатая руда, неокисленные кварциты, окисленные кварциты, девонские отложения.
2. Максимальный расход ВВ на взрыв – 1200 тонн; годовой расход ВВ – 30000 тонн; длительность взрыва – 180 сек.
3. Тип ВВ: гранулотол, граммонит 79/21.
4. Крепость взрывааемых пород: 12–18 по шкале Протоdjeяконова.
5. Объем взрывааемых пород, м³: в среднем на взрыв 350 м³
6. Глубина скважин, м: 7–21 п.м. Средний удельный расход ВВ: 1,2 кг/м³.

Для расчета в качестве взрывчатого вещества используется гранэмит И-50.

Большой расход взрывчатых веществ на один взрыв не дает возможности провести расчет выбросов и расчет рассеивания загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу в момент взрыва. Поэтому для удобства расчетов принято взять расход ВВ на один взрыв в количестве 30 тонн, т.е. пылегазовое облако условно разбивается на 40 аналогичных источников, применяемые параметры для расчета сведены в табл. 3.

Расчет основных параметров пылегазового облака производится на момент его максимального развития при сохранении достаточно четких очертаний в соответствии с методиками [2, 3].

1. Объем пылегазового облака (V_0) рассчитывается по формуле (1):

$$V_0 = 44000 \cdot A^{1,08}, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где A – количество взорванного взрывчатого вещества, $A = 30$ т.

$$V_0 = 44000 \cdot 30^{1,08} = 1732781,1 \text{ м}^3. \quad (2)$$

Сводная таблица расчетов

Диаметр скважин	0,25м
Удельный расход ВВ (q)	1,1 кг/м ³
Безопасно допустимое значение СПП (W)	9 м
Расчетное значение СПП (W_p)	7 м
Значение предельно преодолеваемого СПП ($W_{пред}$)	7,4м
Расстояние между зарядами в ряду (a)	9 м
Расстояние между рядами скважин (b)	10 м
Величина перебура ($l_{пер}$)	3 м
Длина скважины (l)	18м
Величина забойки скважины ($l_{заб}$)	6 м
Длина заряда ($l_{зар}$)	12м
Объем породы, взрываваемой одной скважиной ($V_{скв}$)	1350 м ³
Величина заряда в скважине (Q)	1485 кг

2. Высота подъема пылегазового облака (H_0) определяется по формуле (3):

$$H_0 = b(164 + 0,258A), \text{ м}, \quad (3)$$

где $b = 0,8$ – безразмерный коэффициент, учитывающий глубину скважин:

$$H_0 = 0,8(164 + 0,258 \cdot 1200) = 378,9 \text{ м}. \quad (4)$$

3. Температура газов в облаке (T_0) рассчитывается по формуле:

$$T_0 = T_B + T, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

где T_B – температура окружающего воздуха, $^\circ\text{C}$; $T=4,8$ $^\circ\text{C}$ – перегрев пылегазового облака относительно окружающего воздуха

$$T_0 = 22,9 + 4,8 = 27,7 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (6)$$

Определение концентрации вредных веществ в облаке проведено в соответствии с методиками [2, 3].

1. Концентрация вредного вещества в пылегазовом облаке (C) определяется по формуле (7):

$$C = \frac{10^9 \cdot q \cdot A}{V_0} \cdot \left(1 - \frac{r}{100}\right), \text{ мг/м}^3, \quad (7)$$

где q – удельное выделение вредного вещества при взрыве 1 т ВВ, т/т; при использовании гранулолола и граммонита справочное значение этой величины для случая выделения пыли составляет $q=0,148$. Для газов значения иные: при использовании гранулолола – $q=0,044$ (по фактору CO), $q=0,0015$ (по фактору NO_x); при использовании граммонита – $q=0,025$ (по фактору CO), $q=0,0026$ (по фактору NO_x); r – эффективность применяемых при взрыве средств пылегазоподавления, %; $r=0$;

$$C_{B3B.B-BA} = \frac{10^9 \cdot 0,148 \cdot 30}{1732781,1} = 2562,4 \text{ мг/м}^3; \quad (8)$$

при использовании гранулолола (по фактору CO), формула (9):

$$C_{CO} = \frac{10^9 \cdot 0,044 \cdot 30}{1732781,1} = 761,78 \text{ мг/м}^3; \quad (9)$$

при использовании граммонита (по фактору CO), формула (10):

$$C_{CO} = \frac{10^9 \cdot 0,025 \cdot 30}{1732781,1} = 432,83 \text{ мг/м}^3; \quad (10)$$

при использовании гранулолола (по фактору NO_x), формула (11):

$$C_{NO_x} = \frac{10^9 \cdot 0,0015 \cdot 30}{1732781,1} = 25,97 \text{ мг/м}^3; \quad (11)$$

при использовании граммонита (по фактору NO_x), формула (12):

$$C_{NO_x} = \frac{10^9 \cdot 0,0026 \cdot 30}{1732781,1} = 45 \text{ мг/м}^3. \quad (12)$$

Учитывая, что взрыв длится 3 мин (180 с), объем газовойоздушной смеси будет равен, по формуле (13):

$$1732781,1 \text{ м}^3 / 180 \text{ с} = 9626,56 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (13)$$

Следовательно, максимально разовые выбросы загрязняющих веществ от пылегазового облака с учетом осреднения будут равны, по формулам (14), (15), (16):

$$G_{B3B.B-BA} = 2562,4 \cdot 9626,56 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3 \cdot 60}{30 \cdot 60} = 2466,71 \text{ г/с}; \quad (14)$$

$$G_{CO} = (761,78 \cdot 0,4 + 432,83 \cdot 0,6) \cdot 9626,56 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3 \cdot 60}{30 \cdot 60} = 543 \text{ г/с}; \quad (15)$$

$$G_{NO_X} = (25,97 \cdot 0,4 + 45 \cdot 0,6) \cdot 9626,56 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3 \cdot 60}{30 \cdot 60} = 36 \text{ г/с}. \quad (16)$$

Коэффициенты 0,4 и 0,6 учитывают относительные объемы применения гранулолита и граммонита на предприятии.

Таким образом, суммарные максимально разовые выбросы от пылегазового облака составят: взвешенные вещества – 98668,4 г/с, оксид углерода – 21720 г/с, диоксид азота – 1440 г/с.

1. Годовой выброс пыли в атмосферу при взрывных работах определяется по формуле (17):

$$M_{B3B.B-BA} = V_0 \cdot C_{B3B.B-BA} = 3,011 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 2562,4 \cdot 10^{-9} \text{ т/м}^3 = 7715,4 \text{ т/год}. \quad (17)$$

2. Годовой выброс газообразных вредных веществ на карьере составит:

$$M_{CO} = 3,011 \cdot 10^9 \cdot (761,78 \cdot 0,4 + 432,83 \cdot 0,6) \cdot 10^{-9} = 1699,4 \text{ т/год}; \quad (18)$$

$$M_{NO_X} = 3,011 \cdot 10^9 \cdot (25,97 \cdot 0,4 + 45 \cdot 0,6) \cdot 10^{-9} = 112,58 \text{ т/год}. \quad (19)$$

Выброс пыли в пылегазовом облаке составляет 100 % от взрыва, а выброс газообразных веществ составляет в облаке 70 % от взрыва и в горной массе 30 % от взрыва.

Таким образом, валовые выбросы от пылегазового облака составят:

$$M_{B3B.B-BA} = 7715,4 \text{ т/год}; \quad (20)$$

$$M_{CO} = 1699,4 \cdot 0,7 = 1189,58 \text{ т/год}; \quad (21)$$

$$M_{NO_X} = 112,58 \cdot 0,7 = 78,01 \text{ т/год}. \quad (22)$$

Валовые выбросы от горной массы:

$$M_{CO} = 1699,4 \cdot 0,3 = 509,82 \text{ т/год}; \quad (23)$$

$$M_{NO_X} = 112,58 \cdot 0,3 = 33,77 \text{ т/год}. \quad (24)$$

Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Из таблицы видно, что при взрыве концентрации оксида углерода и оксидов азота в атмосфере карьера и близлежащей жилой зоне (без учета фоновое загрязнение) на момент проведения взрывных работ превышает предельно допустимые концентрации соответственно в 19 и 7,5 раза. Основным вредным фактором воздействия массовых взрывов на окружающую среду

Выбросы загрязняющих веществ при массовых взрывах

Загрязняющее вещество	Концентрация в пылегазовом облаке, мг/м ³	Предельно допустимые концентрации, мг/м ³	Годовой выброс вредных веществ, т/год
Взвешенные вещества	2562,4	0,15–0,5	7715
Углерода оксид	564,41	30	1699,4
Азота диоксид	37,4	5	112,58

является пылевое загрязнение. Выбросы пыли от взрыва при использовании максимального расхода ВВ в атмосферу карьера превышают предельно допустимые концентрации в 5125 раз, что создает критическую ситуацию по загрязнению атмосферного воздуха рабочей зоны. Поэтому на МГОКе необходимо внедрение новых, более эффективных методов для подавления выбросов пыли при массовых взрывах, так как применяющиеся в настоящее время методы недостаточно эффективны [4, 5].

Выводы:

1. Исследованы источники образования пыли и ядовитых газов в атмосфере карьера.
2. Дана качественная и количественная оценка компонентов пылегазовых выбросов при выполнении массовых взрывов.
3. Произведенный расчет концентраций вредных веществ на момент проведения взрывных работ позволяет сделать вывод, что концентрации оксида углерода, оксидов азота и пыли в атмосфере карьера многократно превышают ПДК. Это создает критическую ситуацию по загрязнению атмосферного воздуха рабочей зоны. Для решения этой проблемы предложен ряд мероприятий и выбран наиболее эффективный метод борьбы с вредными выбросами с использованием поверхностно-активного вещества в качестве забойки взрывных скважин.

Список литературы: 1. Бересневич П.В., Лобода А.И. Способы и средства борьбы с вредными газами в железорудных карьерах // Черная металлургия: Бюл. НТИ. – 1991. – № 3. – С. 4–13. 2. Михайлов А.И. Охрана окружающей среды на карьерах. – Киев: Высшая школа, 1990, с. 186. 3. Бересневич П.В., Наливайко В.Г. Снижение выбросов пыли и вредных газов в атмосферу карьеров и окружающую среду при массовых взрывах. – Черметинформация, сер. Горнорудное производство. 1989, вып. 4, с. 24. 4. Борьба с запыленностью и загазованностью карьеров / Филатов С.С., Конорев М.М., Подвысоцкий и др. // Безопасность труда в промышленности. – 1989. – № 9. – С. 46–49. 5. Бондаренко Н.М., Перегудов В.В., Киковка Е.И. и др.

Методы снижения выбросов пыли и газов при массовых взрывах в карьерах и шахтах. – Горный журнал, 1992, № 10/ – С. 46–49.

УДК 547.912.004.4:331.461.003.12

АНАЛИЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПОЖАРОВ В НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ И ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ

Звягинцева А.В., Шатских Е.О.

ВГТУ, г. Воронеж, Россия

Тел. ¹ +7 (951) 8675039, ² +7 (950) 7501062, E-mail: ²zvygincevaav@mail.ru

Abstract: *This article assessed the situation on fire, need to take account of weather conditions, the availability and amount of forces and means of suppression, as well as opportunities available fire fighting equipment and the time of its concentration, as well as the need to call additional capabilities.*

Keywords: *multiple fuel to oil storage tank, fire, fire safety, economic efficiency, fire fighting equipment.*

Пожарная безопасность является необходимым условием для успешного решения важнейших социально-экономических проблем общества и государства. Все объекты хранения нефти и нефтепродуктов являются пожаровзрывоопасными, поэтому ЧС на нефтебазе приводит к существенным материальным потерям, и наносят вред окружающей среде, подвергая опасности здоровье и жизнь человека.

Пожары на нефтебазах характеризуются большой скоростью распространения огня, высоким теплоизлучением пламени. В связи с этим, предприятия должны иметь надежные технические средства защиты от пожаров. Современный подход к организации тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках должен быть основан на проработке возможных вариантов развития пожара и на выборе приоритета в действиях пожарной охраны. Развитие пожара при хранении больших масс нефти и нефтепродуктов можно подразделить на следующие уровни:

1 первый (А) – возникновение и развитие пожара в пределах одного резервуара без влияния на смежные. Статистика показывает, что с таким сценарием было зарегистрировано около 78 % пожаров в резервуарных парках;

2 второй (Б) – распространение пожара с одного резервуара на резервуарную группу (15 % от всего числа пожаров);

3 третий (В) – развитие пожара с возможным разрушением смежных резервуаров, зданий и сооружений на территории предприятия и близлежащих районов. Такой вариант пожара наблюдается в 14 случаях (около 7 %). Несмотря на то, что процент этих пожаров незначителен, для их тушения

привлекалось большое количество сил и средств, а продолжительность тушения составляла сутки и более.

Статистика пожаров на нефтебазах в Российской Федерации в соответствии с рис. 1–3.

Все эти пожары тушили с помощью передвижной техники, хотя многие резервуары были оборудованы стационарными системами пожаротушения. Для их ликвидации применялись силы и средства по повышенным номерам вызова. Объяснялось это целым рядом причин:

- отсутствием на предприятиях необходимого запаса пенообразователя;
- отсутствием специальной техники;
- неправильным планированием оперативно-тактических действий;
- неправильными действиями персонала предприятия в начальный период пожара;
- неправильные действия личного состава дежурных караулов подразделений пожарной охраны.

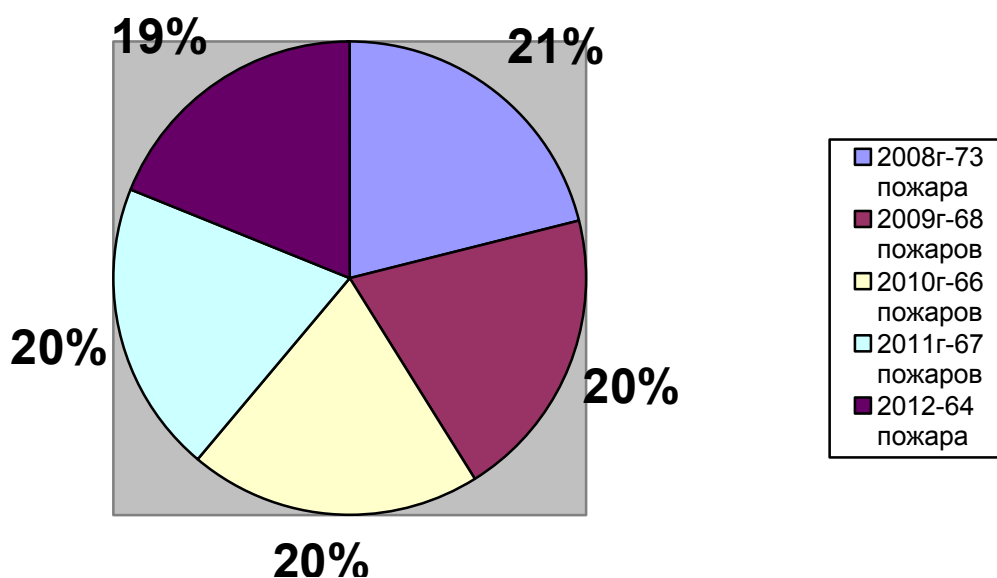


Рис. 1. Количество пожаров

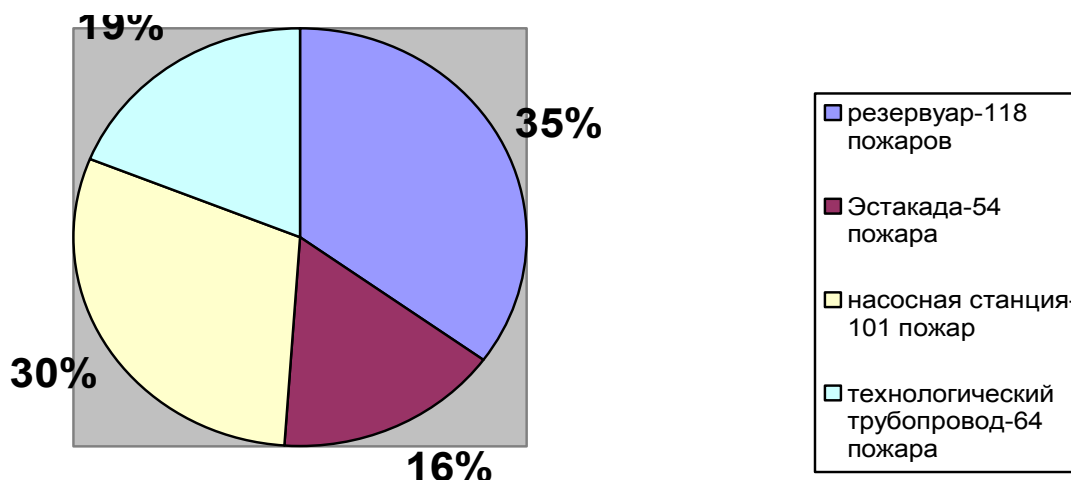


Рис. 2. Места возникновения пожара

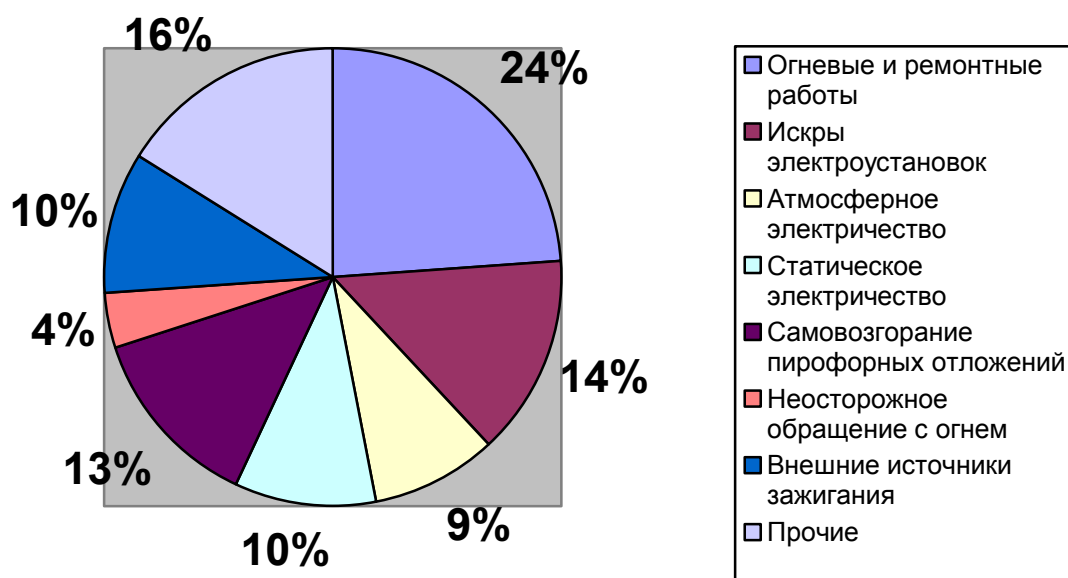


Рис. 3. Причины возникновения пожара

Вместе с тем установлено, что наиболее интенсивно пожарные подразделения работают в зимний период, хотя наибольшее количество пожаров в резервуарных парках произошло в летнее время.

Таблица 1

Средняя продолжительность тушения пожаров

№ п/п	Время года	Средняя продолжительность тушения пожара, ч
1	весна	6,69
2	лето	5,43
3	осень	6,56
4	зима	8,46
5	зима (при T_e ниже -25°C)	10,10

Успешное тушение пожаров в резервуарах и резервуарных парках, ликвидация связанных с ними аварий в решающей степени зависят от согласованности действий органов управления (подразделений) гарнизонов пожарной охраны и инженерно-технических служб объектов по тушению пожаров на объектах хранения нефтепродуктов. Пример такого объекта – резервуарный парк «ОАО Северная нефтебаза» (рис. 4), о котором пойдет речь, является одним из наиболее пожароопасных объектов, в гарнизоне пожарной охраны г. Липецка.

Основными местами возникновения пожаров явились, пожары в резервуарах и насосных станциях; основными причинами пожаров явились как огневые и ремонтные работы, так и искры электроустановок.

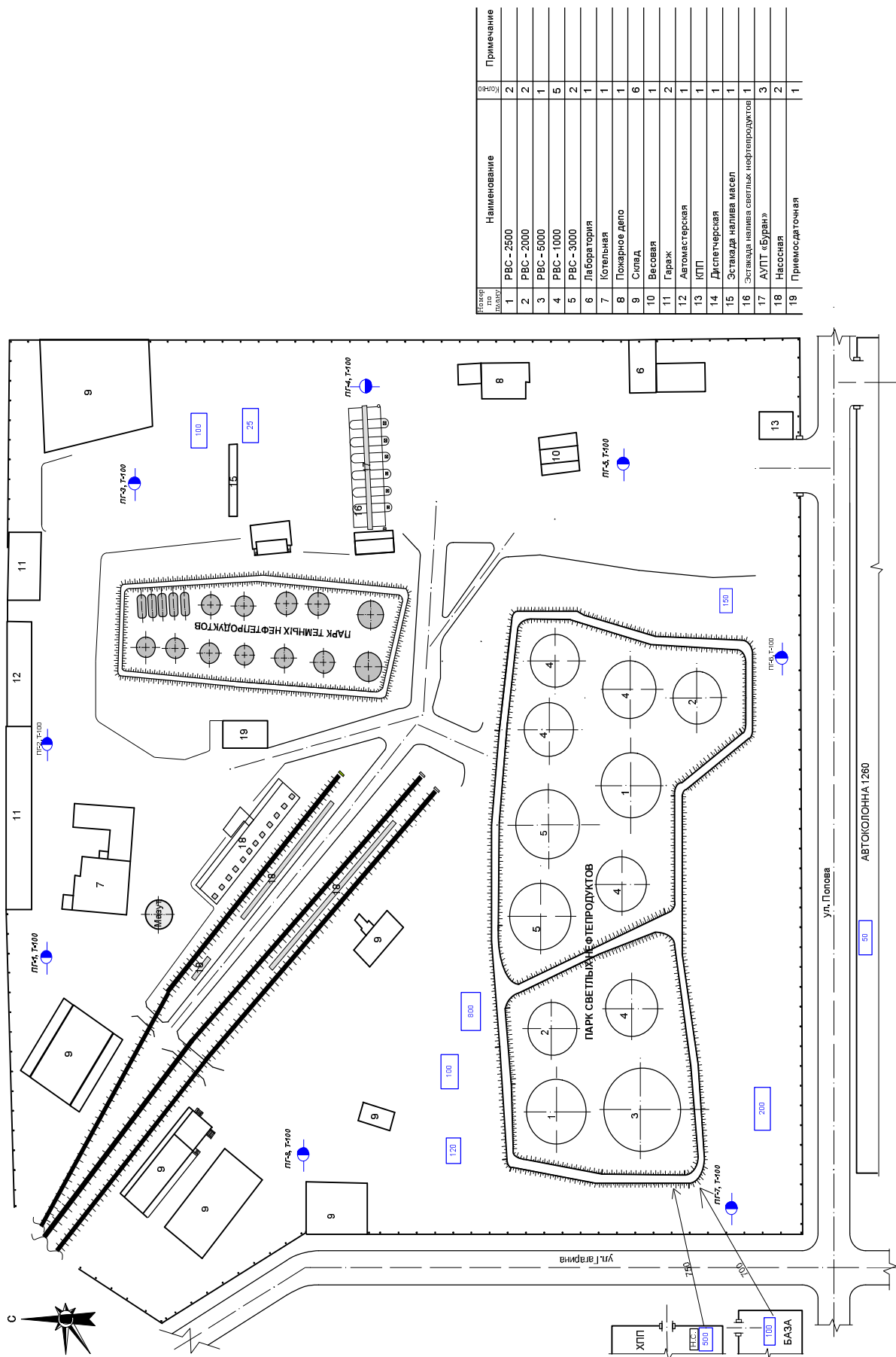


Рис. 4. Генеральный план нефтебазы ОАО «Северная» нефтебаза

Функциональное назначение цеха – прием, хранение и отпуск нефтепродуктов. В состав цеха входят: производственные участки, железнодорожная сливо-наливная эстакада, насосная светлых и темных нефтепродуктов, резервуарный парк светлых и темных нефтепродуктов, автоналивная эстакада, административное здание, здание операторской, складские и бытовые помещения. Площадь территории составляет 94308 м². Наиболее опасными производственными участками на нефтебазе являются:

- железнодорожная сливо-наливная эстакада;
- резервуарный парк светлых нефтепродуктов;
- насосная станция по перекачке светлых нефтепродуктов;
- площадка автоматизированного налива нефтепродуктов в бензовозы.

Первый вариант тушения пожара, тушения пожара наиболее пожароопасного резервуара РВС-5000, который представляет собой металлическую емкость, состоящую из пластин, сваренных между собой. В данном случае по тревоге выезжают силы и средства г. Липецка, в количестве 11 отделений по 3-ему номеру выезда. При пожаре у нас организуется 2 БУ. Задача БУ-1 – охлаждение горящего и соседних с ним резервуаров, которыми будут являться РВС-2500, РВС-1000, резервуар РВС-2000 соседним являться не будет, согласно СНиП 2.11.03-93 «Склады нефти и нефтепродуктов» и Руководству по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. Задача БУ-2 – подготовка и проведение пенной атаки на горящий резервуар. Для тушения данного резервуара нам необходимо 6 ГПС-600, которые подаются при помощи коленчатого подъемника (4 ГПС-600) и автолестницы (2 ГПС-600). На нефтебазе имеется необходимый запас пенообразователя (5832 л) ПО-6К в количестве 8 тонн, который подается при помощи приспособленной техники.

Второй вариант тушения пожара – тушение пожара группы резервуаров (рис. 6). Сложность её тушения заключается в том, при тушении необходимо большое количество сил и средств. Так как сил и средств Липецкого гарнизона не достаточно, к тушению пожара привлекается опорный пункт г. Ельца. В данном случае организуется 5 БУ. В связи с тем, что сил и средств для пенной атаки достаточно, производим тушение сразу по 2 резервуарам (РВС-5000, РВС-1000) на РВС-5000 подаем 4 ГПС-600 по АКП и 2 ГПС-600 по АЛ, на РВС-1000 2 ГПС-600 по АЛ, при этом происходит полное охлаждение всех резервуаров при помощи ПЛС-20. На втором этапе тушения, после тушения РВС-5000, 1000 их охлаждение продолжается, производится передислокация АКП для подачи стволов на тушение РВС-2500, но с учетом направления ветра подача стволов на тушение РВС-2000 при помощи передвижной техники не представляется возможной. Поэтому мы используем УКТП «Пурга», которой мы можем установить непосредственно в обвалование, расход которой достаточен для тушения данного резервуара. Для тушения данного пожара привлекается 13 отделений, используются все пожарные водоемы нефтебазы, а также будет использоваться пожарный водоем, который расположен на



Рис. 5. Тушения пожара пожароопасного резервуара РВС-5000

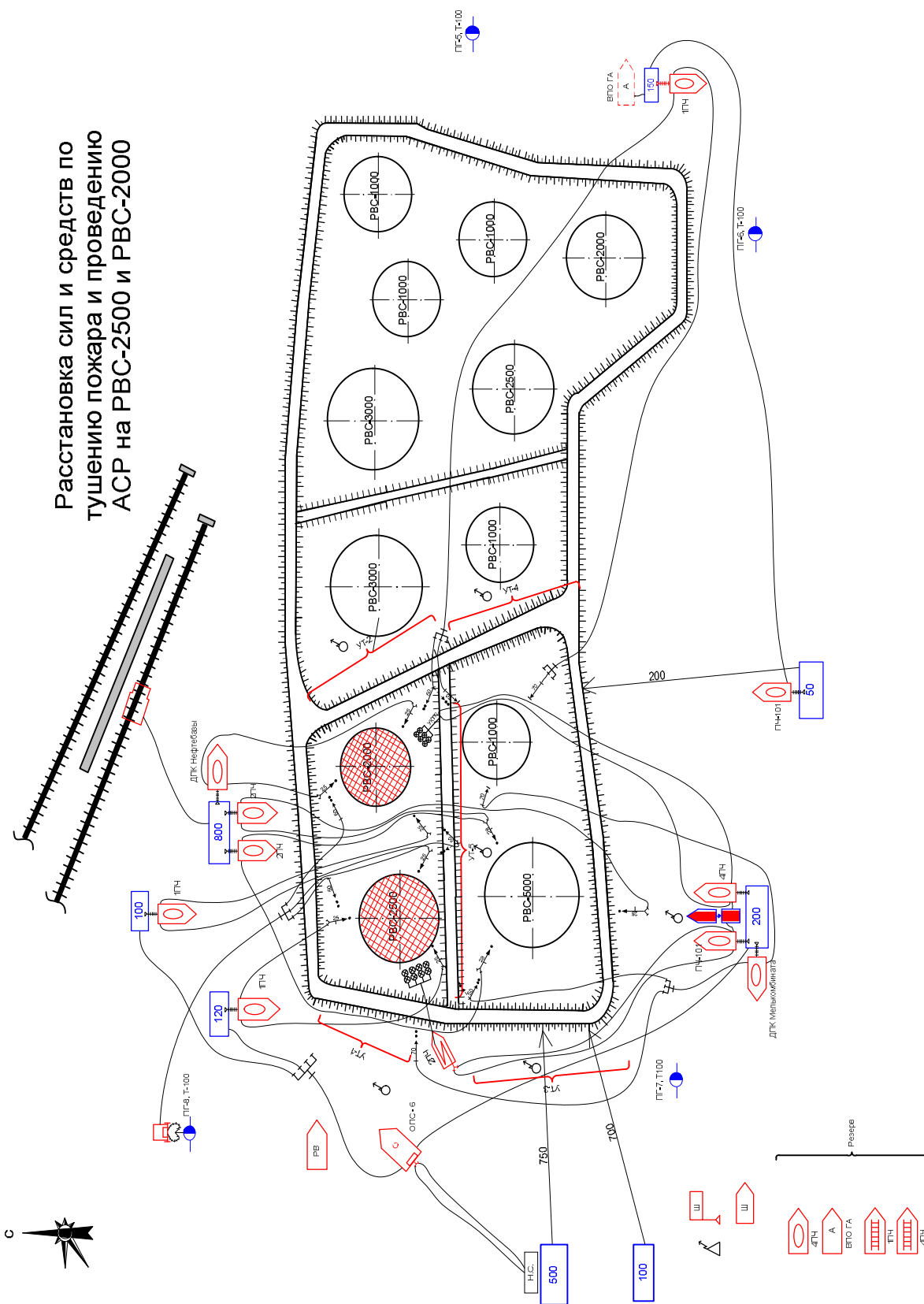


Рис. 6. Тушение пожара группы резервуаров

расстоянии 750 м с возможностью пополнения от городской водопроводной сети, на который установлена стационарная насосная станция с подачей воды 110 л/с.

На основании вышеизложенного предлагается:

- администрации нефтебазы закольцевать тупиковый трубопровод, диаметром 100 мм для требуемой водоотдачи 58 л/с;
- администрации нефтебазы увеличить объем пожарных водоемов № 1, № 2, № 4, №5 до 200, 200, 300, 250 м³ соответственно;
- пожарному гарнизону г. Липецка приобрести установки комбинированного тушения пожаров «Пурга» 10.20.30.;
- администрации объекта предложить смонтировать оборудование для подлодного тушения, резервуары большой ёмкости РВС-3000 – РВС-5000;
- в связи с тем, что в гарнизоне г. Липецка большинство пожарных машин оборудовано стационарными лафетными стволами, предложить администрации нефтебазы укомплектовать пожарную часть ДПК 6 ПЛС-20 с насадками диаметром 25 и 28 мм.

Список литературы: 1. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». – М.: Юридическая литература, 1999. – С. 3–6. 2. ГОСТ 12.1.007-76* ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2003. – С. 36. 3. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01). – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2003. – С. 23.

УДК 621.9: 658.5

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ СРЕД

Ивченко Т.Г.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

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

Abstract: *With the use of the geometrical programming method the optimization of the cutting regimes on the minimum prime price criterion taking into account the action of temperature limitations is carried out. Analytical dependences of optimum cutting feed and speed from the parameters of turning process are set. The analysis of possibilities of prime price decline is executed due to the removal of temperature limitations.*

Key words: *optimization, prime price, turning, limitations, temperature.*

Снижение себестоимости механической обработки за счет выбора рациональных условий ее выполнения – важнейшая задача технологии машиностроения, в связи с чем, исследования, представленные в настоящей работе, весьма актуальны.

Одним из резервов интенсификации процесса резания и снижения себестоимости является использование смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС). В настоящее время достаточно хорошо исследованы возможности повышения производительности обработки с использованием СОТС [1, 2]. Однако выполненные исследования не позволяют оценить возможности СОТС по снижению себестоимости обработки, что требует дальнейшего совершенствования методики анализа эффективности СОТС.

Основой для создания такой методики является решение задачи оптимизации по критерию минимальной себестоимости режимов резания с учетом температурных ограничений. В настоящее время для оптимизации режимов резания в случае нелинейной целевой функции, каковой является себестоимость обработки деталей, применяются методы нелинейного программирования, одним из которых является метод геометрического программирования (МГП). Методика оптимизации режимов резания с использованием МГП, представленная в работах [3, 4], дает аналитическое решение для определения режимов резания при черновом, чистовом и тонком точении без учета температурных ограничений. Необходимость учета температурных ограничений при обработке резанием обоснована многочисленными исследованиями [5, 6], свидетельствующими о достаточно высоких температурах резания при точении, существенно превышающих допустимый уровень. Методика учета температурных ограничений при оптимизации режимов резания с использованием МГП, представленная в работе [7], требует ее дальнейшего развития в направлении оценки эффективности СОТС по повышению режимов и снижению себестоимости обработки.

Цель работы – расчет оптимальных режимов резания и оценка возможностей снижения себестоимости за счет использования СОТС при точении.

Современное машиностроение имеет достаточно большой выбор СОТС, обладающими различными охлаждающими и смазывающими свойствами. Охлаждающие свойства характеризуются коэффициентом снижения температуры резания при использовании СОТС в сравнении с обработкой без СОТС: $K_{\Theta} = \Theta_{\text{СОТС}} / \Theta_{\text{без СОТС}}$. Смазывающие свойства характеризуются коэффициентом снижения сил резания при черновой обработке $K_p = P_{\text{СОТС}} / P_{\text{без СОТС}}$ и коэффициентом снижения шероховатости обработанной поверхности при чистовой обработке $K_R = R_{a\text{СОТС}} / R_{a\text{без СОТС}}$.

Результаты анализа возможностей различных СОТС и способов их подачи в зону резания по обеспечению коэффициента снижения температуры

представлены в табл. 1 [1, 2]. Анализ выполнен для следующих наиболее распространенных СОТС: 5 % раствор эмульсола Укринол-1 (СОТС, обладающая наиболее выраженными охлаждающими свойствами); 5 % раствор эмульсола Аквол-2 (СОТС, обладающая наиболее выраженными охлаждающими свойствами и частично смазочными); МР-1У (СОТС, обладающая наиболее выраженными смазочными свойствами и частично охлаждающими).

Таблица 1

Коэффициенты, учитывающие охлаждающее и смазывающее действие СОТС при обработке конструкционных сталей твердосплавными резцами

Смазочно-охлаждающая среда (СОТС)								
Аквол-2			Укринол-1			МР-1У		
Коэффициенты снижения температуры K_{Θ} , коэффициенты снижения сил резания – K_P , коэффициенты снижения шероховатости обработанной поверхности K_R								
K_{Θ}	K_P	K_R	K_{Θ}	K_P	K_R	K_{Θ}	K_P	K_R
0,85	1,00	1,00	0,82	0,90	0,95	0,78	0,85	0,90

При оптимизации с использованием МГП в качестве критерия оптимальности принимается переменная часть себестоимости обработки детали режущим инструментом за один проход, зависящая от режимов резания:

$$C = At_o + At_c t_o / T + A_u t_o / T, \quad (1)$$

где A – стоимость станкоминуты; A_u – стоимость одного периода стойкости инструмента T ; t_o – основное время обработки; t_c – время смены инструмента.

При решении задачи двухпараметрической оптимизации, то есть определения оптимальных значений скорости резания и подачи с заданной глубиной резания в условиях однопроходной обработки, целевая функция имеет:

$$C = V^{-1} S^{-1} + M V^{k_V} S^{k_S}, \quad (2)$$

где $M = (t_c + A_u / A) t^{x_v / m} / C_v^{1/m}$; $k_V = 1/m - 1$; $k_S = y_v / m - 1$; C_V – коэффициент, x_v , y_v , m – показатели, характеризующие степень влияния глубины t , подачи S и стойкости T на скорость резания V .

Температурное ограничение в зависимости от режимов резания имеет вид:

$$\Theta = C_{\Theta} V^{n_t} S^{y_t} t^{x_t}, \quad (3)$$

где C_Θ , n_t , y_t , x_t – коэффициенты и показатели, характеризующие степень влияния скорости резания, подачи и глубины на температуру резания Θ .

Особенностью температурных ограничений является их существенное влияние на стойкость режущего инструмента, то есть непосредственно на критерий оптимальности (1). При превышении температурой резания Θ допустимого уровня Θ_o ($K_\Theta = \Theta_o/\Theta$ – коэффициент снижения температуры резания) необходимо снижать режимы резания и прежде всего – скорость резания. Это приводит к изменению стойкости инструмента, что должно быть учтено в целевой функции. При необходимости учета температурных ограничений, коэффициент M_T в целевой функции имеет вид [7]:

$$M_T = (t_c + A_u/A) t^{x_v/m} / C_v^{1/m} K_\Theta^{1/mn_t} = M K_\Theta^{-1/mn_t}. \quad (4)$$

Остальные ограничения при оптимизации режимов резания с использованием МГП представляются в виде:

$$C_i S^{y_i} \leq 1, \quad (5)$$

где для ограничений по прочности пластины при черновом точении и по шероховатости обработанной поверхности при чистовом точении коэффициенты C_i и параметры y_i : $C_1 = C_P K_{Pt}^{x_p} / 34 K_\phi c^{1,35} t^{0,77}$; $y_i = y_p$; $C_2 = k_o K_R (90 + \gamma)^{k_3} r^{k_2} / R_a$; $y_i = k_i$; C_P , x_p , y_p – коэффициенты и показатели, характеризующие степень влияния глубины и подачи на силу резания P_z , c – толщина пластины; $K_\phi = (\sin 60^\circ / \sin \phi)^{0,8}$ – коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане ϕ ; k_0 , k_1 , k_2 , k_3 – коэффициент и показатели, характеризующие степень влияния подачи S , радиуса при вершине r и переднего угла γ на шероховатость обработанной поверхности R_a .

В результате расчетов с использованием МГП установлены оптимальные подачи S_{oi} и скорость резания V_o :

$$S_{oi} = C_i^{-1/y_i}; V_o = \begin{cases} \left(\frac{m}{(1-m)M} K_\Theta^{-1/mn_t} \right)^m S_{oi}^{y_v}, & K_{\Theta o} \leq 1 \\ \left(\frac{m}{(1-m)M} \right)^m S_{oi}^{y_v}, & K_{\Theta o} \geq 1 \end{cases}, \quad (6)$$

где $K_{\Theta o} = \Theta_{don}/\Theta(V_o, S_o)$ – граничное значение коэффициента снижения температуры резания, определяющее необходимости учета температурных ограничений:

$$K_{\Theta o} = \Theta_o / C_\Theta \left(\frac{m}{(1-m)M} \right)^m C_i^{(y_v n_t - y_t)/y_i} t^{x_t} \leq 1. \quad (7)$$

Пример определения оптимальных режимов резания, обеспечивающих минимальную себестоимость, приведен для черного и чистового точения стали 45. Условия обработки: резцы Т5К10 и Т15К6 (главный угол резца в плане $\varphi = 90^\circ$, радиус при вершине $r = 1$ мм); глубина резания $t_{\text{черн}} = 3$ мм; $t_{\text{чист}} = 1$ мм; толщина пластины $s = 4,76$ мм; шероховатость поверхности $R_a = 3,2$ мкм; стоимость станкоминутой $A = 5$ коп/мин; стоимость 1 периода стойкости инструмента $A_u = 5$ коп/период; время смены инструмента $t_c = 1$ мин.

Для учета температурных ограничений приняты следующие зависимости температуры резания от режимов обработки (Θ_1 – для черного точения, Θ_2 – для чистового точения) [6]:

$$\Theta_1 = 138K_o V^{0,39} S^{0,34} t^{0,1}; \quad \Theta_2 = 187K_o V^{0,34} S^{0,32} t^{0,1}. \quad (8)$$

Оптимальные режимы резания без учета температурных ограничений:

для черновой обработки: $S_{\text{очерн}} = 0,6$ мм/об; $V_{\text{очерн}} = 124$ м/мин;

для чистовой обработки: $S_{\text{очист}} = 0,3$ мм/об; $V_{\text{очист}} = 167$ м/мин.

Температуры резания для рассчитанных оптимальных режимов резания, как для черновой обработки ($\Theta_1 = 847^\circ\text{C}$), так и для чистовой ($\Theta_2 = 876^\circ\text{C}$), превышают допустимый уровень температур $\Theta_o = 800^\circ\text{C}$. Необходимые коэффициенты снижения температуры резания $K_{\Theta_1} = 0,95$ – для черного точения, $K_{\Theta_2} = 0,9$ – для чистового точения. Скорости резания с учетом температурных ограничений: $V_{o\Theta\text{черн}} = 107$ м/мин; $V_{o\Theta\text{чист}} = 128$ м/мин.

Из графика, представленного на рис. 1, следует, что минимальная себестоимость имеет место при оптимальных режимах резания.

Учет температурных ограничений приводит к снижению оптимальных режимов резания $V_{o2} < V_{o1}$ и повышению минимальной себестоимости обработки C_{Θ} .

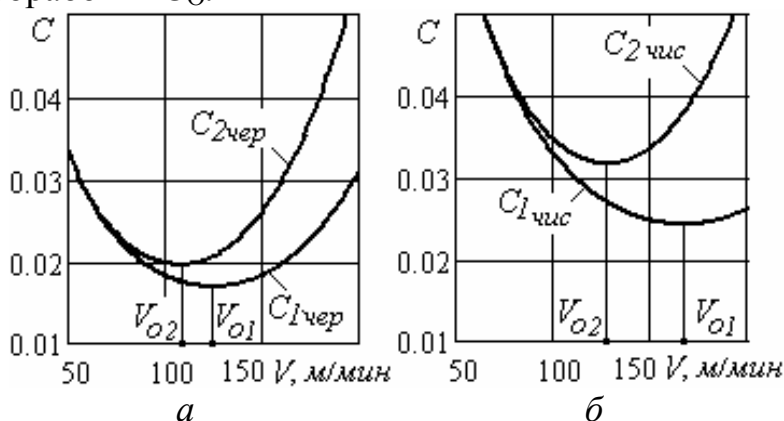


Рис. 1. Зависимость себестоимости обработки от скорости резания
без учета температурных ограничений – 1,
с учетом температурных ограничений – 2
в условиях обработки: а – черновой, б – чистовой

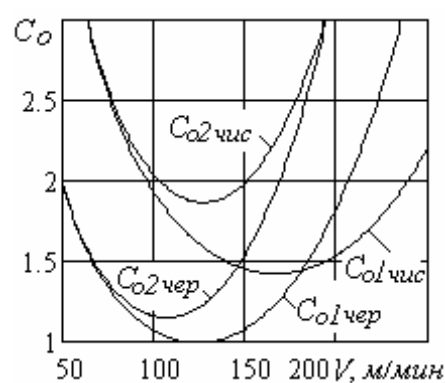


Рис. 2. Зависимость относительной себестоимости обработки от скорости резания для разных условий обработки

Сравнительный анализ себестоимостей черновой и чистовой токарных обработок, в том числе с учетом температурных ограничений представлен на рис. 2. В качестве базы для сравнения $C_{баз}$ принято минимальное значение себестоимости при черновой обработке без учета температурных ограничений (минимальная относительная себестоимость в этом случае равна 1). Относительные себестоимости, представленные на графиках (рис. 2) $C_{oi} = C_i / C_{баз}$.

Для заданных условий минимальная себестоимость чистовой токарной обработки в 1,4 выше, чем для черновой обработки без учета температурных ограничений и в 1,6 раз выше с их учетом.

Минимальная себестоимость черновой токарной обработки с учетом температурных ограничений в 1,2 раза выше, чем без их учета, для чистовой обработки – в 1,3 раза.

Таким образом, установлено весьма существенное увеличение себестоимости как черновой, так и чистовой токарной обработок при учете температурных ограничений, что свидетельствует о необходимости снижения температур резания и снятии температурных ограничений за счет использования СОТС.

Оценка возможностей снижения себестоимости при снятии температурных ограничений может быть выполнена на основании коэффициента снижения себестоимости $K_C = C / C_{\Theta}$:

$$K_C = \left(V^{-1} S^{-1} + M V^{k_V} S^{k_S} \right) / \left(V^{-1} S^{-1} + M K_{\Theta}^{-1/mn_t} V^{k_V} S^{k_S} \right). \quad (9)$$

Графики зависимости коэффициента снижения себестоимости от коэффициента снижения температуры резания K_{Θ} для чернового и чистового точения представленные на рис. 3, а, позволяют количественно оценить эффективность снижения себестоимости при снятии температурных ограничений за счет СОТС, обладающих только охлаждающими свойствами, например, Аквол – 2. Большого эффекта снижения себестоимости (рис. 3, б) можно достичь, используя СОТС, обладающие как охлаждающими, так и смазывающими свойствами, например Укринол – 1.

Заключение

Усовершенствована методика оптимизации режимов резания методом геометрического программирования по критерию минимальной себестоимости при точении с учетом температурных ограничений. На основании выполненных расчетов обоснована необходимость использования СОТС для снижения себестоимости токарной обработки.

Для условий чернового и чистового точения выполнена оценка возможностей снижения себестоимости для токарной обработки при устранении температурных ограничений с учетом как охлаждающих, так и смазывающих свойств СОТС. Разработанная методика может быть использована для любых видов обработки.

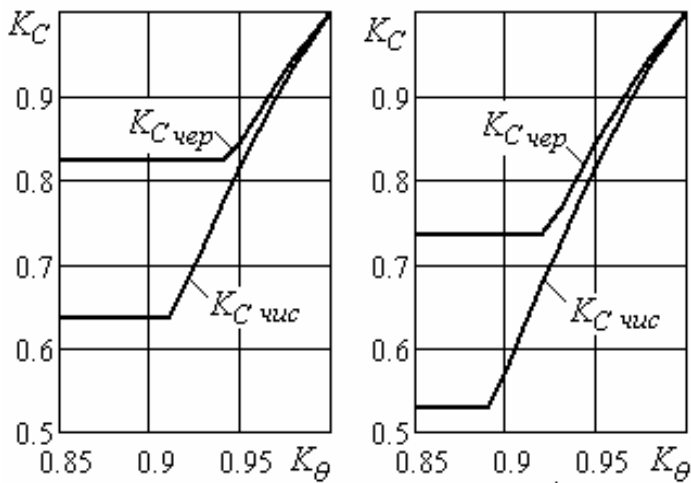


Рис. 3. Зависимость коэффициента снижения себестоимости K_C от коэффициента снижения температуры K_Θ с учетом:
 а – охлаждающих свойств СОТС;
 б – с учетом смазывающих свойств СОТС ($K_P = 0,9$; $K_R = 0,95$)

Список литературы: 1. *Івченко Т.Г.* Підвищення продуктивності обробки з використанням мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ / *Т.Г. Івченко* // Прогресивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2013. Вып. 45. – С. 112–117. 2. *Івченко Т.Г.* Аналіз можливостей підвищення продуктивності точіння сталей з обліком дії мастильно-охолоджуючих середовищ / *Т.Г. Івченко* // Вестник ДГМА. – Краматорск: ДГМА, 2013. – № 2 (31). – С. 160–165. 3. *Івченко Т.Г.* Оптимизация режимов резания при чистовом и тонком точении методом геометрического программирования / *Т.Г. Івченко, Е.Е. Шальская* // Прогресивные технологии и системы машиностроения: – Донецк: ДонНТУ, 2010. Вып. 39. – С. 91–97. 4. *Івченко Т.Г.* Использование метода геометрического программирования для расчета оптимальных режимов резания при точении / *Т.Г. Івченко* // Научный вестник ДГМА. – Краматорск: ДГМА, 2011. – № 1 (5 Е). – С. 47–52. 5. *Івченко Т.Г.* Оптимізація параметрів процесу різання з обліком температурних обмежень / *Т.Г. Івченко* // Научный вестник ДГМА. – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 1 (9 Е). – С. 72–77. 6. *Івченко Т.Г.* Визначення впливу режимів точіння на температуру різання в різних умовах механічної обробки / *Т.Г. Івченко* // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы. – Донецк: ДонНТУ, 2013. Т. 2. – С. 121–125. 7. *Івченко Т.Г.* Учет температурных ограничений при оптимизации режимов резания методом геометрического программирования // Прогресивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2014. Вып. 1 (47). – С. 144–148.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ

Ивченко Т.Г., Брадулов П.Р.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

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

Abstract: *The method of determination of technological remaining tensions in the superficial layer of detail at joint treatment turning and rolling-off is developed, based on which character and degree of influence of the machining regims on remaining tensions is set. The estimation of influence of remaining tensions on wear proofness at the different methods of treatment is executed.*

Key words: *remaining tensions, earproofness, joint treatment, turning, rolling-off.*

Повышение качества деталей машин на стадии их изготовления является важнейшей задачей современного машиностроения. Основные эксплуатационные свойства деталей машин – износостойкость и прочность в значительной мере зависят от технологических остаточных напряжений в поверхностном слое деталей машин, в связи с чем, выполненные в представленной работе исследования весьма актуальны.

Основные закономерности формирования параметров поверхностного слоя в настоящее время достаточно хорошо изучены [1, 2]. Однако основное внимание в этих работах уделяется исследованию параметров шероховатости обработанной поверхности, информация по оценке остаточных напряжений весьма ограничена.

В настоящее время для обработки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей широкое распространение получили комбинированные методы обработки. Одним из их вариантов является совместное точение и обкатывание, осуществляемое с применением комбинированных инструментов, сочетающих в себе режущие и деформирующие элементы. Для каждого из этих методов хорошо известны основные закономерности протекания процесса обработки и формирования поверхностного слоя деталей [1, 2], однако сведения об особенностях комбинированного совместного точения и обкатывания практически отсутствуют. Представленные в работе [3] сведения об определении остаточных напряжений в поверхностном слое при комбинированной обработке деталей совместным точением и обкатыванием не содержат информации по их взаимосвязи с эксплуатационными свойствами.

Целью представленной работы является исследование остаточных напряжений в поверхностном слое детали при комбинированном совместном

точении и обкатывании в зависимости от параметров обработки и установление их влияния на износостойкость деталей машин.

Поверхностный слой деталей машин при механической обработке формируется под влиянием силовых и температурных воздействий. Остаточные напряжения в поверхностном слое детали представляются как алгебраическая сумма механических σ_M и температурных σ_T составляющих: $\sigma_O = \sigma_M + \sigma_T$.

Механические остаточные напряжения распределяются по глубине поверхностного слоя z следующим образом [2]:

$$\sigma_M(z) = \frac{P}{\pi r^2} \left[\frac{3}{2(1+v^2)} + 1,2 \ln\left(\frac{v}{2}\right) - 0,3 \right] = \frac{P}{S_K} \sigma_{MB}(v), \quad (1)$$

где P – сила в зоне обработки; r – радиус кругового поля контакта; S_K – площадь контакта инструмента с заготовкой; $v = z/r$ – безразмерная координата; σ_{MB} – безразмерная составляющая механических остаточных напряжений

Температурные остаточные напряжения определяются с учетом распределения температур по глубине поверхностного слоя $\Theta(z)$ с учетом свойств материала детали – коэффициента линейного расширения α и модуля упругости E : $\sigma_T(z) = \alpha E \Theta(z)$.

На основании анализа температурного поля в поверхностном слое заготовки, возникающего в результате взаимодействия с инструментом, с учетом распределения температур по глубине поверхностного слоя [4], установлена температурная составляющая остаточных напряжений:

$$\sigma_T(z) = \frac{P}{S_K} \cdot \left[\frac{\alpha E V l \beta}{2 \lambda_\delta \sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{Pe}} \int_0^1 \frac{f(\psi_u) d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}} \exp\left(-\frac{Pe}{4} \cdot \frac{v^2}{1-\psi_u}\right) \right] = \frac{P}{S_K} \sigma_{T\delta}(v), \quad (2)$$

где P – сила в зоне обработки; S_K – площадь контакта инструмента с заготовкой; $\sigma_{T\delta}(v)$ – температурные безразмерные остаточные напряжения; V – скорость перемещения источника; β – доля теплоты, поступающая в деталь; l – размер полосового источника теплоты; λ , ω_δ – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности детали; v – безразмерная координата, характеризующая глубину поверхностного слоя $v = z/l$; ψ_u – безразмерная координата, характеризующая положение полосового источника теплоты $\psi_u = z_u/l$; $Pe = Vl/\omega_\delta$ – критерий Пекле; $f(\psi_u)$ – закон распределения плотности тепловыделения.

На рис. 1 представлены графики распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при различных видах обработки для следующих условий: при точении скорость резания $V_{точ} = 3$ м/с, подача $s = 0,2$ мм/об, глубина резания $t = 1$ мм; сила резания $P = 400$ Н; при шлифовании скорость резания $V_{шл} = 30$ м/с, подача $s = 16$ мм/об, глубина резания $t =$

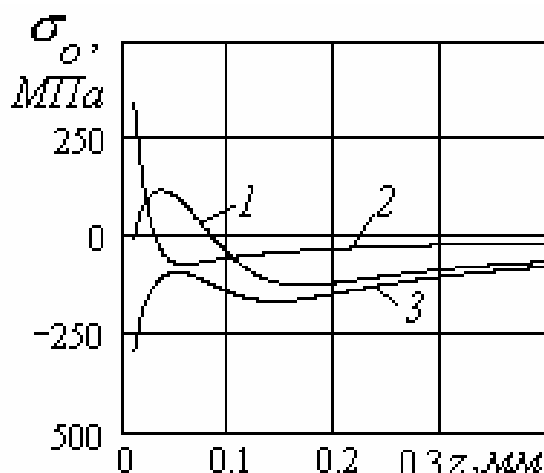


Рис. 1. Распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя:
1 – при точении;
2 – при шлифовании;
3 – при обкатывании

= 0,01 мм; сила резания $P = 100$ Н; при обкатывании – скорость детали $V_{обк} = 1$ м/с, сила $P = 500$ Н.

На основании выполненных расчетов установлено, что механические остаточные напряжения являются сжимающими, а температурные – растягивающими. При различных сочетаниях уровней температурных и механических составляющих суммарные остаточные напряжения могут быть растягивающими или сжимающими. Представленные графики (рис. 1) свидетельствуют о том, что при шлифовании в поверхностном слое имеют место преимущественно растягивающие остаточные напряжения, при обкатывании – сжимающие.

Остаточные напряжения в поверхностном слое детали при комбинированной совместной обработке точением и обкатыванием определяются как алгебраическая сумма температурных σ_T и механических σ_M остаточных напряжений, формирующихся отдельно при точении и обкатывании:

$$\sigma_o = (\sigma_T + \sigma_M)_m + (\sigma_T + \sigma_M)_o. \quad (3)$$

Тогда остаточные напряжения в поверхностном слое детали при совместной обработке точением и обкатыванием могут быть представлены через безразмерные составляющие следующим образом:

$$\sigma_o(z) = \frac{P_m}{S_{Km}} (\sigma_{TB}(v) + \sigma_{MB}(v_M))_m + \frac{P_o}{S_{Ko}} (\sigma_{TB}(v) + \sigma_{MB}(v_M))_o. \quad (4)$$

На рис. 2 представлены графики распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при совместном точении и обкатывании. Расчеты остаточных напряжений выполнялись для следующих режимов обработки: глубина резания при точении $t = 1$ мм; подача $s = 0,2$ мм/об.; скорость $V_m = V_o = 120$ м/мин.; сила резания при точении $P_m = 400$ Н; сила при обкатывании $P_o = 500$ Н.

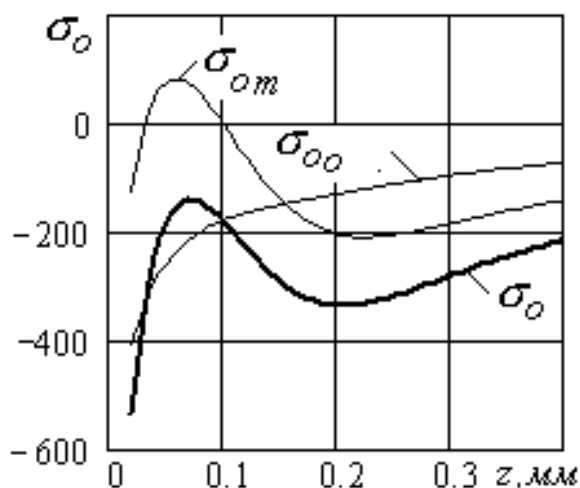


Рис. 2. Распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при совместном точении и обкатывании

Из графиков следует, что для указанных режимов обработки имеют место сжимающие остаточные напряжения.

С использованием разработанной методики выполнен анализ остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое детали при различных режимах обработки, представленных на рис. 3. Установлено, что с увеличением скорости и подачи остаточные напряжения возрастают, изменяется характер их распределения и глубина залегания, однако во всем диапазоне изменения режимов для комбинированной обработки имеют место сжимающие остаточные напряжения.

Для оценки влияния технологических остаточных напряжений на износостойкость используется относительный показатель интенсивности изнашивания, устанавливаемый на основании известного уравнения [1]. в зависимости от относительных параметров поверхностного слоя, определенных в сравнении с базовыми параметрами:

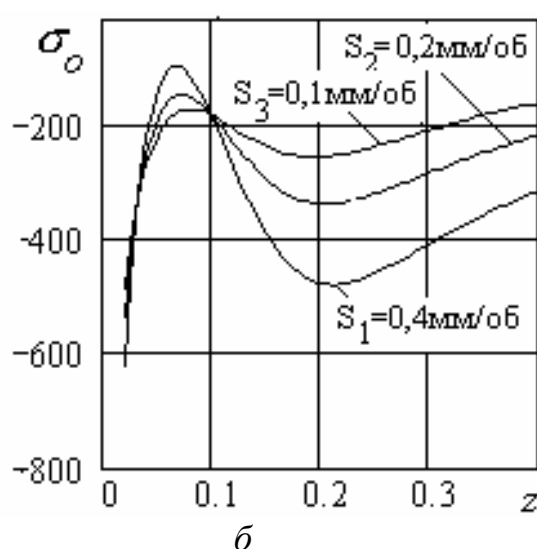
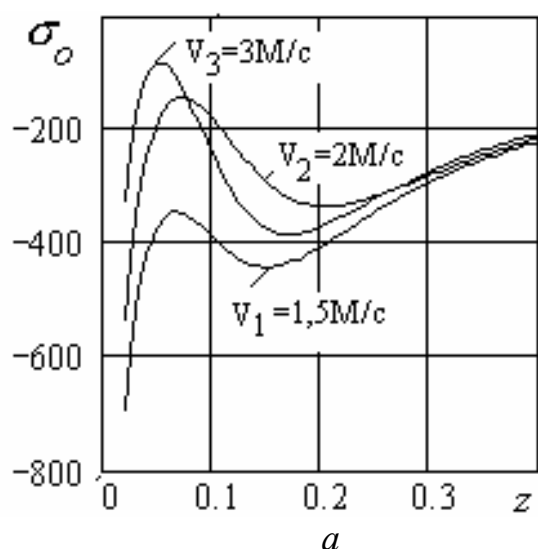


Рис. 3. Распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при совместном точении и обкатывании для различных режимов обработки: а – скоростей; б – подач

$$I_o = (R_{oa} W_{oz} H_{o\max})^{1/6} / \lambda_o t_{om}^{3/2} S_{om}^{1/2} (H_{o\mu})^{2/3}, \quad (5)$$

где R_{oa} – среднее арифметическое отклонение профиля; W_{oz} – параметр волнистости; $H_{o\max}$ – максимальное макроотклонение; λ_o – коэффициент, учитывающий остаточные поверхностные напряжения; t_{om} – относительная опорная длина профиля на уровне средней линии; S_{om} – средний шаг неровностей; $H_{o\mu}$ – поверхностная микротвердость – относительные показатели, определенные в сравнении с базовыми [1] (в качестве базовых приняты показатели лезвийной обработки – чистового точения).

Коэффициент λ_o рассчитывается следующим образом [1]:

$$\lambda_o = \frac{\lambda}{\lambda_{баз}} = \left(\frac{\sigma_\epsilon - \sigma_o}{\sigma_\alpha} \right)^{t_y} / \left(\frac{\sigma_\epsilon - \sigma_{обаз}}{\sigma_\alpha} \right)^{t_y} = \left(1 - \frac{\sigma_o}{\sigma_\epsilon} \right)^{t_y},$$

где σ_ϵ – временное сопротивление разрыву; σ_α – действующее напряжение; t_y – параметр фрикционной усталости; σ_o – технологические остаточные напряжения; $\sigma_{обаз}$ – остаточные напряжения, принятые за базу (при точении принимается $\sigma_{обаз} = 0$).

Графики, представленные на рис. 4, свидетельствуют о том, что существенное снижение относительного показателя интенсивности изнашивания, то есть повышение износостойкости (до 2–5 раз) наблюдается при использовании обкатывания в качестве окончательного метода обработки

деталей и снижение износостойкости (до 1,7 раз) при использовании шлифования.

Закключение.

На основании разработанной методики определения остаточных напряжений в поверхностном слое детали при совместной обработке точением и обкатыванием установлены характер и степень влияния режимов обработки на остаточные напряжения. Выполнена оценка влияния остаточных напряжений на износостойкость при различных методах обработки. Обоснована целесообразность использования комбинированной обработки совместным точением и обкатыванием, обеспечивающей существенное повышение износостойкости деталей машин.

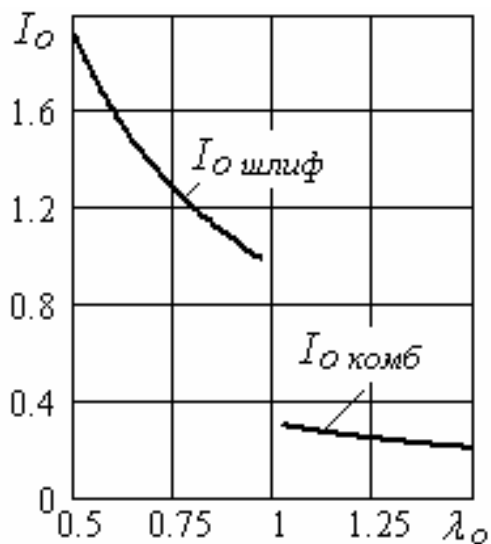


Рис. 4. Графики зависимости интенсивности изнашивания от коэффициента λ_o , учитывающего остаточные напряжения

Список литературы: 1. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320с. 2. Безъязычный В.Ф. Назначение режимов резания по заданным параметрам качества поверхностного слоя. – Ярославль: ЯПИ, 1978. – 86 с. 3. Ивченко Т.Г. Определение остаточных напряжений в поверхностном слое детали при совместной обработке точением и обкатыванием / О.С. Дубоделова, Т.Г. Ивченко / Инженер. Донецк: ДонНТУ, 2005, № 6. – С. 132–135. 4. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.

УДК 621.794

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД С ПРИМЕНЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ

¹ Ивченко Т.Г., ¹ Михайлов Д.А., ² Недашковский А.П.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

СМЗ ОАО «Мотор Сич», г. Снежное, Украина

Тел./Факс: +38 (095) 0739343; E-mail: arasamogon@mail.ru

Abstract: *This article analyzed the features of operation of the compressor blades gas-turbine engine and shows the technological features of their recovery using functional-oriented coatings. The paper discusses the parameters of corrosion-erosion coating damage during operation of the compressor blades. Developed a universal structure recovery process blades made of titanium alloys with the application of PVD coatings. This process is structured in this paper on the main stage. To increase the resistance and uniform coating erosion damage during the operation provides for the use of function-oriented coatings.*

Key words: *gas-turbine engine blades, recovery technology, PVD coatings, function-oriented coatings.*

1. Введение

Лопатки компрессора газотурбинного двигателя (ГТД) являются основными элементами современных авиационных двигателей, которые определяют ресурс и надёжность их эксплуатации в условиях совместного действия процессов газовой коррозии (высокотемпературное окисление, различные виды солевой коррозии) и эрозионных явлений, а также фазовых и структурных изменений свойств материала. Это обусловлено действием агрессивной газовой среды при высокой температуре, влажности, жидких частиц, пыли, песка и других частиц в воздушном потоке, что приводит к

возникновению химико-абразивной эрозии элементов лопаток и выходу их из строя.

Также следует заметить, что элементы лопаток компрессора в процессе их эксплуатации испытывают напряжения растяжения и изгиба от центробежных сил, напряжения изгиба и кручения от газового потока, переменные напряжения от вибрационных нагрузок, частота и амплитуда которых изменяются в широких пределах, а также тепловые напряжения от тепловых нагрузок. При этом цикличность знакопеременных напряжений приводит к разрушению лопаток из-за возникающих микротрещин, а также фазовых и структурных изменений свойств материала [1–3].

Кроме того, лопатки компрессора (особенно лопатки I ступени компрессора) первыми воспринимают на себя действие крупных инородных тел, попавших в тракт двигателя [4, 5], что приводит к возникновению значительных ударных местных локальных напряжений и снижению ресурса их работы.

Таким образом, ресурс и надёжность работы ГТД в значительной степени определяется свойствами лопаток компрессора противостоять комплексному действию процессов газовой коррозии и эрозионных явлений, фазовых и структурных изменений свойств материала, температурных процессов, значительных переменных напряжений (различного вида) от действия вибрационных, циклических и ударных нагрузок.

Для современных двигателей, лопатки компрессора (рис. 1) изготавливают из специальных титановых сплавов со сложной пространственной формой пера, при этом они имеют тонкие входные и выходные кромки. Лопатки компрессора это одни из самых трудоёмких и дорогостоящих изделий ГТД. Это обусловлено тем, что для их изготовления применяются сложные технологии и дорогостоящие материалы, а также используется в одном двигателе большое количество лопаток [5].



Рис. 1. Общий вид лопаток компрессора ГТД модели ТВ3-117

Для повышения ресурса и надёжности работы лопаток компрессора ГТД применяется целый комплекс различных отделочно-упрочняющих операций. Например, для снижения влияния коррозионно-эрозионных процессов при эксплуатации ГТД модели ТВЗ-117, на лопатки компрессора наносят вакуумные ионно-плазменные покрытия. Эти покрытия позволяют значительно повысить ресурс их работы [5].

Выполненные исследования особенностей разрушения покрытия пера лопатки компрессора показывают, что в процессе эксплуатации ГТД покрытия разрушаются не равномерно по элементам и поверхностям лопатки (рис. 2). Этот процесс обусловлен пространственной формой элементов лопатки и кинематикой её движения, особенностями движения газовых потоков в тракте двигателя и действием частиц пыли и жидкости. Разрушение покрытия на лопатке обычно начинается на входной кромке 1 пера в зоне пересечения входной и периферийной кромок. Далее, разрушение покрытия распространяется от этой зоны по входной кромке вниз к замку лопатки и по периферийной кромке к выходной кромке 2. Затем, от этих зон начинает разрушаться покрытие на поверхности корыта 3 лопатки, и потом покрытие остаётся только в зоне 4 поверхности корыта лопатки. На рис. 2 представлена схема разрушения нитрид-титанового покрытия поверхности пера лопатки со стороны корыта в зависимости от длительности эксплуатации (штриховые линии показывают границы полного разрушения покрытия, которые изменяются во времени). Проведенные исследования выполнены на лопатках компрессора с нитрид титановым покрытием толщиной 5–6 мкм, нанесённые вакуумным ионно-плазменным методом при помощи титановых катодов ВТ 1-0. Здесь следует отметить, что покрытие пера лопатки имеет определённые закономерности разрушений в процессе эксплуатации лопаток в ГТД. Можно заметить, что покрытие, нанесённое на поверхность пера со стороны спинки меньше подвержено разрушению.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить, что при эксплуатации ГТД покрытия лопаток компрессора разрушаются не равномерно. Даже при их длительной эксплуатации часть покрытия остается на поверхностях пера лопаток (рис. 2). Причем в процессе эксплуатации лопатки, в местах полного разрушения покрытия, происходит интенсивное разрушение основного материала пера (тела) лопатки, тогда как в зонах, где покрытие не разрушено основной материал пера не подвергается разрушениям. Эти процессы неравномерного коррозионно-эрозионного разрушения приводят, в ряде случаев, к потере ремонтпригодности лопаток.

Для повышения уровня ремонтпригодности лопаток компрессора следует на этапах эксплуатации лопаток и нанесения покрытий выполнять следующее:

1. При равномерной толщине покрытия на поверхностях и элементах пера лопаток, необходимо обеспечивать длительность их эксплуатации только до появления первых признаков полного разрушения покрытия в зонах повышенного его разрушения.

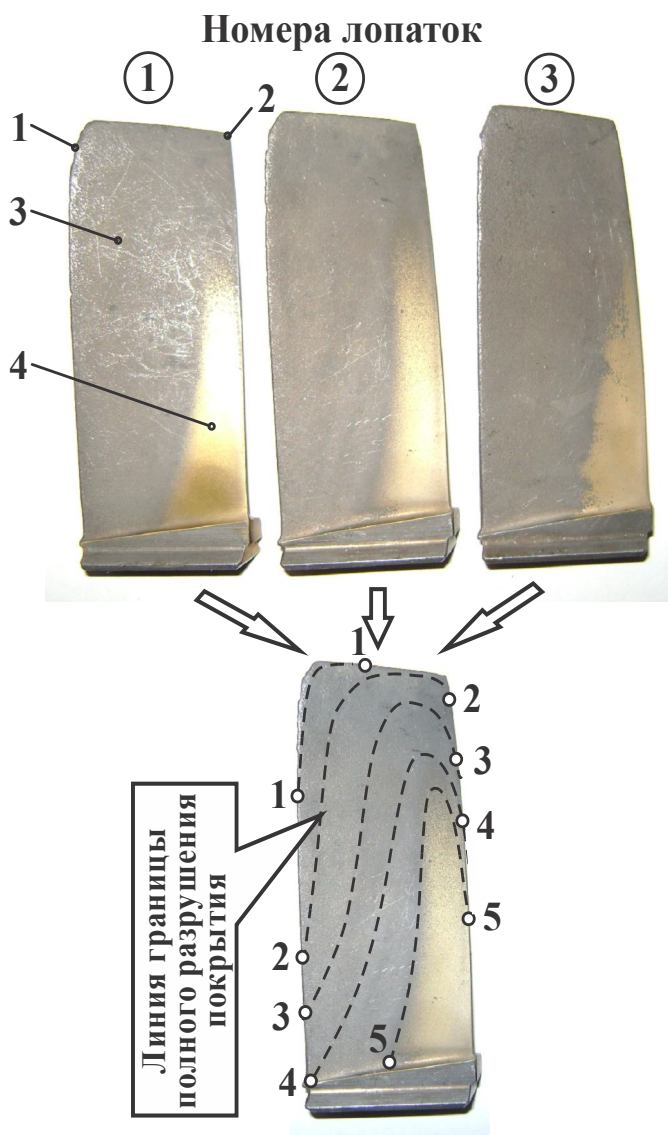


Рис. 2. Схема разрушения нитрид-титанового покрытия поверхности пера лопатки со стороны корыта в зависимости от длительности эксплуатации:

- 1 – разрушения входной кромки пера,
- 2 – разрушения выходной кромки пера,
- 3 – поверхность без покрытия,
- 4 – поверхность с покрытием

изменяющейся – в соответствии с особенностями изменения величины разрушения покрытия в данной точке или в данной зоне пера лопатки.

Здесь можно отметить, что в случае обеспечения изменяющейся толщины или свойств покрытия обеспечивается полное разрушение покрытия на всех поверхностях и элементах пера лопатки в одно и то же время. Поэтому к моменту ремонта и восстановления лопатки все покрытие разрушается одновременно и его не нужно удалять с поверхностей или удалять с минимальными затратами.

2. Для обеспечения полного эксплуатационного потенциала покрытия пера лопатки, в условиях неравномерности разрушения покрытия по различным зонам лопатки, необходимо выполнять изменяющуюся толщину покрытия, величина которой должна определяться в зависимости от степени разрушения покрытия в данной зоне лопатки при ее эксплуатации. В этом случае, толщина покрытия может быть непрерывно изменяющейся или прерывисто изменяющейся – в соответствии с особенностями изменения величины разрушения покрытия в данной точке или в данной зоне пера лопатки (рис. 2) при ее эксплуатации.

3. Для обеспечения полного эксплуатационного потенциала покрытия пера лопатки, в условиях неравномерности разрушения покрытия по различным зонам лопатки, необходимо выполнять изменяющиеся свойства покрытия по эрозионной стойкости, значение которой должно определяться в зависимости от степени разрушения покрытия в данной зоне лопатки при ее эксплуатации. В этом случае эрозионная стойкость покрытия может быть непрерывно изменяющейся или прерывисто

Целью данной работы является разработка технологического процесса восстановления лопаток компрессора ГТД с применением функционально-ориентированных покрытий, обеспечивающих повышение стойкости работы лопаток в сложных условиях эксплуатации.

Для достижения поставленной цели в данной работе определены следующие задачи:

1. Выполнить анализ особенностей коррозионно-эрозионных разрушений лопаток компрессора ГТД с ионно-плазменными покрытиями.

2. Разработать универсальную структуру технологического процесса восстановления лопаток компрессора с ионно-плазменными покрытиями.

3. Предложить схему формирования многослойного функционально-ориентированного покрытия лопаток компрессора ГТД. Разработать схему построения структуры многослойного покрытия на рабочих элементах пера лопатки.

4. Разработать рекомендации по формированию структуры технологического процесса восстановления лопаток компрессора ГТД.

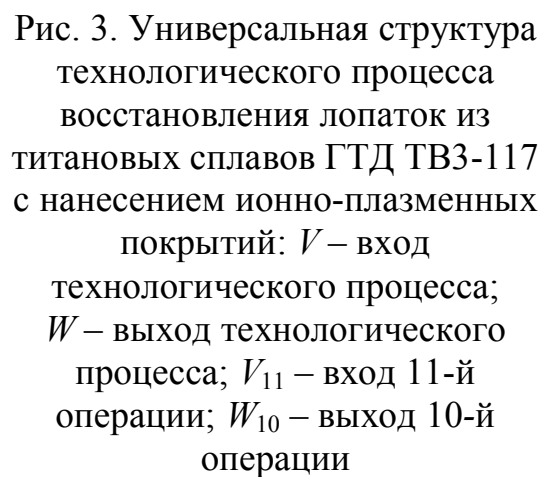
2. Универсальная структура технологического процесса восстановления лопаток компрессора

Можно отметить, что в ГТД лопатки компрессора могут использоваться без покрытий и с вакуумными ионно-плазменными покрытиями, нанесенными на основе нитрид титана. При эксплуатации ГТД возможны следующие случаи износа ионно-плазменных покрытий на лопатках компрессора:

- покрытие не имеет зон полного износа и разрушений,
- покрытие имеет зоны полного износа и разрушений на кромках пера лопатки,
- покрытие имеет зоны полного износа и разрушений на кромках и поверхностях пера лопатки.

Можно отметить, что в последнем случае разрушения покрытия, начинается процесс интенсивного коррозионно-эрозионного разрушения материала тела лопатки, которые приводят к потере ремонтпригодности лопаток компрессора в целом. Поэтому в этом случае необходимо выполнять тщательный осмотр и дефектацию лопаток с учетом их ремонтпригодности (рис. 3).

В зависимости от особенностей разрушения вакуумных ионно-плазменных покрытий на поверхностях пера лопатки составляется своя структура технологического процесса восстановления лопаток компрессора ГТД. Поэтому структура этого технологического процесса многовариантна, она строится с учетом наличия или отсутствия старых покрытий, степени разрушения покрытия и особенностей нанесения нового вакуумного ионно-плазменного покрытия. Также следует отметить, что структура технологического процесса может включать азотирование лопаток, которое является эффективным средством дополнительного повышения стойкости лопаток компрессора.



На рис. 3 представлена универсальная структура технологического процесса восстановления лопаток из титановых сплавов ГТД ТВ3-117 с нанесением ионно-плазменных покрытий. Здесь показано: V – вход технологического процесса; W – выход технологического процесса; v_{11} – вход 11-й операции; w_{10} – выход 10-й операции.

Универсальная структура технологического процесса восстановления лопаток (рис. 3) содержит следующие операции:

1. Осмотр и дефектация лопаток. На этом этапе определяется ремонтпригодность лопаток в целом.

2. Предварительная очистка лопаток от коррозии и нагара. Очистка элементов и поверхностей лопаток может выполняться:

2.1. посредством легкой обдувки мелким электрокорундом или карбидом кремния черным или зеленым на основе пневмо абразивно-струйной обработки;

2.2. за счет очистки в ультразвуковой ванне.

3. Окончательная зачистка и заполировка мелких забоин, вмятин, коррозионно-эрозионных повреждений.

4. Сортировка лопаток по наличию покрытия:

4.1. лопатки без покрытия. Если лопатки без покрытия, то они направляются на контроль геометрии лопаток;

4.2. лопатки с вакуумными ионно-плазменными покрытиями.

5. Сортировка лопаток по степени износа и разрушения покрытия:

5.1. покрытие не имеет зон полного износа и разрушений;

5.2. покрытие имеет зоны полного износа и разрушений на кромках пера лопатки;

5.3. покрытие имеет зоны полного износа и разрушений на кромках и поверхностях пера лопатки.

6. Синтез структуры технологического процесса (ТП). Здесь структура определяется в зависимости от необходимости удаления покрытия:

6.1. с полным удалением покрытий для лопаток по пунктам 5.1, 5.2, 5.3. Здесь возможно два варианта удаления покрытия;

6.2. с частичным удалением покрытий для лопаток по пунктам 5.1, 5.2, 5.3. Здесь возможно два варианта удаления покрытия;

6.3. без удаления покрытия для лопаток по пунктам 5.1, 5.2, 5.3. Если лопатки без покрытия, то они направляются на контроль геометрии лопаток.

7. Химическое травление, разрыхление и растворение старых покрытий.

8. Съём покрытия опорным полированием.

В этом случае полирование имеет определенные особенности, связанные с тем, что обработка выполняется одновременно двух разнородных по свойствам материалов, а именно, особо твердого нитрид-титанового покрытия с микротвердостью $H_{\mu} = 21 \dots 25$ ГПа и более мягкого титанового сплава ВТ8М с микротвердостью $H_{\mu} = 1,2 \dots 1,5$ ГПа. При одновременной обработке двух различных по твердости материалов их обработка должна выполняться с опорой инструмента (полировального круга) на более твердый материал (на

покрытие). Это обусловлено тем, что при обработке покрытия необходимо в 2–3 раза большее усилие прижима полировального круга, чем при обработке титанового сплава. В момент полного удаления покрытия возможно продавливание титанового сплава, так как усилие прижима полировального круга для титанового сплава должно быть значительно меньшим. Поэтому обрабатываемая поверхность пера лопатки получает значительную бугристость (бугристая волнистость). При опорном полировании должно преобладать абразивное резание. В целом полирование характеризуется абразивными, химическими, пластическими и термическими процессами.

9. Предварительное размерное полирование поверхностей лопатки. На этой операции выполняется восстановление геометрии лопатки, нарушенной на этапах эксплуатации или обработке поверхностей. В этом случае должно преобладать абразивное резание. Эта операция выполняется после контроля геометрии лопаток. Параметры шероховатости $R_a = 0,4 \dots 0,16$ мкм.

10. Контроль геометрии лопаток.

11. Окончательное сглаживающее полирование элементов пера лопатки. Для нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия, элементы и поверхности пера лопатки необходимо подготовить к нанесению покрытия и обеспечить заданные параметры шероховатости $R_a = 0,100 \dots 0,063$ мкм. На этой операции возможны три характерных случая обработки. При обработке только основного материала лопатки, а именно титанового сплава ВТ 8М, преобладает пластическая деформация материала. При обработке только покрытия, а именно нитрид титанового покрытия, преобладает комбинация химических и микропластических процессов. При совместной обработке двух материалов (основного и покрытия) выполняется опорное полирование.

12. Предварительное глянцеование (зеркальное сглаживающее полирование) покрытий и/или основного материала пера лопатки. На этой операции преобладает комбинация химических, термических и микропластических процессов. Параметры шероховатости на этой операции составляют следующие величины $R_a = 0,050 \dots 0,032$ мкм.

13. Мойка лопаток в ультразвуковой ванне. На поверхности пера лопатки остаются загрязнения и окислы, которые необходимо удалить и очистить поверхности от их наличия. Этот процесс выполняется с помощью ультразвуковой обработки в специальных ваннах. В качестве источника колебаний применяется установка ультразвуковых колебаний УЗГ 3-4 и магнитострикционные преобразователи ПМС 2,5-18. В качестве обрабатываемой жидкости в ванне используется раствор следующего состава: 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. Далее выполняется промывка лопаток под проточной водой.

14. Протирка пера лопатки бензином, ацетоном и спиртом. Сначала лопатка обрабатывается бензином «Галоша» (БР-1) ГОСТ 443-76, затем эфиром и потом выполняется их промывка в спирте этиловом ректификационном.

15. Азотирование рабочих поверхностей лопаток. Азотирование поверхностей необходимо для упрочнения материала лопатки, обеспечения необходимых структурных и фазовых свойств материала лопаток после их эксплуатации. В этом случае азотирование лопаток компрессора целесообразно выполнять следующими методами:

15.1. ионное азотирование в тлеющем разряде;

15.2. азотирование в вакуумно-дуговом разряде.

Эти процессы реализуются с помощью вакуумных ионно-плазменных установок, например ННВ 6.6-И1. Использование этих установок позволяет сразу реализовать после азотирования нанесение вакуумных ионно-плазменных покрытий.

Операция азотирования в данном технологическом процессе не обязательна и может не выполняться.

16. Нанесение вакуумных ионно-плазменных покрытий на поверхности пера лопатки. Нанесение покрытий выполняется на базе вакуумных ионно-плазменных установок, например ННВ 6.6-И1. Основные этапы нанесения покрытий следующие:

16.1. очистка поверхностей лопатки ионным травлением в газовом разряде;

16.2. очистка поверхностей ионной бомбардировкой и нагрев лопаток.

16.3. нанесение покрытий на поверхности лопатки. Процесс нанесения покрытий может быть многовариантным, число различных вариантов может быть 1, 2, 3, ..., R . Это могут быть однослойные покрытия и многослойные покрытия, одноэлементные (типа TiN, TiC) и многоэлементные (типа (Ti,Al)N, (Ti,Zr)N) покрытия, многокомпонентные (типа TiCN, ZrCN) покрытия, а также композиционные покрытия (типа (Ti,Al)CN, (Ti,Zr)CN). Кроме того, для повышения стойкости покрытий к коррозионно-эрозионным процессам при эксплуатации лопаток рекомендуется нанесение функционально-ориентированных покрытий [6].

17. Разгрузка лопаток.

18. Окончательное глянцеование (зеркальное сглаживающее полирование) покрытий. На этой операции преобладает комбинация химических, пластических и микропластических процессов. Параметры шероховатости на этой операции составляют следующие величины $R_a = 0,040 \dots 0,020$ мкм.

19. Полный контроль лопаток.

Представленная структура технологического процесса для восстановления лопаток компрессора ГТД является универсальной. На базе этой структуры выполняется выбор конкретных вариантов процессов для восстановления лопаток компрессора с нанесением новых вакуумных ионно-плазменных покрытий для различных случаев наличия на лопатках старых покрытий.

Универсальная структура технологического процесса нанесения новых покрытий включает возможность их нанесения с функционально-ориентированными свойствами [6], обеспечивающими предельный эксплуатационный потенциал использования лопаток в ГТД. Однако для реализации функционально-ориентированных покрытий на лопатки

необходимы дополнительные исследования, которые будут представлены далее в этой работе.

3. Особенности обеспечения функционально-ориентированных свойств покрытиям лопаток компрессора

На рис. 4 представлена схема разрушения старого и последовательного формирования многослойного функционально-ориентированного покрытия на 6-ти этапах – по одному на каждом. На схеме разрушения старого покрытия показана зона начала полного разрушения покрытия $1-a_1-b-1^1$, которая последовательно распространяется до зоны $2-1-a_1-b-1^1-2^1-a_2$, затем до зоны $3-2-1-a_1-b-1^1-2^1-3^1-a_3$ и так далее до зоны $5-4-3-2-1-a_1-b-1^1-2^1-3^1-4^1-5^1-a_n$. В соответствии с этими особенностями разрушения покрытия при эксплуатации лопатки в работе предлагается последовательно формировать многослойное покрытие с топологической ориентацией каждого слоя покрытия на поверхности пера лопатки, в соответствии с особым принципом ориентации покрытия, предложенным в работе [6]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{21} : G(F) &\rightarrow G(TB) ; \\ \varphi_{22} : G(TB) &\rightarrow G(C) ; \\ \varphi_{23} : G(C) &\rightarrow G(F) , \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где φ_{21} – отображение (преобразование) геометрических параметров зоны действия эксплуатационной функции $G(F)$ изделия в геометрические параметры зоны реализации технологических воздействий $G(TB)$;

φ_{22} – отображение (преобразование) геометрических параметров зоны реализации технологических воздействий $G(TB)$ в геометрические параметры зоны обеспечения свойств $G(C)$ изделия;

φ_{23} – отображение (преобразование) геометрических параметров зоны обеспечения свойств $G(C)$ в геометрические параметры зоны действия эксплуатационной функции $G(F)$ изделия.

Таким образом, многослойное покрытие (рис. 5) формируется в результате последовательного нанесения однослойных покрытий на каждом этапе с учетом выражения 1 топологической ориентации покрытия каждого слоя (рис. 4). Здесь, наносится покрытие № 1 с топологической ориентацией его на поверхности в соответствии со схемой износа, затем покрытие № 2, далее покрытие № 3 и так далее, в конце наносится покрытие на все поверхности пера лопатки. В этом случае, свойства каждого покрытия может определяться в соответствии с выражением:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{11} : F &\rightarrow TB ; \\ \varphi_{12} : TB &\rightarrow C ; \\ \varphi_{13} : C &\rightarrow F , \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Многослойное функционально-ориентированное покрытие



Рис. 4. Схема формирования многослойного функционально-ориентированного покрытия

где φ_{11} – отображение (преобразование) эксплуатационной функции F изделия в технологические воздействия TB ;

φ_{12} – отображение (преобразование) технологических воздействий TB в свойства C изделия;

φ_{13} – отображение (преобразование) свойств C в технологические воздействия TB .

Многослойные покрытия, сформированные в соответствии с выражениями

(1) и (2), обладают свойствами разрушения в заданный период эксплуатации лопаток компрессора ГТД. Это позволяет в длительный период времени исключить возможность разрушения основного материала пера лопатки и одновременно повысить технико-экономические показатели их восстановления.

4. Анализ структурных вариантов технологических процессов и основные рекомендации

Анализируя универсальную структуру технологического процесса восстановления лопаток компрессора из титановых сплавов с нанесением

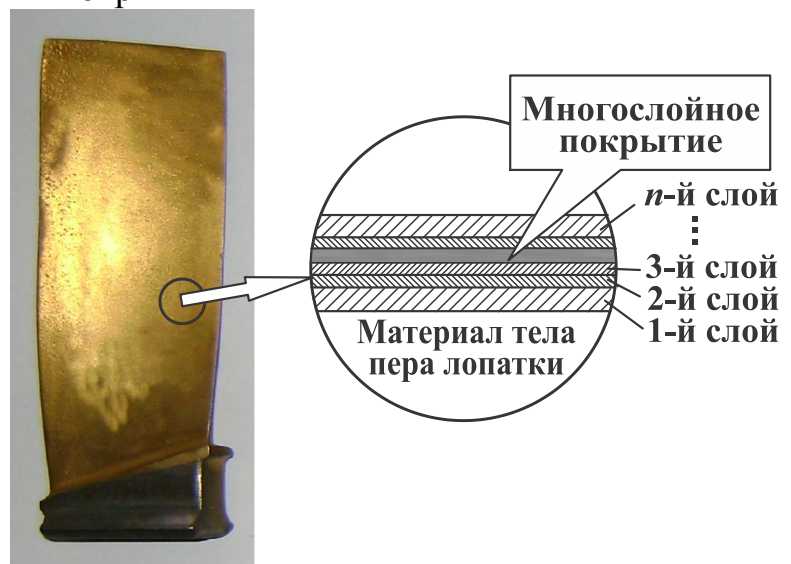


Рис. 5. Схема построения структуры многослойного покрытия на рабочих элементах пера лопатки

ионно-плазменных покрытий, представленную на рис. 3, можно отметить следующее.

1. Разработка технологического процесса восстановления лопаток и формирование его структуры определяется начальными свойствами лопаток и особенностями их эксплуатации.

2. Разработанная структура универсального технологического процесса базируется на ряде основных этапов:

- удаление коррозионно-эрозионных разрушений и нагара на пере лопатки, образованных при эксплуатации ГТД;

- полное или частичное удаление старых покрытий,

- восстановление геометрии пера лопатки, подготовка и обеспечение требуемых параметров качества поверхностей и поверхностного слоя пера лопатки для нанесения нового покрытия;

- нанесение покрытий на перо лопатки с обеспечением заданных эксплуатационных свойств;

- окончательное обеспечение параметров качества поверхностей и элементов пера лопатки.

3. Операция отделочной механической обработки элементов пера лопатки имеет определенные особенности, связанные с совместной обработкой двух разнородных материалов, имеющих значительное различие своих свойств.

4. Ионно-плазменные покрытия пера лопатки может реализовываться следующих вариантов:

- в зависимости от применяемого материала: одноэлементные и многоэлементные, многокомпонентные и композиционные;

- в зависимости от количества слоев: однослойные и многослойные;

- в зависимости от вида покрытий: традиционные и функционально-ориентированные покрытия;

- функционально-ориентированные покрытия могут иметь следующие свойства: функционально-зависимые, функционально независимые, специальные свойства, другие свойства.

5. Значение толщины, геометрические параметры, топография, структура и свойства покрытия поверхностей и элементов лопатки должны определяться из условия его одновременного полного коррозионно-эрозионного разрушения в любой точке пера лопатки или в зависимости от действия эксплуатационных функций.

6. В целом функционально-ориентированные свойства покрытий лопаток должны формироваться в зависимости от особенностей эксплуатации лопатки и коррозионно-эрозионных разрушений покрытия в каждой точке пера.

5. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

1. В работе выполнен анализ особенностей коррозионно-эрозионных разрушений лопаток ГТД с ионно-плазменными покрытиями. При этом

установлено, что эти разрушения покрытий имеют определенные закономерности. Для повышения стойкости лопаток от коррозионно-эрозионных разрушений предложено наносить функционально-ориентированные покрытия.

2. Для повышения эффективности восстановления лопаток компрессора ГТД разработана универсальная структура технологического процесса восстановления лопаток с ионно-плазменными покрытиями. Разработанный технологический процесс структурирован по 5-ти основным этапам, каждый из которых имеет определенные технологические особенности. При этом установлено, что для обеспечения высокой адгезионной прочности (до 250 МПа) сцепления формируемых новых покрытий с не удаленными оставшимися покрытиями на поверхностях пера, а также с материалом пера лопатки (подложка), необходимо выполнять предварительное глянцеование (зеркальное сглаживающее полирование) покрытия и/или основного материала элементов пера лопатки с параметрами шероховатости $R_a = 0,050 \dots 0,032$ мкм.

3. В работе предложена схема формирования многослойного функционально-ориентированного покрытия лопаток компрессора ГТД. При этом разработана схема построения структуры многослойного покрытия на рабочих элементах пера лопатки.

4. В представленной работе выполнен анализ структурных вариантов покрытий, обеспечивающих повышение уровня ремонтпригодности лопаток компрессора ГТД, а также даны рекомендации формирования структуры технологического процесса восстановления лопаток компрессора ГТД.

Список литературы: 1. Демин Ф.И., Проничев Н.Д., Шитарев И.Л. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей. Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2002. – 328 с. ISBN 5-217-03119-0. 2. Полетаев В.А. Технология автоматизированного производства лопаток газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с. ISBN 5-217-03340-1. 3. Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С. Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 622 с. ISBN 5-89594-066-8. 4. Богуслаев В.А., Качан А.Я., Долматов А.И., Мозговой В.Ф., Корневский Е.Я. Технология производства авиационных двигателей. Ч. 1. Основы технологии. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2007. – 518 с. ISBN 966-87-2. 5. Богуслаев В.А., Яценко В.К., Жеманюк П.Д., Пухальская Г.В., Павленко Д.В., Бень В.П. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2005. – 559 с. ISBN 966-7108-91-0. 6. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. ISBN 966-7907-24-4.

ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Капустин С.А., Голубов Н.В., Горобец И.А.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./факс: +38 (062) 3010805; E-mail: goloobov@mail.ru

Abstract: The most important tasks that must be addressed when creating a new product samples is to increase resource and restore worn parts. Solving these problems is largely possible through the use of detonation spraying. The article describes the features of this area of the process, its scope and the main parameters.

Keywords: coating, detonation, thickness, layer hardness material.

В XXI в. человечество столкнулось парадоксальным фактом: с одной стороны – научно-технический прогресс в сочетании с экологической неграмотностью послужили причиной деградации окружающей среды; с другой стороны – только человек должен стать гарантом охраны природы. Сохранение окружающей среды подразумевает необходимость организации высокотехнологичных, гибких производств, которые обеспечивают рациональное использование материальных и человеческих ресурсов, в том числе увеличение ресурса изделий и восстановление изношенных элементов изделий. Для решения этих проблем может использоваться технология детонационного напыления покрытий.

Детонационное напыление – это процесс нанесения покрытий на поверхность детали путем напыления порошкообразного материала продуктами сгорания, возникающими в результате направленного взрыва газовой смеси. Этот метод, при котором химическая энергия газов периодически освобождается в форме детонационных волн, позволяет получать наивысшее качество покрытий по сравнению с альтернативными способами напыления [1]. Принципиальная схема установки показана на рис. 1.

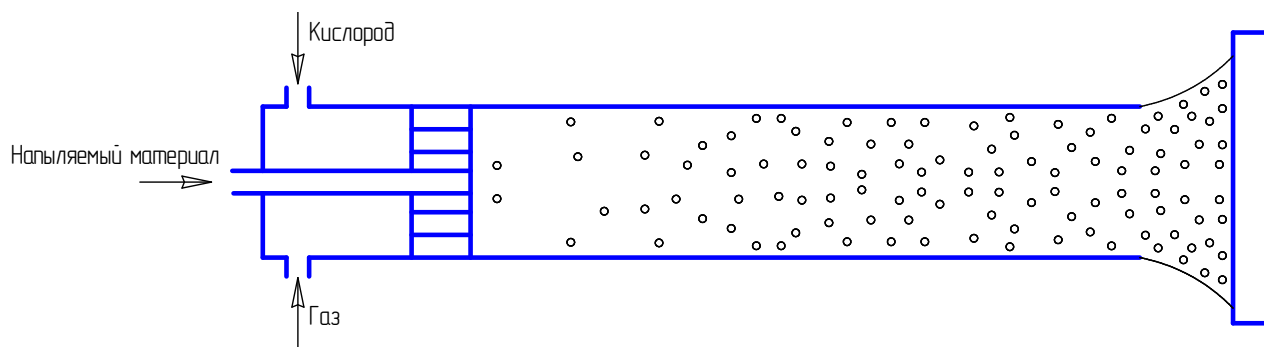


Рис.1. Принципиальная схема установки для нанесения детонационных покрытий

В результате детонации газовой смеси, в качестве ингредиентов которой используется пропан-бутан и кислород, возникает сверхзвуковой высокотемпературный поток с энергетическими параметрами, при которых скорость продуктов детонации достигает 3000 м/с, а температура 3500 К. Высокотемпературный сверхзвуковой поток продуктов детонации получают следующим образом. В удлиненную трубу, закрытую с одного конца, нагнетают под некоторым давлением рабочую смесь газов и непосредственно перед ее инициированием впрыскивают мелкодисперсный порошок напыляемого материала. При этом горение смеси протекает в режиме детонации, в результате которой высвобождается химическая энергия смеси, с образованием высокого давления, температуры и продуктов сгорания [2].

Под воздействием высокой температуры частицы порошка переходят в пластическое состояние и, ускоряясь продуктами сгорания, вылетают из ствола. После достижения детонационной волной открытого конца ствола детонационная волна разрушается, так как может перемещаться только по смеси газов, способной детонировать. Затухающая ударная волна может перемещаться вне ствола, но на расстоянии более 100 мм ее амплитуда близка к нулю. При соударении с деталью, частицы порошка образуют высокоплотное покрытие.

Основные достоинства метода:

- возможность получения покрытий из большинства порошков, плавящихся при температуре до 2800 °С без разложения;
- возможность нанесения покрытий на различные материалы (металлы – с твердостью поверхности до 60 HRC, керамику, стекло, пластмассу и др.);
- отсутствие деформации напыляемой поверхности;
- возможность получения покрытий с пористостью 0,5– 1,5 % и высокой прочностью сцепления покрытий с основой (никель – 100 МПа, ПН70Ю30–100 МПа, оксид алюминия – 30 МПа);
- возможность управлять химическим составом продуктов детонации (восстановительный, нейтральный, окислительный) и энергетическими характеристиками процесса за счет регулирования газового режима;
- возможность нанесения покрытий на изделия практически без ограничения их размеров при наличии средств механизации и обеспечении правил техники безопасности.

Основные недостатки метода:

- высокий уровень шума в помещении, где производится детонационное напыление покрытий, достигающий 140 дБ;
- наличие продуктов сгорания смеси горючий газ – кислород с образованием вредных компонентов (СО, углеводороды, оксиды азота);
- наличие концентрации взвешенных в воздухе частиц напыляемого порошка размером 5–150 мкм $>150 \text{ мг/м}^3$.

Все покрытия можно условно разделить на три группы: композиционные, керамические и металлические. Свойства покрытий также можно разбить на

несколько групп. В первую очередь это прочностные характеристики: адгезия, когезия, твердость. Получать высокие прочностные параметры важно для всех видов покрытий. Для многих покрытий, в первую очередь для композиционных твердосплавных, важна высокая стойкость к различным видам износа. В ряде случаев от покрытий требуются хорошие электроизоляционные свойства или коррозионная стойкость, или высокая теплопроводность и т.д.

В практических приложениях наибольшее распространение получили детонационные покрытия на основе карбидовольфрамовых твердых сплавов, алюмооксидные и металлические. Первые обладают наиболее высокой износостойкостью и наносятся на детали, работающие в контакте с абразивными средами, в условиях сухого трения и т.д. Алюмооксидные покрытия применяются как для повышения износостойкости, так и для электроизоляции в различных условиях. Металлические покрытия из специальных сплавов наносятся в основном в целях восстановления изношенных деталей.

Из всех существующих только данный метод позволяет наносить металлокерамические твердые сплавы на основе карбидов вольфрама, хрома, титана. При этом свойства покрытий практически не отличаются от свойств аналогичных твердых сплавов, полученных методами спекания. Также к существенному преимуществу детонационного метода относится лишь незначительный нагрев напыляемого изделия по сравнению с другими методами (обычно $\leq 250^{\circ}\text{C}$). Высокие эксплуатационные свойства покрытий, получаемых методом детонационного напыления, позволяют радикально (в 5...10, а в некоторых случаях в 20...30 раз) повышать ресурс, износо- и коррозионную стойкость узлов и деталей.

Твердосплавные детонационные покрытия на основе карбида вольфрама имеют следующие характеристики. Адгезионные свойства характеризуются прочностью на отрыв, достигающей 129...281 МПа и прочностью на срез – более 150 МПа. Механические прочностные свойства: когезия 192–538 МПа; микротвердость 7300–15000 МПа; энергия активации пластической деформации 150–200 кДж/моль [4].

Промышленное применение детонационной технологии нанесения покрытий началось в Соединенных Штатах Америки в 1955 году, а в Советском Союзе – с 1970 года. Основное направление использования – военно-промышленный комплекс, авиационная техника. За это время было проведено огромное количество экспериментов и испытаний. Итог этой работы – доказательство, что сегодня не существует технологии лучше или такой же по качеству наносимых покрытий. На рис. 2 показан сравнительный анализ различных видов газотермических покрытий [2].

Рассматриваемый метод успешно применяется при восстановительном ремонте коленчатых и распределительных валов ДВС, при производстве и ремонте лопаток и других деталей авиационных газотурбинных двигателей и газокompрессорного оборудования. Его используют для нанесения защитных

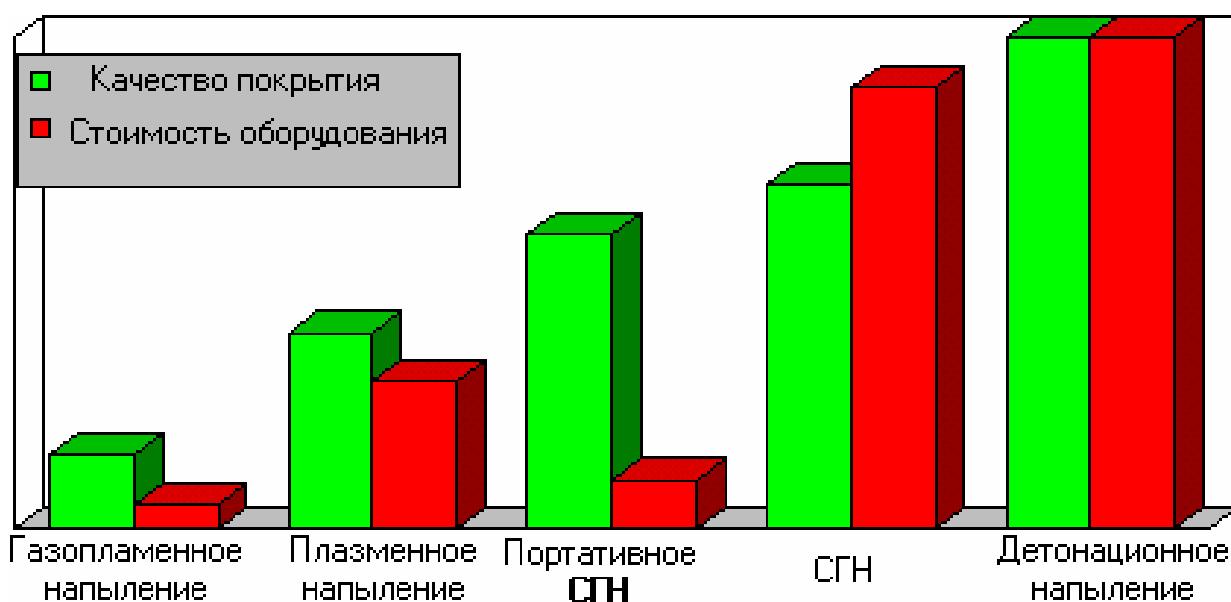


Рис. 2. Сравнительный анализ различных видов газотермических покрытий

покрытий на детали сельхозмашин и машин для переработки сельхозпродукции, на торцевые уплотнения валов, ролики и валки в металлообработке и металлургическом производстве, арматуру в химическом машиностроении, ножи и фрезы для порезки различных материалов, подающие ролики в сварочном производстве, формы для литья под давлением и т.д. [2].

На предприятиях нефтегазового комплекса детонационные покрытия можно широко использовать для быстрого и качественного восстановления дорогостоящих элементов технологического оборудования и оснастки. Теплоизоляционные покрытия оксида алюминия весьма перспективно применять для ресурсоповышающей обработки деталей сварочного оборудования. Высокую эффективность показало нанесение износостойких покрытий на рабочие поверхности обрабатывающего инструмента [4].

На рис. 3 проиллюстрированы некоторые области применения детонационных покрытий, где они показали высокую эффективность. В настоящее время детонационные твердосплавные покрытия успешно применяются для упрочнения шарошек трехшарошечных (рис. 3, а) и алмазных (рис. 3, б) буровых долот [4]. Достижимый эффект (при толщине покрытия 200 мкм) – существенное повышение абразивной стойкости бурового инструмента, практически полное исключение выпадения породоразрушающего вооружения при работе на забое, снижение отказов по причине растрескивания шарошек.

Применение детонационно-газовых покрытий повышает ресурс работы штампового инструмента в 1,5–1,8 раза, а в ряде случаев позволяет заменить дорогостоящую инструментальную сталь на более дешевую конструкционную.

Практически всегда важное значение имеет производительность процесса напыления. В качестве величины, характеризующей производительность процесса, используем среднюю толщину покрытия на оси ствола, формирующегося в результате единичного выстрела (H), которую в



а



б

Рис. 3. Примеры использования детонационных покрытий для упрочнения шарошек: *а* – трехшарошечных; *б* – алмазных

дальнейшем для краткости будем называть толщиной единичного слоя. Указанный критерий при импульсных процессах напыления более удобен, чем критерии используемые для характеристики непрерывных процессов.

По величине H определяется число циклов, необходимых для нанесения покрытия нужной толщины, так как число выстрелов наиболее легко контролируемая характеристика детонационного напыления. Производительность β и коэффициент использования порошка G можно при необходимости определить из уравнений [6]:

$$\beta = \frac{\pi H \gamma_n d_n^2 n_y k_T}{4 m_n}; \quad G = \frac{\pi H \gamma_n d_n^2 n_y k_T}{4},$$

где γ_n – объемная плотность покрытия; d_n – диаметр пятна напыления; n_y – скорострельность установки; k_T – коэффициент неравномерности слоя покрытия; m_n – средняя навеска порошка.

Пример установки для нанесения покрытий показан на рис. 4 [5].

Детонационно-газовое оборудование и технология, включая порошки для напыления, имеют большой резерв дальнейшего совершенствования. В ближайшее десятилетие следует ожидать существенного прогресса в развитии технологии высокоскоростного детонационно-газового напыления для получения изделий с новыми свойствами и повышенным ресурсом работы.

Список литературы: 1. Ладан Е.П., Ладан И.Е., Зармаев А.А., Калинин В.П. Технологическое оборудование для нанесения детонационных покрытий // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2012. № 1 (16). – С. 76–84. 2. <http://pk-mim.com.ua/покрытия/> 3. Максименко Е.В., Муравлев Е.В., Казанцев И.В., Ахмадеев И.Р., Ильясов С.Г. Нанесение порошковых покрытий детонационным методом // Ползуновский вестник. 2007.

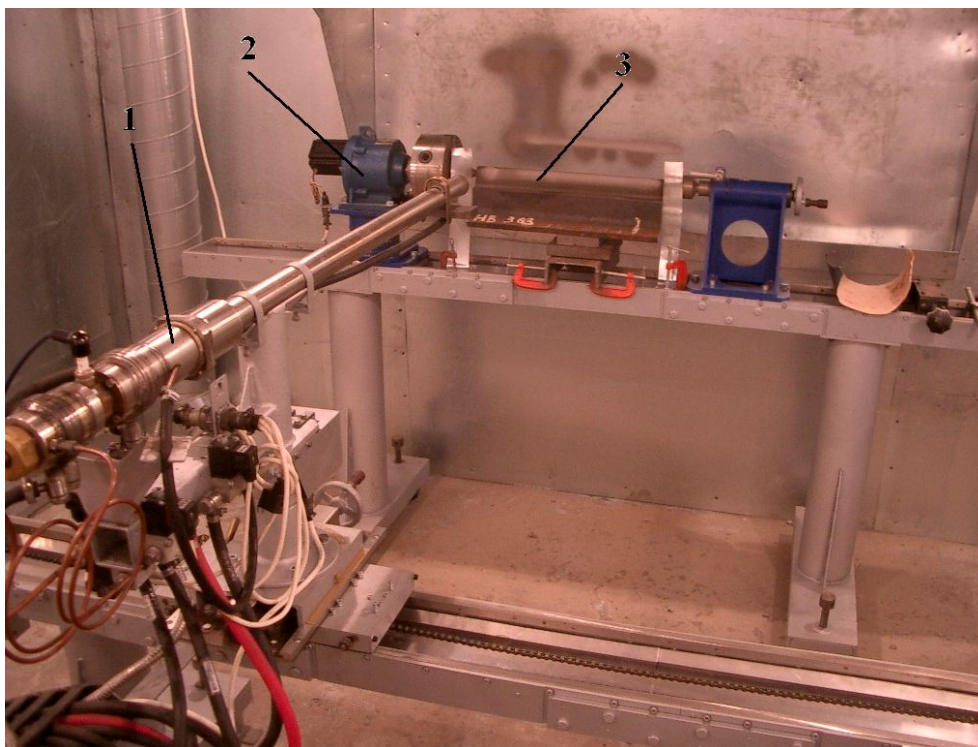


Рис. 4. Установка для нанесения детонационных покрытий:
1 – детонационная пушка; 2 – манипулятор перемещения детали; 3 – деталь

№ 3. – С. 64–67. 4. Калашиников В.В., Деморецкий Д.А., Ненашев Д.А., Трохин О.В. Разработка перспективных детонационных технологий для нефтегазовой промышленности // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, № 4. – С. 335–345. 5. Деморецкий Д.А., Ненашев М.В., Ибатуллин И.Д. и др. Технология и свойства наноструктурированных детонационных покрытий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Том 13. № 1 (2). – С. 390–393. 6. Бартенев С.С, Федько Ю.П., Григоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 215 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ «ДЕРЕВА ОТКАЗОВ» И
«ДЕРЕВА СОБЫТИЙ» ПРИ ОЦЕНКЕ ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ
ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ И СЦЕНАРИЕВ ИХ
ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ,
СВЯЗАННЫХ С ОБРАЩЕНИЕМ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Киреев Д.О.¹, Звягинцева А.В.²

ВГТУ, г. Воронеж, Россия

Тел. ¹+7 (900) 38583912, ²+7 (950) 7501062,

E-mail: ¹kireev91@uandex.ru, ²zvygincevaav@mail.ru

Abstract: *The analysis of emergency situations at the technosphere associated with circulating hazardous chemicals. Illustrates the application of mathematical methods to predict possible crashes technological equipment using methods of constructing a «fault tree» and the subsequent evaluation of the probability of events using the «event tree».*

Keywords: *mathematical modeling, object technosphere, chemically hazardous substances, process equipment failures, Technosphere Safety.*

Прогнозирование – разработка прогноза, специальное научное исследование конкретных последствий развития аварии на объекте.

Точность любого прогноза зависит:

- объёмом истинных исходных данных и периодом их сбора;
- методиками и подходами прогнозирования;
- свойствами объекта, на которых ведется прогнозирование.

Цель работы: оценка техногенной угрозы для персонала, населения и территории на производственных объектах, связанных с обращением химически опасных веществ.

Методы исследования: математическое моделирование с применением методов построения «Дерева отказов» и «Дерева событий» [1].

Испытательный комплекс ОАО «Конструкторское бюро химавтоматики» (КБХА) расположен на окраине г. Воронежа в 7 км от жилых массивов на берегу водохранилища, среди лесного массива. Испытательный комплекс имеет охраняемый периметр протяженностью 5.4 км. Отдел включает в себя:

- участок приема и хранилище окислителя (амил), проектная мощность 1500 т;
- участок приема и хранилище горючего (гептил), проектная мощность 600 т;
- участок приема и хранилище керосина, проектная мощность 120 т.

ОАО «Конструкторское бюро химавтоматики» представляет опасность для населения и окружающей природной среды. Основными опасностями

указанных объектов являются обращающиеся в производстве токсичные (гептил, амил) и пожаровзрывоопасные (гептил, керосин) вещества. В связи с этим прогнозирование химической обстановки на данном производственном объекте сложно и требует учета многих взаимозависимых факторов. Потенциальную опасность этих веществ увеличивают такие факторы, как значительные масштабы применения веществ, и объем аппаратуры для хранения продуктов производства [2–5]. В связи с этим проведена оценка потенциальных опасностей и наиболее значимых факторов, влияющих на показатели риска, производственного объекта «Испытательный комплекс ОАО КБХА». Осуществлено моделирование и прогнозирование возможной химической обстановки при наиболее опасных и наиболее вероятных вариантах аварийных ситуаций. Основными причинами аварий с участием токсичных веществ являются (рис. 1):

- ошибки эксплуатационного персонала (нарушение требований технологических регламентов и рабочих инструкций, неудовлетворительная организация проведения ремонтных работ; отсутствие надзора за техническим состоянием оборудования; низкая производственная дисциплина);
- механические повреждения, физический износ, коррозия оборудования (15 % аварий);
- отказы средств контроля, автоматики или противоаварийной защиты (5 % аварий).

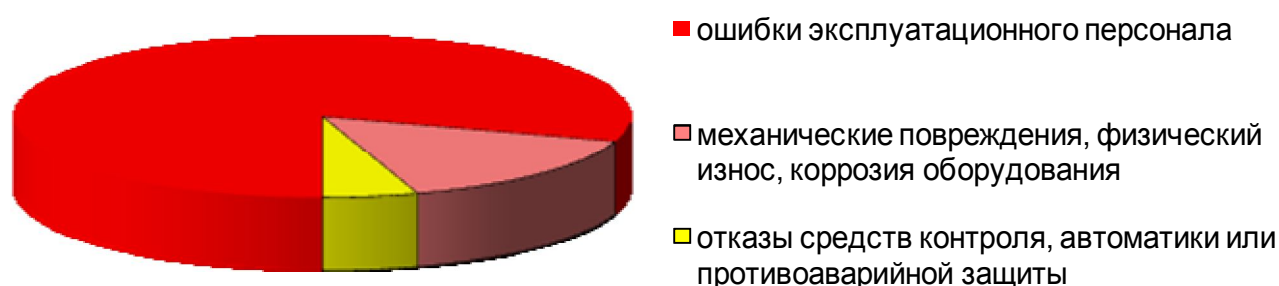


Рис. 1. Причины аварий на химически опасных объектах

Компоненты жидкого ракетного топлива (КЖРТ) (кроме кислорода) поступают с предприятий поставщиков в специальных железнодорожных цистернах (ЖДЦ). Из ЖДЦ КЖРТ закрытым способом по трубопроводам, методом вытеснения под давлением, поступают в ёмкости ($V = 90 \text{ м}^3$) хранилища компонентов, в которых хранятся. Данные о количествах опасных веществ – компонентах ракетного топлива – «Амил» и «Гептил», предназначенных для проведения огневых испытаний жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), которые могут создавать поражающие факторы, представлены в табл. 1 [5]. Расчет осуществлен по методикам [1, 6, 7] для наиболее опасных сценариев аварийных ситуаций, возникающих на технологическом оборудовании, и приведены вероятности их возникновения (обозначение блоков условно).

Таблица 1

Варианты наиболее опасных сценариев и вероятности их возникновения

Вещество	№ сценария	Последствия реализация сценария	Количество опасного вещества, т		Вероятность реализации сценария, 1/год
			Участвующего в аварийной ситуации	Участвующего в создании поражающего фактора	
Гептил	C ₂	Пожар пролива	60	60	$1,9 \times 10^{-6}$
	C ₃	Токсическое поражение людей	60	1,0	$1,9 \times 10^{-6}$
	C ₄	«Огненный шар»	60	1,0	$9,5 \times 10^{-7}$
	C ₅	Взрыв парогазового облака	60	1,0	$1,9 \times 10^{-6}$
Амил	C ₂	Поражение персонала (химические ожоги)	100	100	$1,9 \times 10^{-6}$
	C ₃	Токсическое поражение людей	100	26,6	$7,6 \times 10^{-7}$
Гептил	C ₂	Пожар пролива	16,5	16,5	$1,9 \times 10^{-6}$
	C ₃	Токсическое поражение людей	16,5	0,38	$1,9 \times 10^{-6}$
	C ₄	«Огненный шар»	16,5	0,38	$9,5 \times 10^{-7}$
	C ₅	Взрыв парогазового облака	16,5	0,38	$1,9 \times 10^{-6}$
Амил	C ₂	Поражение персонала (химические ожоги)	31	31,0	$1,9 \times 10^{-6}$
	C ₃	Токсическое поражение людей	31	3,63	$7,6 \times 10^{-7}$
Гептил	C ₂	Пожар пролива	47,6	47,6	$1,0 \times 10^{-7}$
	C ₃	Токсическое поражение людей	47,6	4,8	$1,6 \times 10^{-7}$
	C ₄	«Огненный шар»	47,6	4,8	$9,8 \times 10^{-8}$
	C ₅	Взрыв парогазового облака	47,6	4,8	$1,6 \times 10^{-7}$
Амил	C ₂	Поражение персонала (химические ожоги)	57,6	57,6	$1,5 \times 10^{-7}$
	C ₃	Токсическое поражение людей	57,6	31,8	$1,7 \times 10^{-7}$

При разгерметизации или разрушении технологического оборудования или трубопроводов блоков испытательного комплекса происходит выброс аварийно-химически опасного вещества (АХОВ) – гептил, амил. Далее рассмотрено только одно опасное вещество: гептил, обращающееся в блоке. Основной опасностью блока является залповый выброс большого количества высокотоксичного взрывопожароопасного вещества – гептила. При разрушении сосуда образуется пролив, площадь которого ограничена размерами поддона. Над проливом образуется токсичное, взрывопожароопасное газозооушное облако. При воздействии на облако паров гептила источника воспламенения он воспламеняется, а при достижении нижнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ) взрывается. При воспламенении и взрыве парогазового облака поражающими факторами являются тепловое излучение пламени и избыточное давление взрывной ударной волны соответственно.

Наиболее вероятными причинами нарушения герметичности оборудования может быть механический (коррозионный) износ оборудования и трубопроводов, ошибки обслуживающего персонала, отказ приборов КИПиА, действие внешних факторов: авария на смежном блоке, террористический акт и другие факторы.

Проведен анализ аварийных ситуаций, условий их возникновения и развития в технологических блоках обращения гептила. Перечень основных факторов и возможных причин, способствующих возникновению и развитию аварийных ситуаций в блоках, приведен в табл. 2, а возможные сценарии возникновения и развития аварийных ситуаций в блоках обращения данного компонента топлива, в табл. 3.

На основании рассмотренных сценариев возможных аварийных ситуаций в блоках обращения гептила построено «дерево отказов» оборудования представлено на рис. 2.

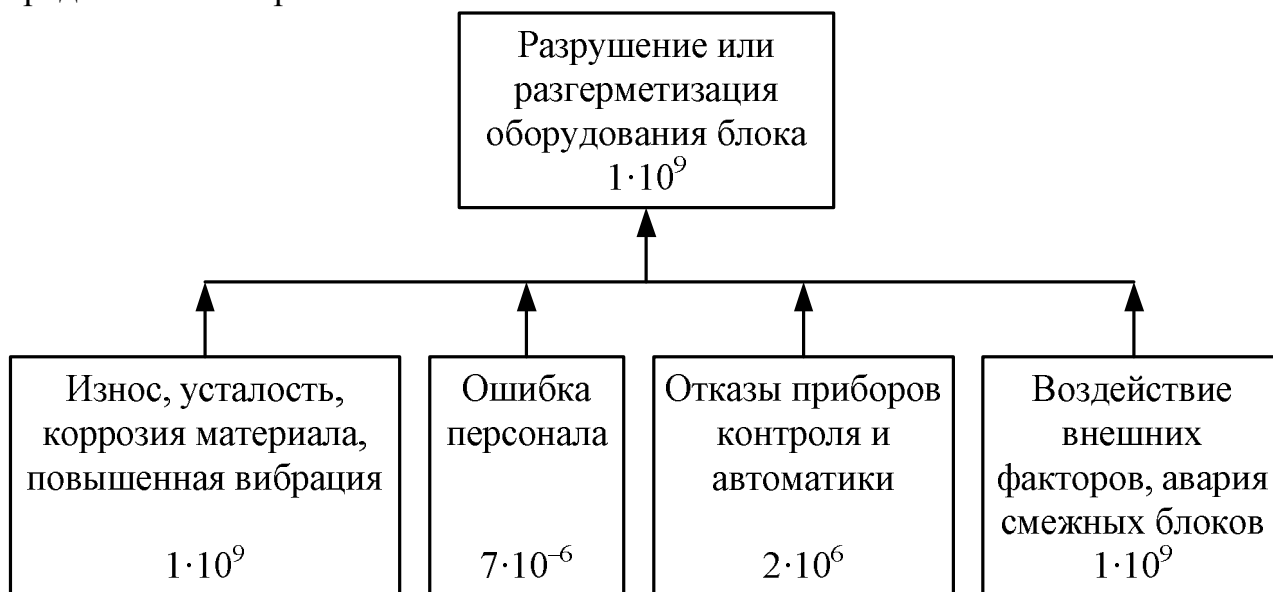


Рис. 2. «Дерево отказов» анализа причин аварийной ситуации и вероятности ее возникновения на оборудовании, содержащем гептил

Факторы, способствующие возникновению и развитию
аварийных ситуаций в блоках объекта

Наименование технологического блока	Факторы, способствующие возникновению и развитию аварийных ситуаций	Возможные причины аварийных ситуаций
Блоки Сосуды (90 м ³) для хранения гептила	1. Обращение в технологическом процессе большого количества гептила создает опасность выброса большого количества высоко токсичного взрывопожароопасного вещества при аварийной разгерметизации системы. 2. Емкостное оборудование является источником повышенной опасности из-за значительных объемов потенциально опасных веществ находящихся в них. 3. Наличие периодических процессов наполнения и опорожнения оборудования создает дополнительную опасность аварийной разгерметизации. 4. Высокая концентрация технологического оборудования на территории хранилища.	1. Ошибки персонала при ведении технологического процесса 2. Нарушение герметичности трубопроводов, отказы арматуры и разъемных соединений, разгерметизация аппарата из-за дефектов изготовления, переполнения, механических повреждений. 3. Отказы приборов контроля и автоматики (КИПиА). 4. Действие внешних факторов, природных сил и аварии смежных блоков.

Оценка вероятности реализации аварийных ситуаций и сценариев их дальнейшего развития в технологических блоках обращения данного компонента жидкого топлива показана на рис. 3.

Далее была проведена оценка количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов при реализации различных сценариев развития аварийной ситуации в блоках обращения гептила.

При оценке количества опасного вещества, участвующего в аварии и в создании поражающих факторов аварийной ситуации были сделаны следующие допущения:

– количество гептила, участвующего в аварии равно объему заполнения резервуара;

Краткое описание сценариев возможных аварийных ситуаций
в блоках обращения гептила

№ сценария	Описание сценария
C ₁	Износ, усталость материала, ошибки ремонтного и обслуживающего персонала, действие внешних факторов, природных сил, аварии смежных производств → разгерметизация (разрушение) оборудования → выброс гептила → нейтрализация пролива → ликвидация аварии без последствий
C ₂	Износ, усталость материала, ошибки ремонтного и обслуживающего персонала, действие внешних факторов, природных сил, аварии смежных производств → разгерметизация (разрушение) оборудования → выброс гептила → пожар в поддоне или на емкостях
C ₃	Износ, усталость материала, ошибки ремонтного и обслуживающего персонала, действие внешних факторов, природных сил, аварии смежных производств → разгерметизация (разрушение) оборудования → выброс гептила → образование токсичного взрывопожароопасного облака → токсическое поражение людей
C ₄	Износ, усталость материала, ошибки ремонтного и обслуживающего персонала, действие внешних факторов, природных сил, аварии смежных производств → разгерметизация (разрушение) оборудования → выброс гептила → образование токсичного взрывопожароопасного облака → воспламенение облака по модели «огненный шар»
C ₅	Износ, усталость материала, ошибки ремонтного и обслуживающего персонала, действие внешних факторов, природных сил → разгерметизация (разрушение) оборудования → выброс гептила → образование токсичного взрывопожароопасного облака → взрыв парогазового облака

– все содержимое блока после разгерметизации поступает в окружающую среду;

– при пожаре пролива все количество опасного вещества пролития участвует в образовании основного поражающего фактора – теплового излучения;

– происходит испарение гептила с образованием токсичного взрывопожароопасного облака;

Разрушение или разгерметизация оборудования, пролив гептила	Ликвидация пролива без последствий	0,40	Сценарий C1	Уровень A	Вероятность $P=7,6 \cdot 10^{-6}$
		Пожар пролива при наличии источника зажигания			
	Образование парогазового облака	0,10	Токсическое поражение людей, попавших под выброс или участвующих в ликвидации аварии	Сценарий C2	Уровень B Вероятность $P=1,9 \cdot 10^{-6}$
		0,50	0,20	Сценарий C3	Уровень B, B Вероятность $P=1,9 \cdot 10^{-6}$
			Воспламенение облака «огненный шар»	Сценарий C4	Уровень B Вероятность $P=9,5 \cdot 10^{-7}$
			0,10		
			Взрыв парогазового облака	Сценарий C5	Уровень B Вероятность $P=1,9 \cdot 10^{-6}$
			0,20		

Рис. 3. «Дерево событий» при аварийной ситуации в блоках обращения гептила

– парогазовая фаза и жидкая фаза от смежных блоков к разгерметизированному участку не поступают; экзотермические реакции не протекают, внешних теплоносителей нет;

– время от начала аварии – 1 ч.

Количество опасных веществ, участвующих в создании поражающих факторов при реализации различных сценариев развития аварийной ситуации приведено в табл. 4.

Количественную оценку взрывоопасности технологического блока обращения гептила провели по методике, приведенной в «Общих правилах взрывобезопасности» ПБ 09-540-03. Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Расчет глубины зоны заражения гептилом ведем по «Методике прогнозирования масштабов заражения АХОВ при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте» РД 52.04.253-90. Результаты расчета для одного сценария представлены на рис. 4.

Исходные данные для расчета:

1) Площадь пролива гептила ограничивается площадью поддона и может составлять 250 м².

2) Время от начала аварии – 1 ч.

Результаты расчета:

– глубина зоны заражения (пороговая токсодоза при ингаляционном воздействии) при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, инверсия, ветер 1 м/сек составляет 5 км;

– зона опасности острого отравления (концентрация гептила $\geq 20\text{ мг/м}^3$) составляет 3,24 км;

– зона опасности особо острого отравления (концентрация гептила $\geq 420\text{ мг/м}^3$) составляет 0,65 км.

Выводы

Основными опасностями рассмотренных опасных производственных объектов Испытательного комплекса ОАО КБХА являются:

1. Наличие значительного количества токсичных, пожаровзрывоопасных веществ (амил).

2. Возможность выброса токсичных, пожаровзрывоопасных продуктов при аварийной разгерметизации или разрушении оборудования.

3. Возможное токсическое поражение обслуживающего персонала испытательного комплекса, других организаций, а также населения близлежащих населенных пунктов при распространении токсичного облака по территории объекта и за его пределами.

Наиболее значимыми факторами, влияющими на показатели риска рассмотренных объектов, являются:

– выход параметров технологического процесса за критические значения (поступление давления в систему превышает возможность сброса давления из нее);

Таблица 4

Возможные поражающие факторы при реализации различных сценариев развития аварийных ситуаций в блоках обращения гептила

№ сценария	Результат развития аварийной ситуации	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества, т	
			участвующего в аварийной ситуации	участвующего в создании поражающих факторов
C ₁	Ликвидация аварии без последствий	-	60	60
C ₂	Пожар пролива	Тепловое излучение	60	60
C ₃	Токсическое поражение людей	Токсическое поражение	60	1,0
C ₄	Воспламенение облака «огненный шар»	Тепловое излучение	60	1,0
C ₅	Взрыв парогазового облака	Ударная волна	60	1,0

Таблица 5

Зоны действия наиболее опасных поражающих факторов при возникновении аварии в блоках обращения гептила

№ п/п	Параметр	Ед. изм.	Значение
1	Относительный энергетический потенциал		12,7
2	Приведенная масса вещества, участвующего во взрыве	кг	200
3	Радиусы зон разрушения (при взрыве эквивалентного количества ТНТ):		
	– полное разрушение здания (R ₁)	м	1,9
	– тяжелые разрушения, здание подлежит сносу (R ₂)	м	2,8
	– средние повреждения, возможно восстановление здания (R ₃)	м	4,7
	– разрушения оконных проемов, легкосбрас. конструкций (R ₄)	м	13,8
	– частичное разрушение остекления (R ₅)	м	27,6

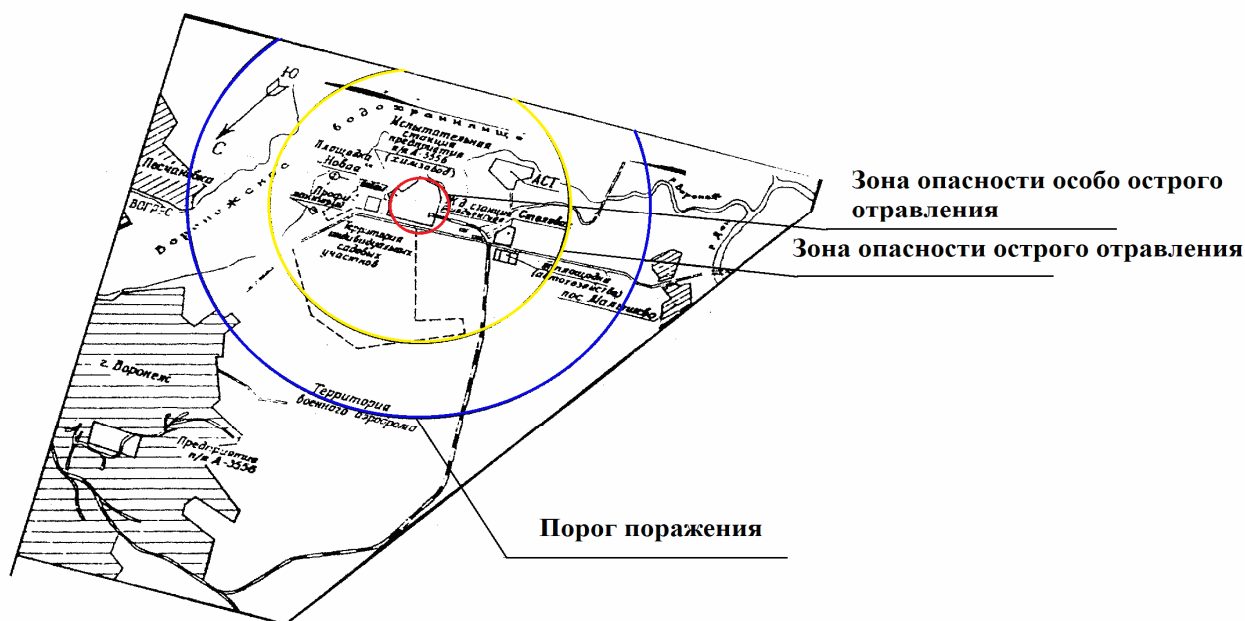


Рис. 4. Размер зон действия наиболее опасных поражающих факторов при возникновении аварии в блоках обращения гептила

- физический износ и механические повреждения оборудования и трубопроводов;
- отказ систем автоматики и противоаварийной защиты;
- ошибки обслуживающего персонала;
- воздействия внешних факторов.

Наиболее вероятной аварией будет пролив гептила и образование ядовитого облака, которое передвигается по направлению ветра. Это облако может попасть за пределы испытательного комплекса, при ингаляционном воздействии на человека может привести к отравлениям, а при больших концентрациях к смерти. Для прогноза масштабов заражения непосредственно после аварии должны браться конкретные данные о количестве выброшенного (разлившего) АХОВ и реальные метеоусловия.

Список литературы: 1. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А., Томаков В.И., Фалеев М.И. Надежность технических систем и техногенный риск. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 368 с. 2. Санер С. Химия ракетных топлив. – М.: Мир, 1969. – 489 с. 3. Большаков Г.Ф. Химия и технология компонентов жидких ракетных топлив. – Л.: Наука, 1983. – С. 162–165. 4. Другов Ю.С., Родин А.А. Мониторинг органических загрязнений природной среды. – СПб.: Наука, 2004. С. 700–706. 5. Вредные вещества в промышленности // Под общей ред. Н.В. Лазарева. – 4 изд., ч. 1. – Л., 1963. – 483 с. 6. ГОСТ Р 22.1.10-2002. Государственный стандарт РФ. Безопасность в ЧС. Мониторинг химически опасных объектов. Общие требования. – М.: Госстандарт России, 2002. – 8 с. 7. Методика прогнозирования масштабов заражения АХОВ при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. – РД 52.04.253-90. – 17 с.

О НАЛАДКЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

Коваленко В.И., Шичинов А.И.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./факс: +38 (062) 305 01 04; E-mail:tm@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: *In article the technique of use of ready software product «Software package Microsoft Office» for adjustment of the automated equipment with programmed control is resulted. The main advantage of application of video of rollers is their realness and detail in comparison with computer animation. At use of the given method the student can study more carefully all stages of adjustment that allows to understand and acquire better essence of adjustment of the boring machine with ЧПУ and by that to facilitate educational process.*

Key words: *The rig, metal-cutting, adjustment, a technique, animation.*

Применение современных методов разработок и использование готовых программных продуктов – вот цель рационального использования компьютеров. Не придумывать велосипед, а пользоваться им готовым – один из принципов экономики. При определенной подготовке каждый человек может составить программу, облегчающую жизнь не только себе, но и другим людям. Пакет программ Microsoft Office как нельзя более подходит для этих целей. Простота, удобство и наглядность получаемых продуктов, будь то электронные презентации PowerPoint или документы Word, таблица Excel или базы данных Access, приводят к тому, что компьютер все сильнее внедряется не только в бухгалтерии, но и помогает студентам в учебном процессе или инженерам на производстве.

В статье приведена методика использования готового программного продукта «Пакет программ Microsoft Office» для наладки автоматизированного оборудования с программным управлением. Главным достоинством применения видео роликов является их реалистичность и детальность по сравнению с компьютерной анимацией. Наладка автоматизированного оборудования с программным управлением является одним из ответственных этапов его эксплуатации. Качественно выполненная наладка приводит к повышению производительности труда и качества продукции, способствует долговечности оборудования.

Наладка – большой комплекс действий, направленных на подготовку как нового, так и находящегося в эксплуатации оборудования к работе и на поддержание его работоспособности.

Настройка – действия, присущие процессу подготовки находящегося в нормальном эксплуатационном состоянии оборудования к обработке заготовки. Таким образом, настройка станка на обработку заготовки есть часть

наладочных работ, а наладка, в свою очередь, есть одна из важных составных частей эксплуатации оборудования.

При использовании станков с ЧПУ в мелкосерийном производстве важно достичь выполнения настройки за короткое время.

Настройка станка на обработку включает в себя подготовку и установку режущего инструмента и технологической оснастки, размещение рабочих органов станка в исходном для работы положении, пробную обработку первой детали, внесение коррективов в положение инструментов и режимы обработки, исправление погрешностей и недочетов в управляющей программе.

Для подготовки видео роликов использовалась видеокамера, специальный переходник камера – компьютер, программа видео захвата, оцифровки картинок и видеоизображения

Подготовка графической части осуществлялась в программе Microsoft Paint, поставляемой с операционной системой Microsoft Windows. Также были использованы программы Adobe Photoshop с дополнениями (plugins) для обработки фотографии станка, Visual Basic for Microsoft Office для создания управляющих кнопок и ссылок.

Разработка структуры и алгоритма создаваемого пакета велась по принципу скрещивающегося ветвления, т.к. этот алгоритм наиболее точно отвечал поставленной задаче. Переход к блокам пакета осуществляется по схеме, представленной на рис. 1.

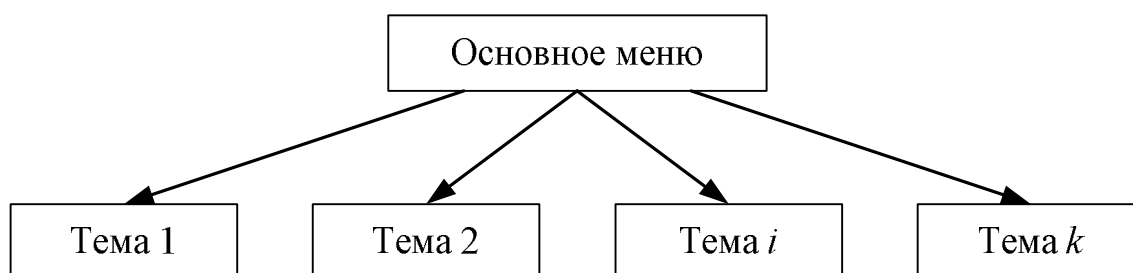


Рис. 1. Схема перехода к блокам пакета

Это позволило получить интуитивно понятный интерфейс и сделать пакет удобным даже для пользователя, не знакомого с компьютерной техникой. Поэтому этот пакет может быть использован не только специалистом или преподавателем, но и обычным студентом, что немаловажно в учебном процессе как для повторной проработки материала, так и для закрепления знаний о нем.

В любой части программы предусмотрен выход в основное меню или возврат на предыдущий слайд, что было реализовано посредством вставки управляющих кнопок в слайды.

Запустив вышеуказанный программный пакет пусковым файлом start.bat, вы знакомитесь с информацией о программе. Затем, попав в основное меню, благодаря простому интуитивному интерфейсу вы без труда можете изучить

краткое содержание предлагаемого вашему вниманию материала и, щелчком левой кнопки мыши, выбрав необходимый пункт меню, приступить к его непосредственному изучению. После чего, ознакомившись, вы можете либо снова вернуться в меню, либо продолжить изучение следующей темы. В пределах одной темы возможен повторный просмотр видео роликов нажатием левой кнопки мыши на соответствующем изображении, наглядно демонстрирующий происходящие процессы, описанные в текстовом сопровождении. Также вы можете перейти к следующему слайду данной темы. Посредством управляющих кнопок вы можете перейти к рисункам, иллюстрирующим соответствующие пункты.

Выводы.

Главным достоинством применения видео роликов является их реалистичность и детальность по сравнению с компьютерной анимацией.

При использовании данного метода студент может более тщательно изучить все этапы наладки, что позволяет лучше понять и усвоить сущность наладки сверлильного станка с ЧПУ и тем самым облегчить учебный процесс.

УДК 621. 039

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАБОЧЕЙ ШТАНГИ МАШИНЫ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ РЕАКТОРА ТИПА ВВЭР

Коробкин В.В., Захарченко А.Д.

Инженерно технологическая академия ЮФУ, г. Таганрог, Россия

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

Abstract: *In job dynamics of moving of a working bar of the overloading machine is considered at rebooting of nuclear power reactor. Dynamics of system on various sites of moving of a working bar is analyzed, where change both character of movement and modes of loading. The tension in a rope of system of moving is determined in view of dynamic factor.*

Key words: *nuclear fuel; the overloading machine; a working bar; transporting-technological operations; dynamics of movement of system; a D'alambert's principle; a tension of a rope; the strain gauge.*

Задача оптимизации последовательности операций по перестановке тепловыделяющих сборок (ТВС) при перезагрузке ядерного энергетического реактора типа ВВЭР-1000 состоит в том, чтобы минимизировать время замены ядерного топлива и, соответственно, сократить простой энергоблока АЭС.

Чтобы выгрузить ТВС из ячейки выемной корзины реактора, перегрузочная машина должна, находясь над ней, опустить захват, выполнить

зацепление, поднять захват с ТВС, перенести её в бассейн выдержки, опустить, произвести расцепление и поднять захват.

На рис. 1 приведена схема машины перегрузочной (МП), которая представляет собой сложный робототехнический комплекс, включающий:

- мост, металлоконструкцию, привод передвижения, ходовую часть и площадку обслуживания;
- тележку, металлоконструкцию, привод передвижения, ходовую часть, привод поворота штанги рабочей, привод поворота штанги телевизионной, привод подрыва и площадки обслуживания;
- штанги рабочей (ШР) с захватом ТВС и захватом ПС СУЗ;
- блока приводов штанги рабочей;
- другое оборудование.

Машина перегрузочная перемещается по рельсовому пути, расположенному в центральном зале гермооболочки РО. Конструкция моста и тележки МП, а также, механизмов передвижения моста и тележки, выполнена по аналогии с мостовыми МПми.

Мост с приводом передвижения обеспечивает перемещение РШ и ТШ МП в направлении продольной оси бассейна выдержки (БВ) в пределах зоны обслуживания. Тележка с приводом передвижения обеспечивает перемещение РШ и ТШ в поперечном направлении БВ.

Мост и тележка обеспечивают наведение оси РШ на заданную координату (ось ТВС) с погрешностью ± 1 мм при скоростях перемещения моста 0,6–21,0 м/мин и рабочем ходе 5770 мм.

РШ обеспечивает возможность перемещения ТВС и ПС СУЗ в вертикальном направлении со скоростью 0,6...12,5 м/мин, погрешностью выхода на заданную вертикальную координату ± 2 мм при рабочем ходе 11051 мм. РШ может поворачиваться вокруг своей оси на угол 45 градусов.

РШ состоит из трех секций трубчатого сечения – секции наружной, секции средней и секции первой. Наружная секция является корпусом рабочей штанги, средняя является направлением для первой секции и чехлом, предохраняющим ТВС от повреждений при её транспортировке. Первая секция является захватной частью РШ.

Управление машиной перегрузочной осуществляется от управляющей системы (УСМП), расположенной в специальном помещении обстройки реакторного отделения.

Выполнение транспортно-технологических операций с ядерным топливом производится в автоматизированном режиме управления под контролем оператора МП или в пооперационном режиме для выполнения отдельных операций и циклов при непосредственном участии оператора.

Перемещение весомой рабочей штанги на разных участках её движения происходит либо с ускорением (разгон), либо с замедлением (торможение), поэтому этот процесс представляет интерес с точки зрения динамики движения системы.

Общее устройство рабочей штанги

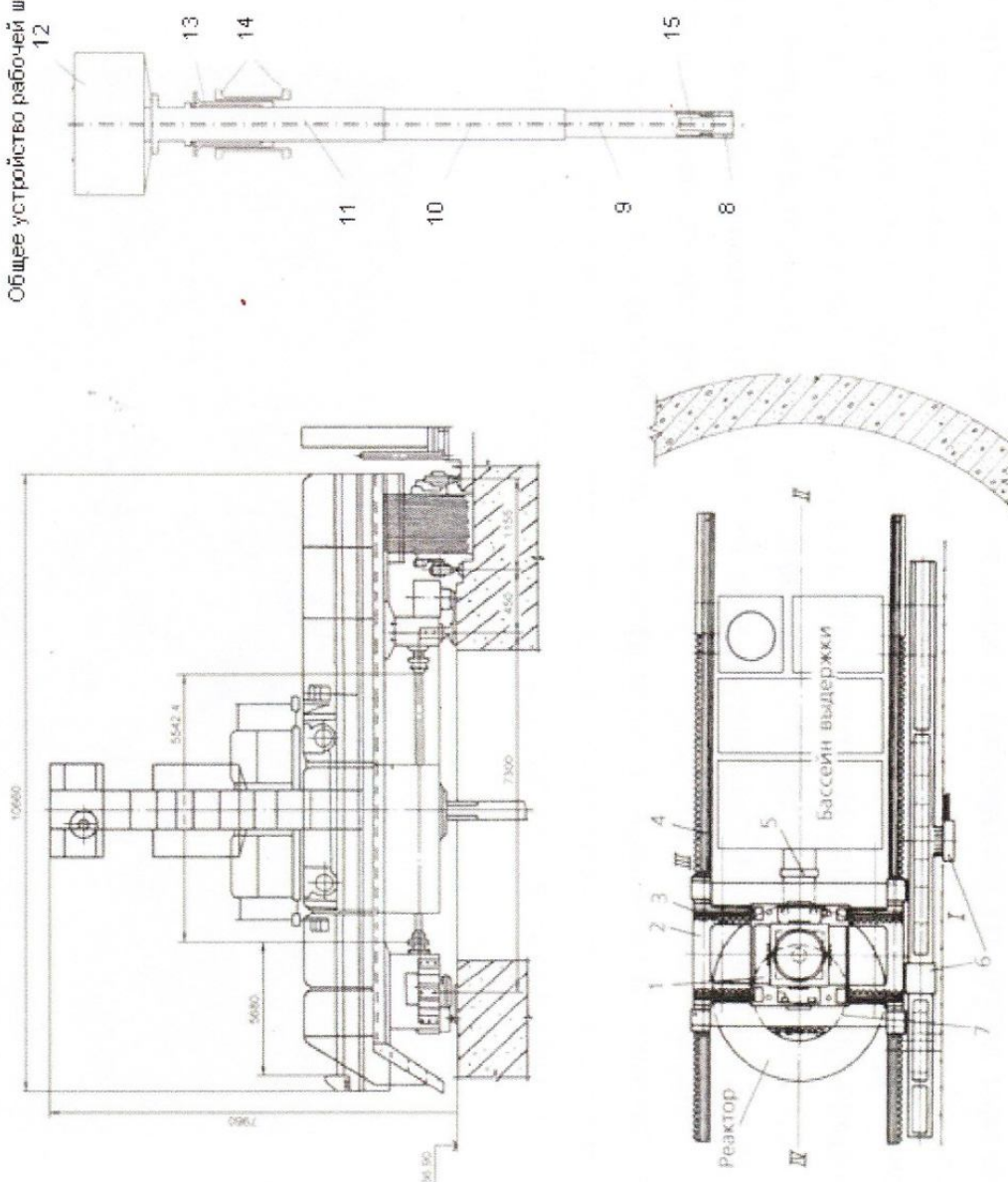


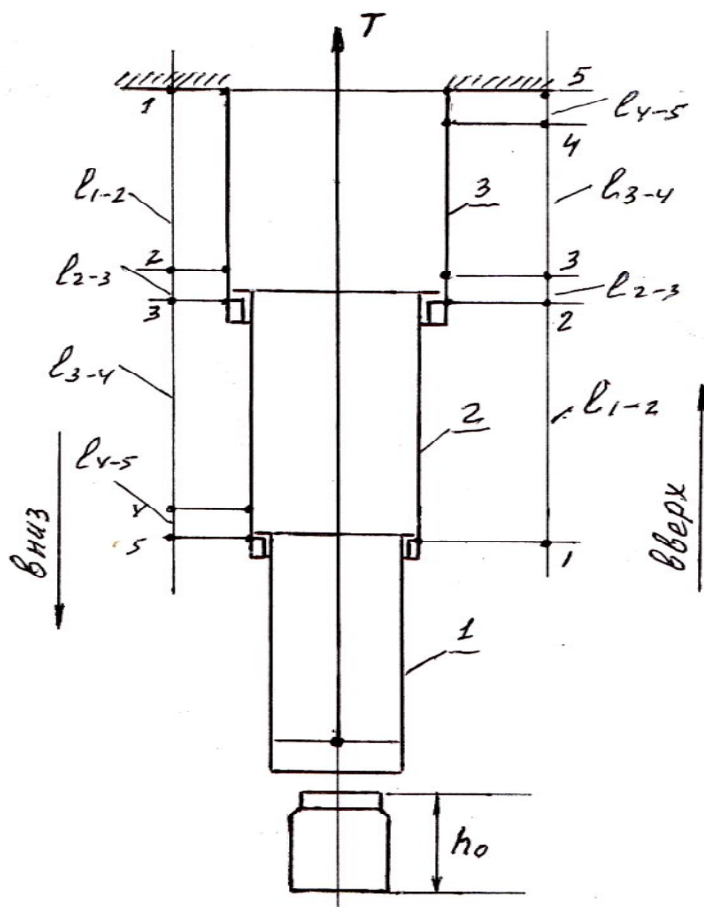
Рис.1. Перегрузочная машина МПС-1000: 1 – тележка; 2 – мост; 3 – зубчатый рельс тележки; 4 – – зубчатый рельс моста; 5 – гидрозатвор транспортного проема; 6 – электрооборудование; 7 – зона действия РШ в реакторе; 8 – наконечник; 9 – первая секция; 10 – средняя секция; 11 – наружная секция; 12 привод подъема винтового захвата и захвата кластера; 13 – несущая труба тележки; 14 – тележка; 15 – захват ТВС

Для определения натяжения каната T с учетом динамики движения системы воспользуемся принципом Даламбера из курса теоретической механики. Согласно этому принципу, геометрическая сумма внешних сил, действующих на механическую систему, сил реакции и сил инерции должна быть равна нулю, т.е.

$$\sum \overline{P}_i + \sum \overline{R}_i + \sum \overline{F}_{uni} = 0.$$

В качестве внешних сил в данной задаче выступают силы тяжести цилиндров G_1 , G_2 , G_3 и вес G_0 груза ТВС. Реакцией связи является искомое натяжение каната T . Сила инерции движущегося с ускорением тела массой m определяется по формуле

Знак « $\leftarrow$ » говорит о том, сила инерции направлена в данном случае в сторону, противоположную направлению ускорения.



Все эти варианты перемещения системы и результаты расчета натяжения каната приведены в таблице.

Вариант перемещения	ускорение	замедление	ускорение	замедление
	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5
А вниз без груза	$G=G_1+G_2$	$G=G_1+G_2$	$G=G_1$	$G=G_1$
	$K_2=1-\frac{a}{g}$	$K_1=1+\frac{a}{g}$	$K_2=1-\frac{a}{g}$	$K_1=1+\frac{a}{g}$
В вверх с грузом	$G=G_0+G_1$	$G=G_0+G_1$	$G=G_0+G_1+G_2$	$G=G_0+G_1+G_2$
	$K_1=1+\frac{a}{g}$	$K_2=1-\frac{a}{g}$	$K_1=1+\frac{a}{g}$	$K_2=1-\frac{a}{g}$
С вниз с грузом	$G=G_0+G_1+G_2$	$G=G_0+G_1+G_2$	$G=G_0+G_1$	$G=G_0+G_1$
	$K_2=1-\frac{a}{g}$	$K_1=1+\frac{a}{g}$	$K_2=1-\frac{a}{g}$	$K_1=1+\frac{a}{g}$
D вверх без груза	$G=G_1$	$G=G_1$	$G=G_1+G_2$	$G=G_1+G_2$
	$K_1=1+\frac{a}{g}$	$K_2=1-\frac{a}{g}$	$K_1=1+\frac{a}{g}$	$K_2=1-\frac{a}{g}$

В общем случае натяжение каната можно выразить формулой

$$T_i = K_{1,2} \cdot G_i,$$

где $K_{1,2}$ – коэффициент, учитывающий характер движения на участке (ускорение или замедление).

Например, для варианта А (вниз без груза) на участке (1-2) расчетная формула будет иметь вид

$$T = K_2 \cdot (G_1 + G_2) = \left(1 - \frac{a}{g}\right) \cdot (G_1 + G_2).$$

Полученное значение натяжение каната необходимо для определения усилия давления каната на ролик силоизмерительного тензодатчика типа 7935/2К, который преобразует механическое динамическое силовое воздействие в электрический сигнал, пропорциональный этим воздействиям.

Причем усилие давления каната на ролик зависит от кинематической схемы взаимодействия каната с роликом тензодатчика.

Далее электрический сигнал передается в систему автоматизированного режима управления транспортно-технологическими операциями с ядерным топливом с целью оптимизации этих операций.

Список литературы: 1. Коробкин В.В., Сесекин А.Н., Таишыков О.Л., Ченцов А.Г. Методы маршрутизации и их приложения в задачах повышения эффективности и безопасности эксплуатации атомных станций / Под общ.ред. член-корр. РАН И.А. Каляева. – М.: Новые технологии, 2012. – 234 с. 2. Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики. – СПб.: Издательство «Лань», 1998. – 768 с.

УДК 621. 923

СПОСОБ СБОРКИ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ЗАЗОРОМ

Кульбида О.О., Ищенко А.Л.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./Факс: +38 (062) 3010804; E-mail: olga_kulbida@mail.ru

Abstract: *The results of investigating the possibility of smooth cylindrical assembly joints using vibration applied along the axis of the assembly. The proposed method differs in the absence of forced orientation collected items, the application of oscillations to the base member only, the lack of power chambering items in connection with the possibility of assembling parts to form the various parts of the lead-in.*

Key words: *connection, assembly, vibration, experiment, method gap*

Современный уровень развития машиностроения предполагает уменьшение количества ручного труда и увеличение количества автоматизированных производственных процессов. 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 %. Это остро ставит задачу создания автоматических сборочных систем обладающих достаточной гибкостью при переходе на другую номенклатуру собираемых изделий и обладающих высокой производительностью для уменьшения себестоимости изделия. Поэтому представляет интерес обеспечение возможности использования одного оборудования для деталей с различной геометрией собираемых соединений.

Для решения этой задачи был предложен способа сборки различных соединений по одной кинематической схеме, которую можно реализовать в одном сборочном автомате [1].

Анализ существующих схем сборки [2–4] показал, что распространенным и достаточно универсальным способом является сборка с использованием вибраций. Наиболее распространенной схемой является схема с приложением

вибраций поперек оси сборки к базовой и к собираемой деталям, с использованием средств адаптации и принудительным досыланием собираемой детали в соединение. Подобные схемы без сомнения обладают рядом преимуществ – возможность сборки при значительных углах перекоса осей деталей в начальном положении, сборка соединений с различной величиной зазора, сборка профильных соединений и др. Недостатками рассмотренных способов являются необходимость обеспечения принудительного движения автопоиска собираемой детали, приложения вибраций к обеим деталям, использование устройств адаптации и силового досылания собираемой детали.

По результатам анализа существующих схем сборки и рассмотренных ранее кинематических схемам была предложена схема сборки – к базовой детали прикладывают вибрации вдоль оси сборки, принудительного движения автопоиска у собираемой детали нет, совмещение осей деталей происходит за счет самоустанавливания детали под действием вибраций (рис. 1, 2).

Для реализации процесса сборки была сконструирована и изготовлена экспериментальная установка. Принцип действия установки отображен на рис. 1: сборка происходит под действием вибраций, которые прикладываются толкателем 6 к упругому элементу – столу малой толщины 1, на котором зафиксирована от сдвигов на опоре 2 базовая деталь «втулка» 4. Через жестко закрепленную направляющую втулку 3 в зону сборки подается собираемая деталь «ось» 5.

В изготовленной установке описанный принцип сборки реализовывался за счет того, что базовая деталь «втулка» устанавливалась на стол малой толщины, который выполнял функцию упругого элемента, стол фиксировался

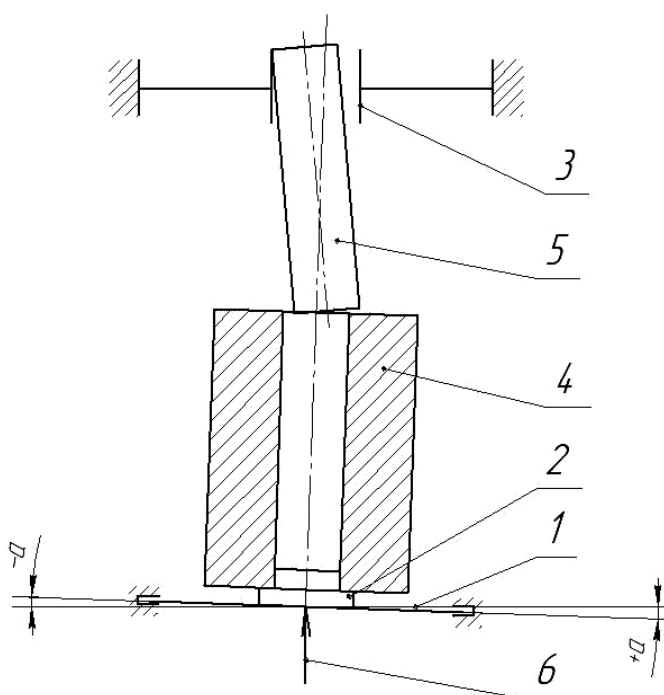


Рис. 1. Принцип действия экспериментальной установки



Рис. 2. Экспериментальная установка (зона сборки)

на направляющих без дополнительной ориентации относительно горизонтали. Вибрации прикладывались к столу толкателем, который соединен с двигателем постоянного тока. Частота ударов толкателя была принята 24 Гц.

Наблюдаемый процесс сборки являлся сложным и включал в себя два этапа:

1) этап ориентации, когда собираемая деталь «вал» совершает движения автопоиска относительно отверстия в базовой детали «втулка» до совмещения осей;

2) этап совмещения деталей.

При проведении исследований во время первого этапа наблюдались явления подбрасывания вала на торце втулки при форме конца вала «без заходной части» и «заходная часть – фаска» и явления качения конца вала по торцу втулки при форме конца вала «заходная часть – галтель», после этого скольжение вала по фаске отверстия втулки. Во время второго этапа происходило падение вала вдоль оси отверстия втулки, время которого изменялась в зависимости от зазора в соединении.

В общем, движения при сборке по данной схеме отвечают следующей последовательности:

– после удара обе детали подбрасывают на столе, во время движения ось доворачивается, принимая вертикальное положение, после приземления она проскальзывает по наклонной поверхности торца втулки. Проскальзывание длится до следующего удара толкателя, после этого цикл движений повторяется.

– после достижения осью заходной фаски втулки, ось скользит по ней и после попадания в отверстие падает под действием собственного веса вдоль отверстия вниз на глубину, равную разности глубины отверстия и высоты фиксирующей опоры.

Анализ полученных результатов дает следующие выводы:

1. При отрицательном значении угла α наклона оси вала относительно оси сборки время сборки имеет наименьшие значения.

2. При положительном значении угла α , близком к нулю, в процессе сборки происходит быстрая ориентация оси вала относительно вертикали, угол приобретает значение $\alpha=0$ и процесс сборки либо не происходит, либо затягивается.

3. Большее значение имеет величина заходной фаски втулки, чем геометрия конца вала. При величине заходной фаски $1,6 \times 45^\circ$ сборка происходит быстрее.

4. Не прослеживается зависимость между временем сборки и величиной смещения оси вала вдоль горизонтальной оси или изменением угла наклона оси вала относительно оси сборки (при положительных значениях α). Это говорит о том, что нет необходимости в точной ориентации оси вала относительно оси сборки, что позволяет исключить переход по ориентации вала из технологической операции сборки, сократив таким образом операционное время сборки и дает возможность упростить сборочное оборудование.

Список литературы: 1. Патент на корисну модель № UA (11) 79689 U. Спосіб складання деталей типу вал-втулка / Кульбида О.О., Фенік Л.М., Іщенко О.Л., Михайлов О.М.; заявитель и патентообладатель: Державний вищий навчальний заклад «ДонНТУ». – опубл. 25.04.2013. Бюл. № 8. 2. Бакена Мбуа Жан Кристиан. Совершенствование технологии роботизированной сборки профильных соединений с зазором на основе средств адаптации: автореф. дис. ... канд. тех. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / Бакена Мбуа Жан Кристиан. – Москва, 2011. – 24 с. 3. Воркуев Д.С. Повышение производительности и качества сборки изделий с групповыми резьбовыми соединениями на основе разработки технологической оснастки с пассивной адаптацией: : автореф. дис. ... док. тех. наук: спец. 05.02.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / Д.С. Воркуев. – Рыбинск, 2012. – 32 с. 4. Кольчугин Е.И. Повышение эффективности роботизированной сборки цилиндрических соединений с зазором на основе применения пассивной адаптации и низкочастотных колебаний : автореф. дис. ... канд. тех. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения», спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в машиностроении)» / Е.И. Кольчугин. – Москва, 2011. – 24 с.

УДК 658.562

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ МОДЕЛИ ИСМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Мартынюк Е.С.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел. +38 (062) 3010892; E-mail: elenam-09@mail.ru

Abstract: *The article deals with the concept of an improved model of the ISM industrial enterprises, and developing methods to assess the IMS based on international standards, which includes process and system approaches, and is based on the concept of EFQM.*

Key words: *integrated management system, effectiveness, international standards, model of business excellence EFQM, criterion, rating scale.*

Постановка проблемы. В настоящее время в Украине нет единой методики по определению эффективности и результативности интегрированной системы менеджмента предприятия (ИСМ). Каждое предприятие создаёт свои методики по оценке функционирования ИСМ, поэтому необходимо разработать общую методику по оценке системы менеджмента.

Выделение нерешенных ранее частей проблемы. В настоящее время достаточно много публикаций посвящено проблемам функционирования ИСМ на предприятиях, однако вопросы по оценке эффективности ИСМ на отечественных предприятиях мало описаны в литературе.

Цель статьи. Разработка методики по оценке ИСМ промышленного предприятия.

Основной материал. Функционирование модели и её результативность и эффективность на предприятии может быть определено интегрированным показателем всех критериев модели, при этом полученные значения критериев должны быть установлены экспертным путем. Интегрированный показатель ИСМ – $Q_{ИСМпредпр.}$ определяется по формуле:

$$Q_{ИСМпредпр.} = \sum_{i=1} (Q_i \cdot G_i) \cdot \sum P_i, \quad (1)$$

где Q_i – критерий модели ИСМ; G_i – вес каждого критерия; P_i – степень необходимости (значимости) международных стандартов ИСМ (9001, 14001, 18001, 26000, 27001).

В работе рассматривается модель ИСМ, которая основывается на модели делового совершенства EFQM, поэтому было проведено сравнение критериев блока «Возможности» и критериев блока «Результаты» с пунктами международных стандартов.

С помощью экспертного метода определим значимость каждого критерия модели ИСМ.

По формуле (2) определены весовые коэффициенты для 9 критериев:

$$P_i = \frac{2(n - i + 1)}{n(n + 1)}. \quad (2)$$

Данные для оценки согласованности представлены в табл. 1.

Коэффициент конкордации составляет $W=0,88$ (согласованность высокая).

На основании полученных данных по формуле (1) определим интегрированный показатель $Q_{ИСМ}$ предпр.

Таким образом, рассчитанный интегрированный показатель ИСМ предприятия – результативности ИСМ, можно сравнить со шкалой (табл. 2), которая имеет содержательную интерпретацию оценки результативности ИСМ предприятия.

Выводы. Таким образом, с помощью проведённых расчётов определён интегрированный показатель ИСМ предприятия – результативности ИСМ, которая основывается на модели делового совершенства EFQM и международных стандартах.

Таблица 1

Данные для оценки согласованности

Критерии модели ИСМ	Оценка экспертов					Σ рангов	Отклонение от среднего	Квадрат отклонения
	1	2	3	4	5			
1. Ответственность высшего руководства	9	7,5	8	7,5	8	40	15	225
2. Политика, цели, задачи	8	9	9	9	9	44	19	361
3. Персонал	6	5,5	5,5	5,5	7	29,5	4,5	20,25
4. Ресурсы	7	5,5	7	5,5	5,5	30,5	5,5	30,25
5. Процесс производства продукции	1	2	3,5	3,5	2	12	-13	169
6. Удовлетворенность потребителя	2	4	1	1	1	9	-16	256
7. Удовлетворенность персонала	4	3	3,5	2	4	16,5	-8,5	72,25
8. Воздействие на окружающую среду	4	1	2	3,5	3	13,5	-11,5	132,25
9. Результаты деятельности организации	4	7,5	5,5	7,5	5,5	30	5	25
						Средн. знач. =25		S=1291

Таблица 2

Шкала оценки результативности ИСМ предприятия [1–4]

Баллы	Оценка	Характеристика оценки
1	2	3
1–0,9	Эталон	Деятельность ведётся максимально результативно. Поставленные цели, задачи достигнуты и выполнены в полном объеме.
0,8–0,7	Хорошо – постоянное улучшение	Процессы ИСМ на предприятии функционируют результативно и эффективно, качество менеджмента постоянно совершенствуется. Применяются инновационные технологии, методологии, стратегии менеджмента (бенчмаркинг, сбалансированная система показателей, SWOT-анализ и др.), однако, необходимо проведение незначительных корректирующих действий в проблемных местах.

1	2	3
0,6–0,5	Удовлетворительно	Средний уровень результативности ИСМ. Процессы функционируют постоянно, но с незначительными несоответствиями. Необходимо акцентировать внимание на бизнес-процессах предприятия, улучшение качества на каждом этапе.
0,4–0,3	Формальный подход	Низкий уровень функционирования ИСМ. Рассматриваются, анализируются только результаты деятельности, нет предупреждающих действий, информация не обрабатывается. Устраняются только существующие проблемы. Необходимо проведение корректирующих действий, анализа с использованием статистических методов, проведение внутренних аудитов.
0,2–0	Неприемлемо	ИСМ не функционирует, не обеспечивает выполнение поставленных задач, целей. Нет процессного и системного подхода, вследствие чего отсутствуют какие-либо результаты. Необходимо полностью пересмотреть систему и разработать её заново.

Список литературы: 1. Ямная Д.А., Станкевич М.В. Методика оценки результативности процессов систем менеджмента качества // Вестник БНТУ. – 2010. – № 5. – С. 83–85. 2. Куликовский С.А. Оценка результативности системы менеджмента качества в Белорусском государственном технологическом университете // Труды БГТУ. – 2012. – № 8. – С. 17–22. 3. Овчаренко А.Г., Ердакова В.П. К оценке эффективности системы менеджмента качества образования ВУЗа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.altstu.ru/elib/disser/conferenc/2010/01/pdf/015ovcharenko.pdf> 4. Мирошниченко Е.В. Механизм усовершенствования системы управления качеством предприятия: автореф... канд. экон. наук: 08.00.04. – Д.: 2013. – 21с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ УКРАИНЫ

Масюк Л.Н., Гаркавый Е.Я., Скибенко Г.Г.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел. +38 (066) 9018213; E-mail: galina_skibenko@mail.ru

Abstract: *In this article you can see overview about the fuel and energy industry of Ukraine, shows the prospects for further development of the alternative energy for stabilization energy supply and energy independence of Ukraine. And not the last role in the development of these sources is intellectual property.*

Key words: *Alternate sources of energy, the fuel and energy industry, solar energy, wind stations, nonconventional power sources.*

Для Украины проблема энергосбережения всегда стояла на одном из первых мест из-за нехватки естественных источников энергии. Особенно она обострилась в последнее время. Весь цивилизованный мир идет по пути энергосбережения. Мы же очень медленно внедряем энергосберегающие технологии и сильно отстаем от развитых стран, что сказывается на экономике Украины. Актуальной проблемой для нашей страны является и развитие альтернативных видов источников энергии. Программой развития ООН предусматривается увеличение доли альтернативных и возобновляемых источников энергии до 27–54 % к 2050 г. в мировом балансе потребления топливно-энергетических ресурсов. Для уменьшения нагрузки на экологию одной из первоочередных задач является переход на так называемое биотопливо, основой которого является этанол, получаемый из сырья растительного происхождения. Лучшие показатели здесь в странах Евросоюза, особенно скандинавских: Швеции, Финляндии, а также Исландии, Латвии, Германии, Австрии, Португалии. В ЕС была поставлена задача – к 2020 году достичь доли используемых на транспорте возобновляемых энергоресурсов до 10 %.

По многим направлениям Украина хоть и отстает от развитых стран, но также имеет собственные наработки. Так по национальному Закону о производстве и использовании моторных топлив с содержанием биокomпонентов его применение к 2014 году в общем объеме должно составлять 7 %. В деле использования биотоплива Донбасс опережает многие европейские страны. Так, компания «Агронафта» производит до 2,5 тыс. тонн в месяц бензина с октановым числом 92 и 95, а также дизельное топливо. Указанная продукция сертифицирована по европейским стандартам. При этом экономический выигрыш получают не только агропромышленный комплекс, но и экономика в целом. По мнению специалистов, добавка 5 % биоэтанола в

бензин приносит прибыль не менее 375 миллионов долларов в год. Еще изобретатель двигателя Рудольф Дизель заправлял мотор арахисовым маслом, который при этом прекрасно работал.

Для развития экономики Украины и для ее устойчивого роста необходимо в первую очередь решить проблему энергоэффективности. На это направлен Указ Президента № 895/2010, 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, где были признаны 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. Их недовыполнение ощутимо влияет на экономику Украины в целом, особенно из-за цены российского газа. Сегодня остро стоит вопрос: как уменьшить газовую зависимость? Частичным решением этой проблемы являются определенные успехи Донецкой области по осуществлению программ реформирования ЖКХ в тепловой энергетике, где за последние годы наблюдается уменьшение потребления газа на 17 %. Также в Донбассе прорабатывается идея использования водоугольного топлива, по характеристикам напоминающего мазут, но в четыре раза дешевле его и в три раза дешевле газа. Применение такого топлива в 3–4 раза также снижает уровень загрязненности воздушных выбросов, что обусловило его применение в США и Финляндии.

Неиссякаемым источником энергии на многие годы вперед является энергия Солнца, которое в Украине и Германии светит приблизительно одинаково, но в Германии используется солнечной энергии намного больше, чем в Украине. 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 %.

У Украины имеется 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 и в районе Карпат.

На территории Донбасса действует крупнейшая ветростанция в Украине – Новоазовская ВЭС в районе села Безыменного, которая была введена в эксплуатацию в 1998 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. Так, заложена еще одна ВЭС под Краматорском, а согласно «Программе энергоэффективности Донецкой области до 2015 года» было запланировано развивать нетрадиционные источники энергии и уменьшить энергоемкость выпускаемой промышленной продукции на 20 %. Помимо дороговизны этого вида энергии ее выработка отличается нестабильностью, так как донецкому климату наряду с сильными ветрами присущи продолжительные периоды полного штиля, при котором ветроагрегаты не вырабатывают энергию. В конечном итоге страдает экономика то ли промышленности, то ли сельского хозяйства. Для устранения этой причины наиболее перспективным является получение ветровой энергии с помощью безопасных ветрогенераторов, который имеет низкий уровень шума благодаря отсутствию вращающихся лопастей. Внешне он похож на спутниковую тарелку, экран которой при порывах ветра совершает возвратно-поступательное движение, создавая давление в гидравлической системе. При этом можно накапливать энергию в гидроаккумуляторах или сразу преобразовывать в электрическую. Эффективность таких ветрогенераторов достигает 80 % (традиционных около 30 %), а расчетная стоимость ниже на 45 %. По словам представителей компании, стоимость одного кВт·ч составит 1–2 цента, что сопоставимо со стоимостью энергии, вырабатываемой газовыми и гидроэлектростанциями.

Отдаленной перспективой для развития Донбасса 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, так как каменный уголь – наиболее широко используемое и «грязное» ископаемое топливо в мире. 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 грибов больше напоминает фантастику. Но следующее научное внедрение всем известно. Речь идет об использовании

атомной энергии, от открытия радиоактивности до построения атомных станций. На сегодня этот путь для Украины неприемлем, так как, к примеру, по нынешним ценам строительство двух блоков Белорусской АЭС обойдется более чем в 6 млрд. долларов. И несмотря на то, что разведанные запасы урановой руды в Украине имеются в количестве 131 тыс. тонн, необходимо еще получить обогащенный уран и иметь тепловыделяющие элементы – ТВЭЛы, которые Украина получает из России. 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 помимо высокой себестоимости украинского угля. 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. В конечном итоге, какие объемы газа экономятся на сегодня за счет альтернативных источников топлива, достоверно не известно ни в Минтопэнерго Украины, ни в Национальном агентстве по вопросам обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов. Ряд стран, где имеются большие запасы ископаемых углей, переходят на получение синтетического жидкого топлива (СЖТ). Для его производства в 70-е годы в США был построен ряд пилотных заводов. Проблема эта вновь стала актуальной и подобные заводы действуют и в Китае, и в ЮАР, а в Австралии, Индии, Индонезии, Монголии и Малайзии планируется их строительство. Сейчас в мире производится более 30 млн. тонн СЖТ в год, где основным сырьем является газ. В Украине в 2013 году было принято решение о строительстве четырех крупных заводов по газификации угля и в перспективе получения из него СЖТ. Расчетная мощность четырех заводов – переработка до 20 млн. тонн в год. Для производства одной тонны СЖТ из угля последнего требуется от 3 до 5 тонн. Строительство одного завода обойдется примерно в 2 миллиарда долларов. Огромные затраты потребуются на охрану окружающей среды, так как производство СЖТ требует большого количества воды, которая в дефиците. Немалый вопрос в том, как поступать с отработанной водой, которой будет много. Такая же проблема с выбросами в атмосферу. В итоге производство СЖТ (уже на стадии проектирования) оказывается очень дорогостоящим мероприятием. Но постоянно растущие цены на нефть и природный газ делают это производство рентабельным.

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. В Волновахском районе генератор отапливает дома и здания, используя в качестве топлива три тонны соломы в сутки, что заменяет более тысячи кубометров природного газа. В недалеком прошлом эта «соломенная» тема была просчитана советником по топливным вопросам для всего урожая зерна, 45 млн. т которого дает столько же тонн соломы. 90 % соломы можно использовать в качестве 10 млрд. кубометров газа. Вот только отработка технологии использования подобных отходов сельскохозяйственного производства – проблема не одного года. Сегодня стратегия энергетического сектора Украины предусматривает существенное увеличение доли угля в ресурсном обеспечении отечественной экономики, чтобы избежать зависимости от импортных нефти и газа. Это уже делают в Европе (например, в Варшаве), переводя котельные на уголь, который в 2–3 раза дешевле газа.

В последнее время мощное развитие получает водородная энергетика. 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. Электростанция была построена в рамках проекта Hydrogen Park, который предусматривает проведение исследований в сфере водородной энергетики, для чего запланировано инвестировать 7,4 млрд. евро. В Донбассе видят путь к водородной энергетике через газификацию угля. Все ведущие автокомпании начали выпускать автомобили на водородном топливе, полученном из воды. Связано это с бурным ростом числа автомашин, выхлопы которых сильно загрязняют воздух в городах, где, по подсчетам экологов, на них приходится более 30 % вредных выбросов в атмосферу. Водород – один из наиболее распространенных элементов во Вселенной. Добывать его традиционным электролизом приходится с большими энергетическими затратами, а поэтому использовать в качестве топлива нерентабельно. В 60-е годы специалистам из НАСА удалось столь успешно осуществить процесс электролиза воды и столь эффективно собирать высвобождавшийся водород, что получаемый таким образом водород использовался во время полетов по программе «Аполлон». К 2015 году Германия намерена стать первой в мире страной, в любую точку которой можно будет попасть на автомобиле с водородным двигателем. Инвестиции составят десятки миллионов евро. Главная проблема здесь в цене самих автомобилей, которая приближается к 100 тысячам долларов. Через пару лет по прогнозам специалистов себестоимость машины с водородным двигателем может опуститься ниже 50 тысяч долларов. В общей сложности в мире сейчас около 100 водородных заправок. Помимо Германии в этом направлении активно продвигаются Япония и Корея. Исландия планирует до 2050 г. перевести весь автотранспорт и суда на водород.

Уменьшить стоимостный бензиновый пресс для Украины 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.

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. Для Украины, по подсчетам ученых, переработка биомассы с 10 млн. га позволит полностью снять проблему импорта нефтепродуктов, что составляет 80 % ежегодного потребления. В среднем Украина потребляет около 5 млн. тонн бензина и 6 млн. тонн дизельного топлива. Помимо биотоплива в Украине есть наработки получения бензина из химических отходов, в частности использованной полиэтиленовой тары, после переработки которой с одной тонны получают около 700 л бензина. Япония уже построила несколько заводов по данной технологии, а у Украины дальше наработки дело не пошло.

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. С помощью этих устройств тепло извлекается из земных недр и используется, в частности, для отопления помещений. Типичный тепловой насос на 1 кВт затрачиваемой электроэнергии выдает 3–4 кВт тепловой энергии. Швеция на 50 % обеспечивает потребности в отоплении, применяя тепловые насосы 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 Украине они пока очень слабо применяются. Например, разработан проект, который позволяет использовать тепло терриконов для выработки альтернативной электроэнергии с помощью тепловых насосов.

Для Украины очень важно уменьшить энергопотребление в секторе ЖКХ. По мнению специалистов, если бы Украина по эффективности потребления энергии приблизилась к европейскому уровню, то можно сэкономить около 34 млрд. кубометров природного газа. Для уменьшения потребления в секторе ЖКХ швейцарские специалисты из Высшей технической школы в Цюрихе разработали материал, который обеспечит охлаждение зданий без использования энергии. Плиты из такого материала рекомендуется устанавливать на крыше. Во время дождя они будут впитывать влагу, а на солнце испарять ее, тем самым избавляясь от лишнего тепла. Обнадеживающим фактом является подписание в Донецке соглашения об инвестиции в Украину Северной экологическо-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 между Донецким советом и 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.

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. В США на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки выделяется одна треть средств из бюджета, а две трети покрывает частный капитал. Несмотря на очень низкое финансирование Украины и Донецкого региона в частности, наша область имеет весомый потенциал для технического творчества и занимает первое место в Украине по числу изобретателей, авторов промышленных образцов и рационализаторский предложений. По численности работников научных организаций Донецкая область находится на четвертом месте после Киева, Харьковской и Днепропетровской областей. Это вселяет надежды на то, что продолжающийся экономический кризис будет преодолен и в Донбассе, и по Украине в целом.

Выводы. В последнее время в Украине обострилась проблема с газоснабжением. Это должно было стимулировать развитие альтернативных источников энергии (в странах западной Европы до 20 % приходится на них). В свое время Украиной была подписана «Энергетическая хартия», по которой она обязалась стимулировать производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии. И согласно закону «Об электроэнергетике» этот вид энергии должен был выкупаться по установленному «зеленому» тарифу до 2030 года в полном объеме государством. Однако, по последним изменениям к законопроекту № 4596 [8], «зеленый» тариф для крупных солнечных электростанций был уменьшен. Это снижение для уже построенных солнечных

парков Украины приведет к значительным убыткам и поставит под угрозу проекты инвестирования крупнейшей Китайской Национальной Группы Корпораций по строительным материалам (CNBM New Energy EngineeringCo). Аналогичные ошибки наблюдаются и в руководстве страны в целом. По мнению вице-президента Академии Экономических наук Украины Н. Белопольского: за последние 22 года было написано 500 программ, сделано 50 реформ, но они оказались не жизнеспособными из-за игнорирования мнения ученых.

Для развития топливно-энергетического комплекса и его устойчивого роста необходимо сделать переход к альтернативным источникам энергии. Перспективой должно стать планирование развития возобновляемых видов энергии, которые наносят минимальный вред окружающей среде. Это является неременным условием в контексте технологической и экологической гармонизации национальной экономики с экономикой ЕС и переходу на более высокий уровень качества жизни людей. Необходимо внедрять новые прорывные технологии для уменьшения энергопотребления в разных секторах промышленности, что должно привлечь дополнительные инвестиции в этом направлении, и без чего невозможен экономический рост.

Список литературы: 1. Указ Президента Украины № 895/2010. Про заходи щодо визначення і реалізації проектів із пріоритетних напрямів соціально-економічного та культурного розвитку [Электронный ресурс]. / Официальный сайт Администрации президента Украины. – Режим доступа: <http://www.president.gov.ua/documents/12284.html>. 2. Наказ МОН № 1066/609 від 26.11.2009. «Про затвердження Основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук на 2009-2013 роки [Электронный ресурс] / Официальный сайт МОН Украины. – Режим доступа: <http://www.mon.gov.ua/ru/about-ministry/normative/212>. 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]: <http://www.ukrstat.gov.ua>. 6. Рейтинг UEI – 2012: <http://energy-index.com.ua>. 7. Государственная целевая экономическая программа энергоэффективности и развития сферы производства энергоносителей из возобновляемых и альтернативных видов топлива на 2010–2015 годы. 8. Закон Украины «Про електроенергетику» № 4895 [Электронный ресурс] / Официальный Сайт Верховной рады Украины. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80/page>

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЗА СЧЕТ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ВИБРАЦИОННОЙ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКОЙ

Матвиенко С.А., Лукичев А.В., Сакно О.П.

ДГМА, г. Краматорск, ДААТ, г. Донецк, Украина

Тел. +38 (050) 3679800; E-mail: serge-matvienko@yandex.ru

Abstract: *The results of theoretical studies is considered on the technological support of wear resistance of vibratory finishing and strain-hardening processing. The question of reducing wear and burn-in time and the formation of surface roughness to the limit approximate to equilibrium.*

Key words: *the vibromechanical treatment, the equilibrium roughness, wear intensity.*

Введение. Параметры поверхностного слоя (ПС) оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей: износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость. Для обеспечения заданного эксплуатационного свойства поверхности обрабатываемой детали необходимо обеспечить соответствующие характеристики поверхности, непосредственно влияющие на требуемое свойство. На износостойкость в установившемся режиме влияет равновесная шероховатость, установившаяся в процессе приработки и самоподдерживаемая в процессе эксплуатации. На износ при приработке и формирование равновесной шероховатости влияют условия эксплуатации и параметры поверхностного слоя, сформированные при изготовлении: микропрофиль, макропрофиль, остаточные напряжения, физико-механические свойства.

Актуальным направлением в формировании качества поверхности является вибрационная обработка. Разновидностями виброобработки являются абразивная и безабразивная, размерная обработки, отделочно-упрочняющая обработка (ОУО) и т.д. Использование вибрационных воздействий позволяет усовершенствовать существующие и создавать новые технологические процессы ОУО [8]. Особый интерес представляет звуковая виброобработка в упругой среде (ЗВОУС) [1, 2]. Для технологического обеспечения оптимальных параметров ПС надо знать их зависимость от способа и режимов обработки, чтобы иметь возможность выбирать оптимальные условия изготовления по критериям качества и себестоимости. Зависимости интенсивности изнашивания от параметров механической обработки уделено большое внимание, а вот зависимости, связывающие параметры виброобработки с изнашиванием изучены недостаточно.

Постановка задачи. Рассмотреть связь технологических условий ЗВОУС с равновесными параметрами ПС и определить направление дальнейших исследований.

Основной материал. Вопросом взаимосвязи интенсивности изнашивания с параметрами шероховатости занимаются многие авторы. Важное значение имеют работы Суслова А.Г., Крагельского И.В. В работе [3]. автором приведена формула для определения работы сил трения, с учетом специфики образования равновесного состояния поверхностей трения:

$$W_{тр} = f(f, F, S_{тр}, V_u, Rz_{равн}, HV_{равн}, HV_o, \lambda, G).$$

Исследования показывают, что целесообразно использовать вместо Rz параметр Ra . Автор учитывает только высотный параметр равновесный шероховатости. Но на износ влияют шаговые параметры, в том числе Sm , tp и r вершин и впадин.

Известное уравнение для определения взаимосвязи интенсивности изнашивания и параметров состояния поверхностного слоя, предложено А.Г. Сусловым [4]:

$$I_h = \frac{2,5\pi v^{1/2} \cdot p^{7/6}}{n \cdot \lambda(v+1)t_m^{3/2}(k \cdot \sigma_T)^{2/3}} \sqrt{\frac{30(1-\mu^2)(2\pi Rz W_z H_{\max})^{1/3}}{E \cdot S_m}},$$

где Rz – высота неровностей по десяти точкам, мкм; W_z – средняя высота волнистости по десяти точкам, мкм; $H_{\max}$ – максимальная величина макроотклонений формы поверхности, мкм; t_m – относительная опорная длина профиля на уровне средней линии; v – скорость в точке контакта; S_m – средний шаг неровностей, мкм; λ – коэффициент, учитывающий знак и значение остаточных напряжений; σ_T – величина остаточных напряжений, МПа; k – коэффициент упрочнения; p – давление, МПа; n – число циклов воздействия до разрушения поверхностного слоя; E , μ – механические свойства материала заготовки. Данная формула показывает, что износостойкость деталей характеризуется комплексным параметром качества поверхности трения.

При обеспечении износостойкости [5–7] обычно ограничиваются выбором параметров шероховатости Ra , Sm , t_p . Не учитываются не стандартизованные параметры качества поверхности, которые зависят от метода финишной обработки, оказывающие существенное влияние на износ. Интенсивность изнашивания, как при приработке, так и при установившемся изнашивании определяются макроотклонением, микро-отклонениями, микротвёрдостью, глубиной и степенью наклепа, величиной и знаком остаточных напряжений (W_z , U_n , h_n , $\sigma_{ост}$ и др.).

ЗВОУС по сравнению с другими методами, влияет на расширенный комплексный показатель ПС, определяющий износостойкость сталей. ЗВОУС

является комбинированной виброобработкой и включает в себя технологическое поверхностно-пластическое деформирование (ППД), влияющее на параметры шероховатости, микротвердость, структуру ПС, вибрационное искусственное старение, влияющее на напряженное состояние ПС, формирование изменений кристаллической решетки.

Интенсивность изнашивания поверхностей деталей пар трения связана с условиями эксплуатации и технологическими параметрами метода обработки, влияющими на качество поверхности. К управляемым технологическим параметрам ЗВОУС относятся: наличие резонанса, частота колебаний, амплитуда колебаний, время обработки, используемая рабочая среда, размер контейнера и другие.

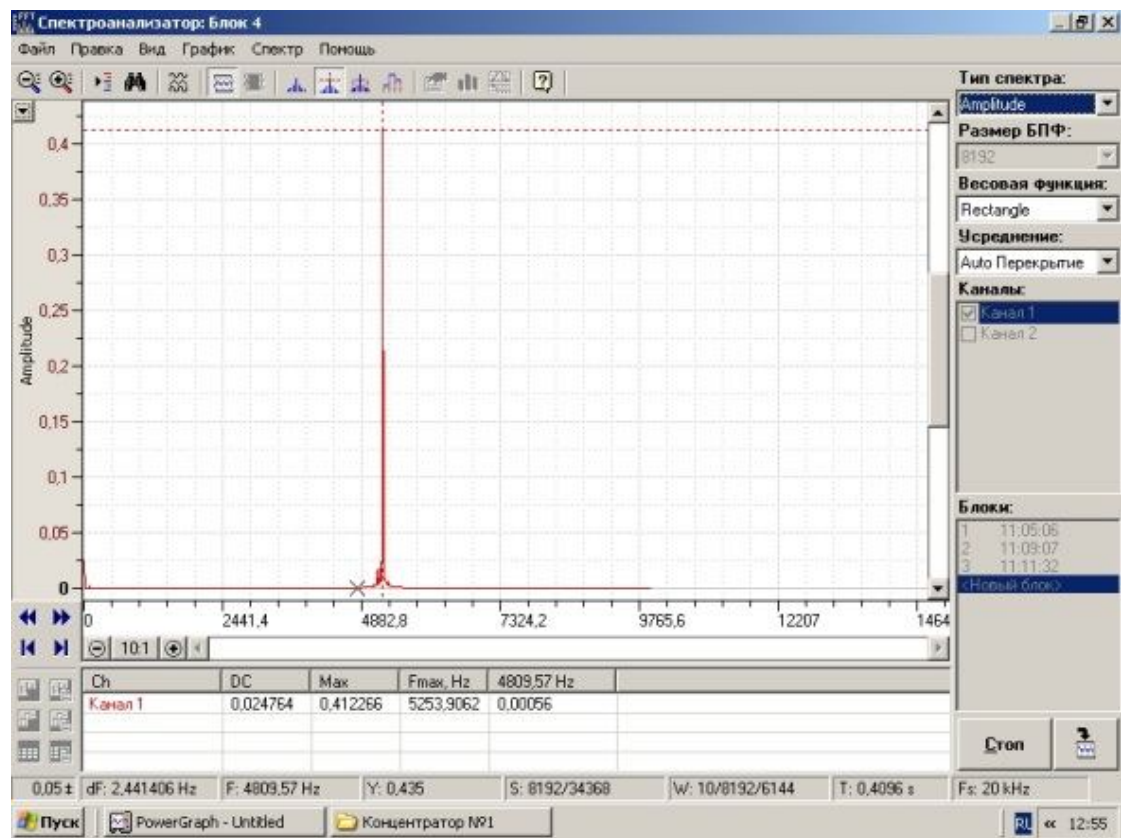
А.Г. Суслов отмечает, что процесс эксплуатации детали можно рассматривать как продолжение технологии ее обработки [4]. Поэтому для повышения долговечности пар трения необходимо максимально уменьшить их приработку при эксплуатации. Для этого на финишных этапах изготовления деталей моделируют ускоренный процесс приработки, который может представлять собой микрорезание и пластическое деформирование микронеровностей поверхности. Микрорезание при различных способах абразивной обработки по своему механизму не совпадает с механизмом приработки. При приработке происходит постепенное срезание вершин, сглаживание вершин на один уровень, при абразивной же обработке – одномоментное. В данном случае абразивная обработка уступает безабразивной ППД. При обработке существующими методами обработками ППД возможен перенос материала. Этот недостаток отсутствует при ЗВОУС. В работе [2] экспериментально были определены зависимости параметров поверхностного слоя от режимов обработки – времени и частоты, что позволяет определить зависимость интенсивности изнашивания при приработке от режимов обработки.

На процесс приработки существенно влияют микро и макро параметры поверхности. На образование качества поверхности детали при ЗВОПС влияют следующие факторы: геометрия инструмента и кинематика его рабочего движения (частота и амплитуда); колебания детали; расположение рабочей поверхности перпендикулярно или параллельно направлениям колебаний, упругие и пластические деформации обрабатываемого материала в зоне контакта с рабочей средой; абсорбция рабочей среды, марка материала, состав рабочей среды, наличие резонанса, технологическая наследственность, остаточные напряжения, т.е. повышение микротвердости требует большей амплитуды колебаний. При обработке плоских образцов удар будет по нормали, а при обработке цилиндрических удар будет по касательной.

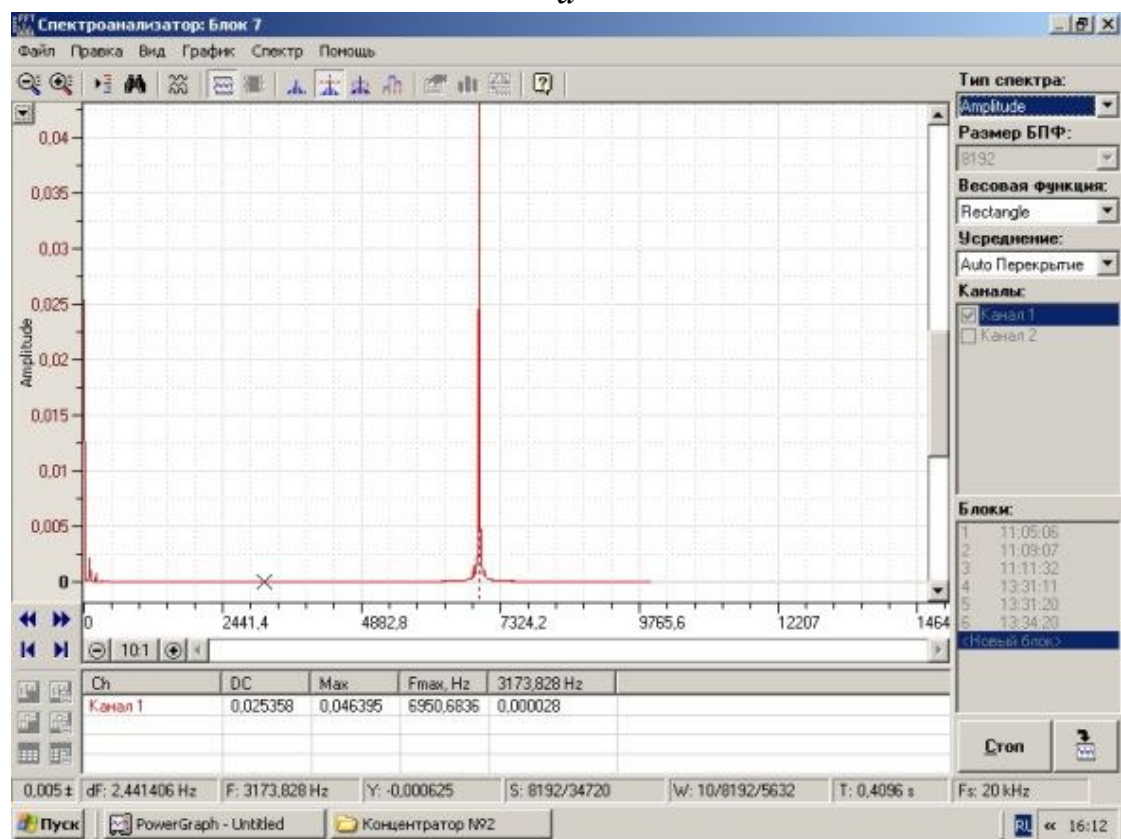
Геометрия концентратора пьезопреобразователя влияет на амплитуду колебаний детали (рис. 1).

При проектировании ЗВОУС стоят следующие задачи:

- прогнозирование усилия взаимодействия;



a



б

Рис. 1. АЧХ колебаний с разными типами концентраторов:
a – радиально ступенчатый; *б* – конусный

- прогнозирование ППД, наклепа, прогнозирование микрорельефа;
- проектирование концентратора;
- определение параметров рабочей среды;
- прогнозирование движения заготовки.

Схема ЗВОУС показана на рис. 2. Частота обработки, назначаемая при обработке детали, зависит от её собственной частоты. На рис. 3 показана АЧХ цилиндрической детали при собственной и резонансной частоте колебаний.

Обработке ЗВОУС подлежат рабочие поверхности ответственных деталей узлов трения: детали приводных и распределительных механизмов, диски, втулки, пальцы и т.д. Могут обрабатываться все детали, имеющие центральные сквозные отверстия, используемые для базирования и закрепления с

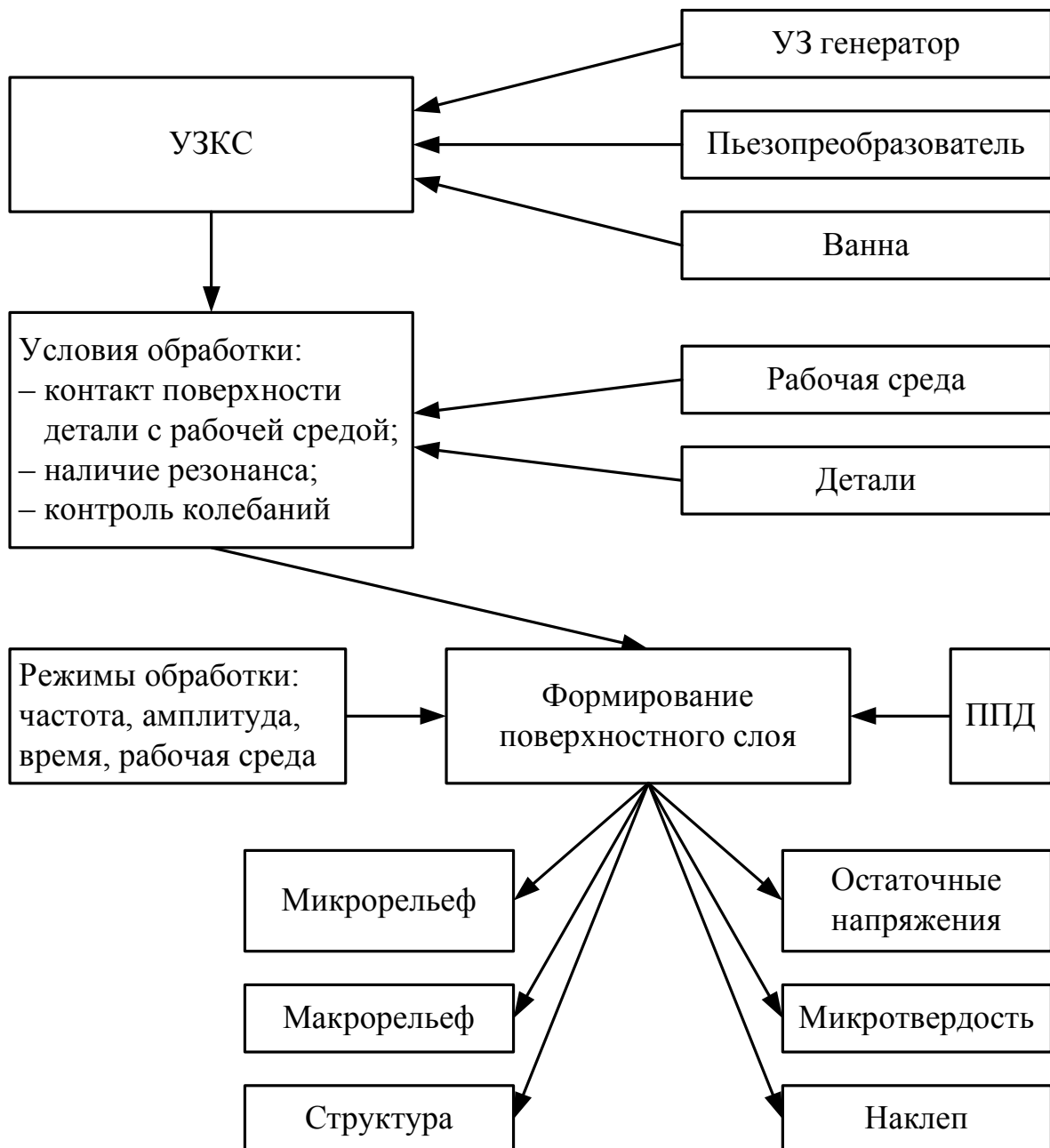
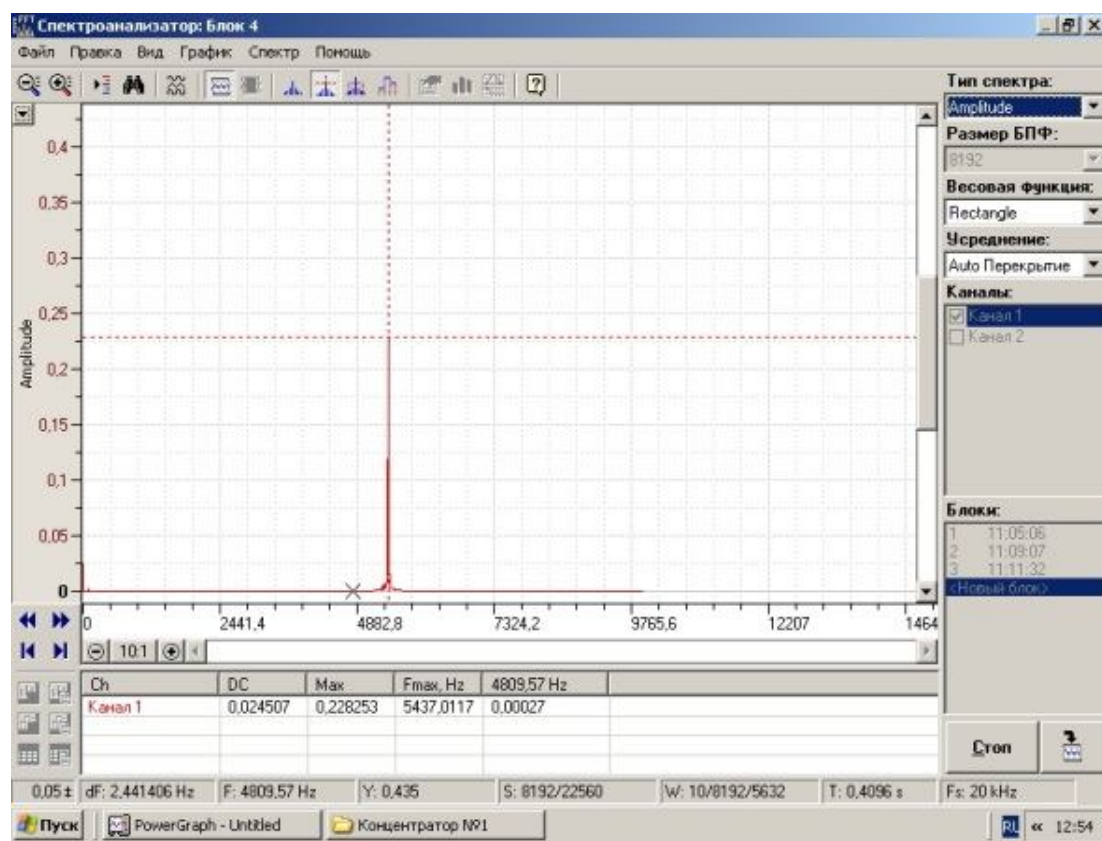
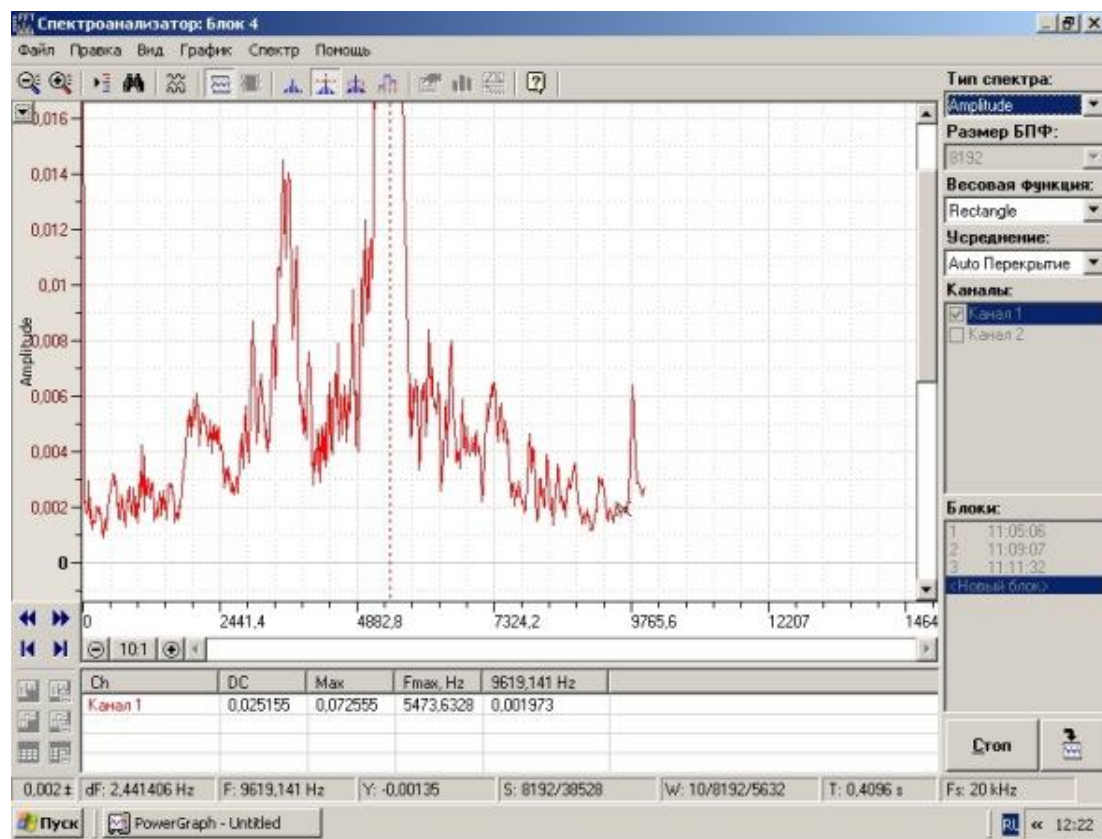


Рис. 2. Процессы, происходящие при ЗВОУС



a



б

Рис. 3. АЧХ детали: *a* – при резонансной частоте; *б* – при собственной частоте

концентратором. Можно обрабатывать детали с цилиндрическими, коническими и другими криволинейными поверхностями.

Физическая сущность процесса характеризуется комплексным воздействием на обрабатываемые детали и их поверхность ряда факторов, вызванных вибрацией в резонансном режиме. Множество микроударов частиц технологической жидкости в различных направлениях, обеспечивают равномерное и всестороннее воздействие на поверхность. В результате создаются условия для процессов многократного упругопластического деформирования сглаживающего действия.

Выводы. Актуальной является задача разработки теоретических и экспериментальных зависимостей параметров ЗВОУС одновременно с обеспечением эксплуатационных параметров поверхности, т.е. функционально-ориентированная обработка. Это позволит выбирать режимы обработки оптимальные с точки зрения качества и энергосбережения для заданных условий эксплуатации.

Список литературы: 1. Ковалевський С.В. Технологічне забезпечення зносостійкості поверхневого шару деталей автомобілів при фінішній зміцнювальній віброобробці в пружномусередовищі / С.В. Ковалевський, С.А. Матвієнко, О.В. Лукічов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка / Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Випуск 122. – Харків: ХНТУСГ, 2012. – С. 122–127. 2. Ковалевський С.В. Метод звукової вібраційної обробки та його експериментальні дослідження / С.А. Матвієнко, О.П. Сакно, О.В. Лукічов // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2013. Випуск № 41. Частина 1. – С. 129–134. 3. Сутягин А.Н. Технологическое обеспечение равновесных параметров качества поверхностного слоя деталей машин // Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2009. Т. 12, № 4 (33). – С. 132–136. 4. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с. 5. Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей / А.Г. Суслов [и др.]; под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2009. – 320 с. 6. Кондаков А.И. Использование альтернативных технологических решений при обеспечении эксплуатационного качества наукоемких изделий / А.И. Кондаков, А.В. Харитонов // Вестн. РГАТА им. П.А. Соловьева: сб. научн. тр. – Рыбинск, 2007. – № 1. – С. 22–25. 7. Овсеенко А.Н. Технологические проблемы обеспечения качества поверхностного слоя деталей машин // Приложение № 9. Справочник. Инженерный журнал. – 2002. – № 9. – С. 10–12. 8. Бабичев А.П. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, Л.К. Гиллеси и др. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 285 с.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЕСА ДВИЖИТЕЛЯ БЕСЦЕПНЫХ СИСТЕМ ПОДАЧИ УГОЛЬНЫХ КОМБАЙНОВ

Мирошниченко О.А., Горобец И.А.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./факс: +38 (062) 3010805; E-mail: gorobec@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: Terms selecting manufacturing gear mining machines were considered. Scheme and the method of choosing the rational technology options were investigated. Recommendations for choosing a rational technology manufacturing of gears chainless traction systems are given.

Key words: technologies, system, analysis, manufacturing, investigation.

Анализ современного состояния добычи угля, а так же его потребления показывает, что уголь был и остается основным энергетическим ресурсом Украины, а его роль в топливно-энергетическом комплексе постоянно растет [1]. В настоящее время полноценному удовлетворению энергетических потребностей препятствует неудовлетворительная работа угольной промышленности из-за запущенности шахтного фонда, медленного и неэффективного технического переоснащения большинства угольных предприятий Украины в усложняющихся горно-геологических условиях [2].

Широкое распространение в качестве более безопасных систем перемещения очистных комбайнов получили бесцепные системы перемещения (БСП), движители которых состоят из рейки, закрепленной на конвейере вдоль лавы и зубчатого колеса. Однако, в настоящее время, колесно-реечная пара имеет невысокий срок службы в сравнении с проектным. Основной причиной выхода из строя элементов колесно-реечного движителя является их износ, и как следствие поломка, это связано как с тяжелыми особенностями эксплуатации, так и, в большей мере, погрешностями в изготовлении элементов колесно-реечных движителей.

Зубчатые колеса движителей очистных комбайнов конструктивно и технологически – сложные изделия, к которым предъявлены ряд требований по точности и долговечности. Поэтому при создании технологической системы воздействий для их производства необходимо учитывать реальные условия эксплуатации.

Представление технологического процесса изготовления зубчатого колеса в виде системы действий, т.е. применение системного подхода в исследовании вопроса повышения качества изготовления, предполагает наличие технологической системы. Под системой подразумевается собранный комплекс средств, нацеленный на достижение поставленной цели, который имеет

иерархичную структуру. Каждый элемент системы по ступеням иерархии является средством достижения цели всего изделия или подсистемы более высокого уровня. В этом случае реализуется новый методологический подход в изготовлении элементов колесно-реечного движителя, который заключается в проектировании функционально-ориентированного технологического процесса. Такой технологический процесс заключается в формировании технологических воздействий и свойств изделия в зависимости от особенностей эксплуатации функциональных элементов. Использование системного подхода в технологическом процессе позволит проектировать комплекс технологических воздействий в замкнутом (возвратном) цикле, для обеспечения требуемых свойств и параметров качества. При проектировании технологического процесса изготовления зубчатого колеса колесно-реечного движителя следует учитывать следующие условия:

- зубчатый венец колеса имеет не эвольвентный профиль;
- тип производства колес имеет мелкосерийный характер;
- в качестве материала применяется высококачественная легированная сталь (как правило – сталь 20Х2Н4А), а заготовку получают штамповкой.

Общими условиями создания технологических процессов на основе функционально-ориентированного подхода являются [3]:

- описание объекта производства, заготовки с заданными свойствами, которую нужно преобразовать в готовое изделие с требуемыми свойствами;
- определение целей и задач проектирования и принятие решения;
- определение технологического и конструкторского обеспечения;
- обеспечение требуемых показателей качества выпускаемого изделия;
- обеспечения требуемого алгоритма функционирования;
- реализация приемлемой цены;
- удовлетворение явным и неявным требованиям по эксплуатационным качествам;
- удовлетворение требованиям к стоимости и продолжительности разработки технологии.

На рис. 1 представлена схема последовательной итеративной (возвратной) разработки технологии изготовления зубчатого колеса движителя БСП. Общая методология проектирования технологии изготовления объекта исследования базировалась на условиях:

- определение системы принципов и методов обеспечения качественно новых свойств и возможностей технологий;
- разработка системы проектирования на основе многоуровневых иерархических технологий с направленными действиями через анализ, базирующейся на композициях множеств принципов и методов обеспечения свойств и технологических воздействий.

Данный алгоритм предусматривает последовательное (возвратное) проектирование начиная от определения актуальности вопроса исследования до получения конкретного технологического процесса.



Рис. 1. Схема проектирования технологического процесса изготовления зубчатого колеса двигателя БСП

В первом блоке определяются условия и задачи проектирования технологии, основанные на комплексном анализе изделия, определения его эксплуатационных функций, на основании которых происходит деление изделия на функциональные элементы по уровням применения технологических воздействий. Во втором блоке происходит анализ и выявление возможных вариантов методов обработки. Определение противоречий применения данных методов согласно эксплуатационным характеристикам изделия. Поиск решений для предотвращения данных противоречий путем применения новых принципов и методов проектирования технологических воздействий. По результатам исследования технологического блока формируется база методов обработки зубчатого колеса двигателя БСП, на основании которой, путем анализа, выбирается оптимальный технологический процесс изготовления зубчатого колеса.

В следующем блоке – блоке реализации технологического процесса – определяются средства обеспечения технологических воздействий: выбор оборудования, режущего инструмента, приспособлений, расчет кинематических и статических параметров технологических воздействий.

На основании этого блока формируется база средств обеспечения технологических воздействий. Далее происходит технико-экономическое исследование полученных результатов.

Данный алгоритм предполагает замкнутую последовательность действий и имеет три точки контроля, на который проверяется целесообразность полученных результатов. При неудовлетворительном решении цикл запускается вновь.

Таким образом, технология изготовления зубчатого колеса двигателя БСП очистных комбайнов представлена в виде технологической системы действий на основании функционально-ориентированного подхода, максимально адаптированного условиям эксплуатации. Схема технологической системы является замкнутым циклом действий, направленным на поиск технологических решений на основе как имеющихся принципов и методов исследования, так и новых.

Список литературы: 1. Трушина Г.С. Значение угольной промышленности в развитии мировой энергетики / Г.С.Трушина, М.С. Щипачев // Научно-технический и производственно-экономический журнал «Уголь-10». К.: 2011. – С. 40–42. 2. Концепция технико-экономического перевооружения очистных забоев угольных шахт Донбасса / В.И. Зензеров, С.С. Гребенкин, Н.И. Стадник, С.Н. Хромовских // Теорія та практика управління національною економікою: Зб. наук. праць Донецького держ. ун-ту управління. Серія: Економіка. – Донецьк: ДонДУУ, 2011. Т. XII. Вип. 189. – С. 36–44. 3. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – М: Машиностроение, 2009. – 346 с.

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛОПАТОК ГТД С ЭРОЗИОННО-КОРРОЗИОННЫМИ РАЗРУШЕНИЯМИ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПОД НАПЫЛЕНИЕ НОВОГО ПОКРЫТИЯ

¹ Михайлов А.Н., ¹ Михайлов Д.А., ² Недашковский А.П.

¹ ДонНТУ, г. Донецк, Украина,

² СМЗ ОАО «Мотор Сич», г. Снежное, Украина

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

Abstract: *In this work, the investigations related to the determination of the wear process PVD coating the blade surfaces. In this paper we investigate the features of the airfoil surface preparation to the new coating deposition by polishing. Proposed scheme supporting simultaneous polishing of two blade materials, namely PVD coating and the base material the blade – titanium alloy. For applying new PVD coating on the old coating and base material surface – with the same properties, developed recommendations for simultaneous polishing of two reference materials and ensure close roughness on the coating on the base material and the blade.*

Key words: *turbine engine blades, erosion-corrosion fracture PVD coatings, polishing reference coated blades.*

1. Введение

Лопатки компрессора газотурбинного двигателя (ГТД) это сложные и дорогостоящие элементы авиационных двигателей (рис. 1), которые имеют целое множество вариантов геометрии в зависимости от номера ступени. Например, для двигателя ТВ3-117 применяются лопатки компрессора двенадцати ступеней. Для повышения стойкости лопаток компрессора широко используются различные вакуумные ионно-плазменные покрытия. Эти покрытия значительно снижают коррозионно-эрозионные разрушения пера лопаток. Можно отметить, что нитрид титановые, нитрид титановые циркониевые или другие покрытия имеют высокую микротвердость, коррозионную и эрозионную стойкость по сравнению с параметрами основного материала пера лопатки [1, 2]. Поэтому они позволяют существенно повысить стойкость лопаток компрессора и соответственно всего ГТД.

Вместе с тем, в процессе эксплуатации лопаток компрессора ГТД происходит абразивный износ и эрозия, газовая, кислотная и солевая коррозия покрытия, которое в процессе эксплуатации лопаток ГТД разрушается (рис. 2). Поэтому для повышения стойкости лопаток компрессора покрытия необходимо восстанавливать. Вместе с тем, следует отметить, что процесс повторного нанесения покрытия имеет определенные особенности, связанные со следующим.

Процесс разрушения вакуумного ионно-плазменного покрытия, например нитрид титанового покрытия, имеет неравномерный характер. Возможны следующие случаи разрушения покрытия (рис. 2):

– без полного разрушения покрытия по его толщине (рис. 2, а);

– с полным разрушением покрытия по его толщине на входной и периферийной кромке (рис. 2, б);

– прогрессирующее разрушение покрытия на поверхности пера (рис. 2, в).

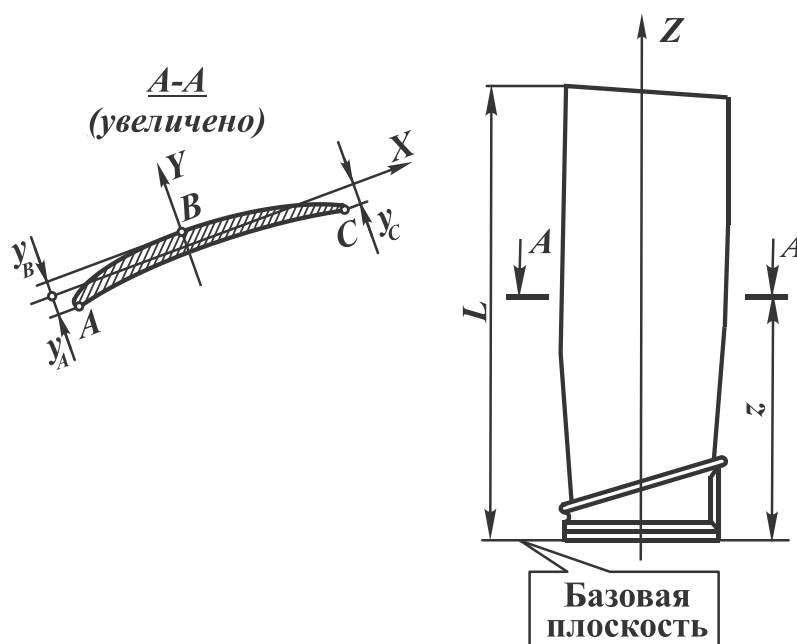


Рис. 1. Лопатка 3-й ступени компрессора ГТД ТВЗ-117

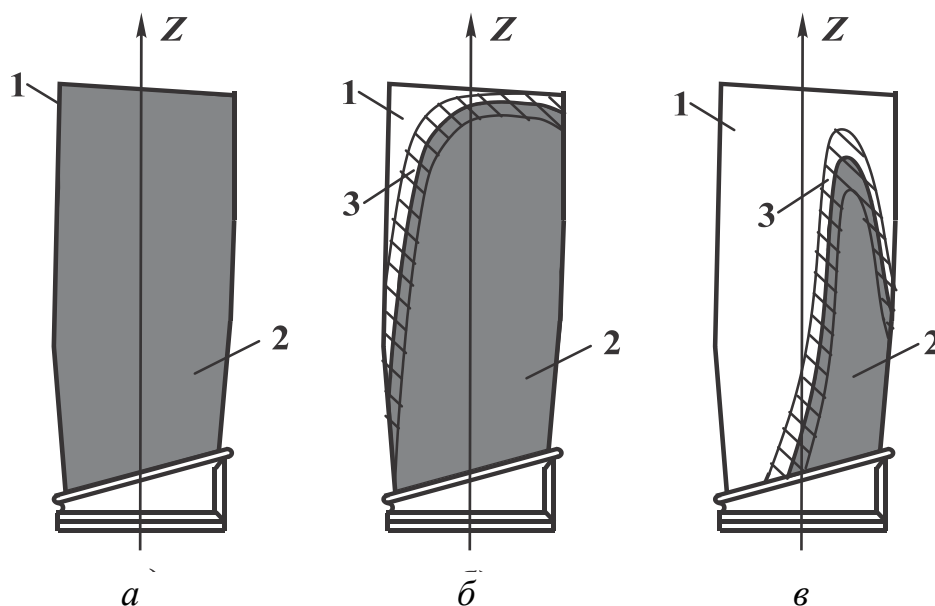


Рис. 2. Особенности разрушения ионно-плазменного покрытия лопатки:

а – без полного разрушения покрытия по его толщине; б – с полным разрушением покрытия по его толщине на входной и периферийной кромке; в – прогрессирующее разрушение покрытия на поверхности пера

Здесь обозначено: 1 – перо лопатки, 2 – покрытие пера лопатки, 3 – переходная зона пера лопатки между основным материалом пера лопатки и покрытием. Можно отметить, что в переходной зоне 3 пера лопатки

необходимо обеспечивать некоторые особенности обработки, связанные с одновременной полировкой двух материалов пера лопатки.

Целью данной работы является подготовка лопатки ГТД с эрозионно-коррозионными разрушениями вакуумных ионно-плазменных покрытий под напыление нового покрытия за счет обеспечения одинаковых параметров шероховатости нитрид титанового покрытия и титанового сплава поверхностей пера в условиях совместного опорного их полирования.

Для достижения поставленной цели в данной работе определены следующие задачи:

1. Рассмотреть особенности износа ионно-плазменного покрытия поверхностей пера лопатки.

2. Исследовать особенности подготовки поверхностей пера лопатки к напылению нового покрытия посредством полирования.

3. Предложить схемы опорного одновременного полирования двух материалов лопатки, а именно нитрид титанового покрытия и основного материала пера лопатки – титанового сплава.

4. Для нанесения нового нитрид титанового покрытия на оставшееся старое покрытие и основной материал поверхности – с одинаковыми свойствами, разработать рекомендации по опорному одновременному полированию двух материалов и обеспечению близких параметров шероховатости на покрытии и на основном материале пера лопатки.

2. Особенности подготовки поверхностей пера лопатки к напылению нового покрытия посредством полирования

Следует отметить, что при подготовке пера лопатки, в зоне 3 (рис. 2) необходимо обеспечивать совместную обработку двух различных материалов, имеющих различные физико-механические свойства, а именно нитрид титанового покрытия (микротвердость $H_{\mu}=21-23$ ГПа), располагающегося на поверхностях пера лопатки, и основного материала пера лопатки, изготовленного из титанового сплава, например ВТ 8М (микротвердость $H_{\mu}=1,2-1,5$ ГПа). При этом в случае совместной полировки двух принципиально различных материалов возникают случаи продавливания покрытия и углубления инструмента в основной материал пера лопатки. Это обусловлено тем, что для обработки покрытия необходимы усиленные режимы обработки, а именно удельное давление полирования поверхности с покрытием должно превышать в 1,5–2,0 раза по сравнению с обработкой основного материала пера лопатки. При этом для нанесения нового нитрид титанового покрытия необходимо обеспечивать следующие особенности:

– для исключения процесса продавливания покрытия и углубления инструмента в основной материал пера лопатки (старое покрытие имеет переменную толщину) необходимы новые схемы совместной обработки двух разнородных материалов;

– для обеспечения заданных параметров качества нового покрытия, параметры шероховатости предыдущего покрытия и основного материала пера лопатки должны иметь близкие значения;

– для повышения производительности полировки поверхностей лопатки с покрытием режимы обработки должны быть ориентированы на обработку покрытия.

3. Схемы опорного одновременного полирования двух материалов лопатки

Для одновременной обработки двух разнородных материалов, а именно нитрид титанового покрытия и основного материала пера лопатки из титанового сплава разработаны две схемы опорного полирования, представленные на рис. 3 и рис. 4. Здесь показаны: обработка поверхности спинки пера лопатки (рис. 3, *а* и рис. 4, *а*) и обработка поверхности корыта пера лопатки (рис. 3, *б* и рис. 4, *б*). На верхнем рис. 3 или рис. 4 показана схема обработки, а на нижнем – показана схема трассирования инструмента при обработке поверхности. На этих схемах обозначено: 1 – тело пера лопатки (титановый сплав ВТ-8М, 2 – нитрид титановое покрытие, 3 – инструмент – полировальный круг, 4 – эпюр удельного давления прижатия инструмента к поверхности пера лопатки, 5 – траектория трассирования инструмента при обработке пера лопатки. А также, на этих рисунках показано: s_o – поперечная подача инструмента, s_1 – продольная подача инструмента, v_p – скорость резания, R – радиус полировального круга, $F(l)$ – функция распределения удельного давления полировального круга на поверхность пера лопатки, представленная в плоскости, $f_{\max}$ – максимальное удельное давление в эпюре $F(l)$, l – длина контакта полировального круга на поверхности пера лопатки (длина эпюра удельного давления), l_0 – длина контакта полировального круга с удаляемым покрытием, l_1 – длина контакта полировального круга с основным материалом пера лопатки, ω – угол перекоса продольной оси полировального круга относительно касательной к полируемой поверхности пера лопатки.

В соответствии со схемами рис. 3 и рис. 4 полировальный круг следует располагать относительно полируемой поверхности пера лопатки таким образом, чтобы 75 % эпюра (расстояние от точки *A* до точки *B*) распределения удельного давления приходилось на нитрид титановое покрытие, а 25 % эпюра (расстояние от точки *B* до точки *C*) распределения удельного давления приходилось на взаимодействие инструмента и основного материала пера лопатки. В этом случае основная часть нагрузки концентрируется на нитрид титановом покрытии (более твердом материале в зоне *AB*), при этом инструмент как бы опирается на покрытие пера лопатки. Причем меньшая часть нагрузки – с меньшими удельными давлениями действует на основной материал поверхности пера лопатки в зоне *BC*. При этом удельное давление, приходящееся на основной материал пера лопатки должно быть примерно в 1,5–2 раза меньше, чем удельное давление, действующее на материал покрытия. Это связано с тем, что нитрид титановое покрытие имеет микротвердость $H_\mu=21\text{--}23$ ГПа, а основной материал пера лопатки (титановый сплав ВТ-8М) имеет микротвердость $H_\mu=1,2\text{--}1,5$ ГПа и для обработки необходимы принципиально различные удельные давления. Здесь точка *D* – исходная точка начала обработки покрытия пера лопатки.

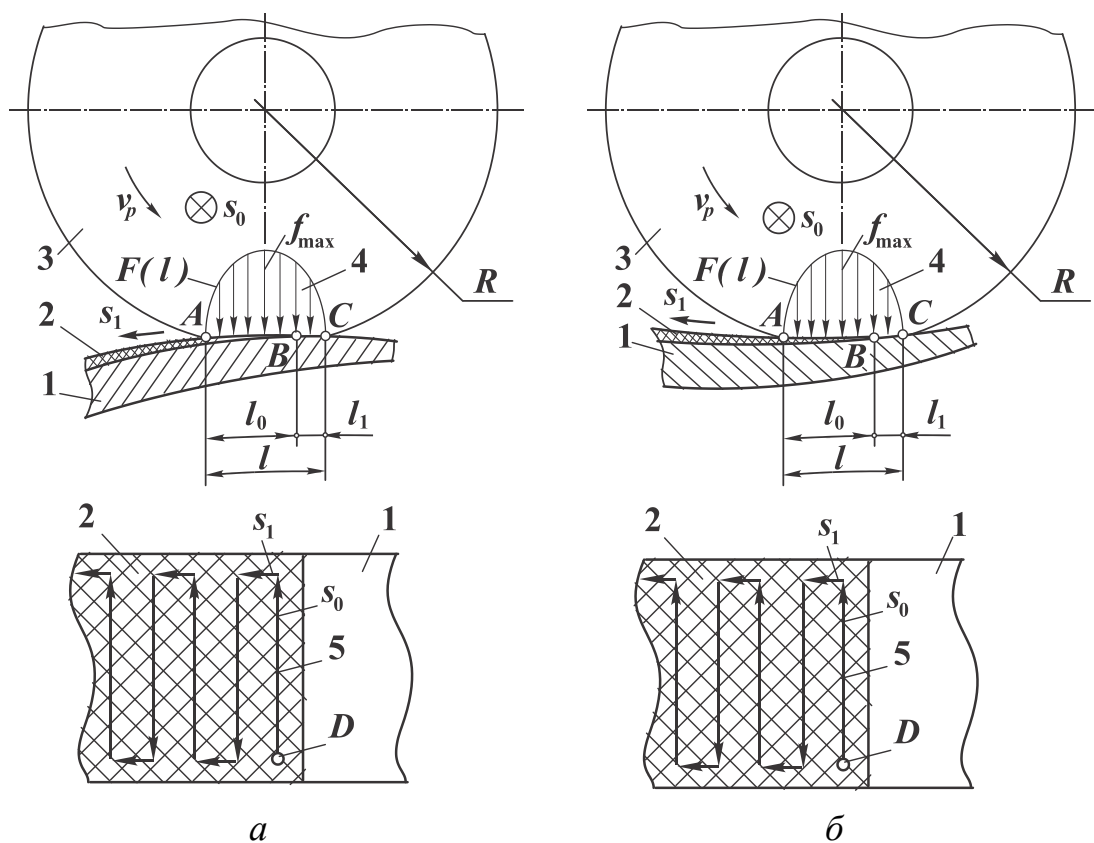


Рис. 3. Схема опорного полирования двух материалов с ориентированием продольной оси полировального круга по подаче s_0 :

a – полирование покрытия спинки; b – полирование покрытия корыта

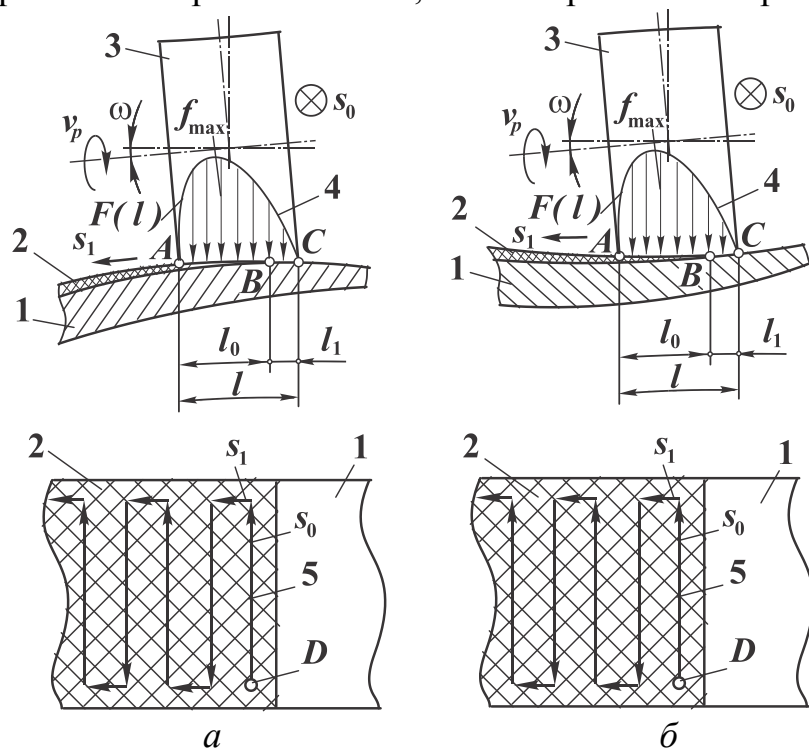


Рис. 4. Схема опорного полирования двух материалов с ориентированием продольной оси полировального круга перпендикулярно подаче s_0 и перекосом ω : a – полирование покрытия спинки; b – полирование покрытия корыта

На рис. 3 приведена схема опорного полирования двух материалов с ориентированием продольной оси полировального круга по подаче s_o . Здесь, на рис. 3, *а* представлена схема полирования покрытия спинки, на рис. 3, *б* – схема полирования покрытия корыта. Основной особенностью одновременного полирования двух материалов является то, что зона взаимодействия полировального круга с полируемой поверхностью двух материалов распределяется из условия 75 % по поверхности с покрытием и 25 % по поверхности без покрытия. При этом максимальное удельное давление действует в зоне покрытия. Это обеспечивает при обработке двух материалов усиленные удельные давления в зоне покрытия и смягченные режимы в зоне обработки поверхности без покрытия. При этом реализуется опорное полирование двух материалов с опорой инструмента на более твердый материал – нитрид титановое покрытие. Это исключает процесс продавливание полировального круга через покрытие в основной материал пера лопатки.

На рис. 4 приведена схема опорного полирования двух материалов с ориентированием продольной оси полировального круга перпендикулярно подаче s_o и перекосом ω . Здесь, на рис. 4, *а* представлена схема полирования покрытия спинки, на рис. 4, *б* – схема полирования покрытия корыта лопатки. В представленной схеме полирования все позиции и обозначения аналогичны рис. 3. При этом процесс опорного полирования реализуется за счет перекоса оси ω полировального круга относительно полируемой поверхности лопатки.

Представленные схемы обработки позволяют вести подготовку поверхностей пера лопатки состоящих из двух принципиально различных материалов, а именно из титанового сплава и старого нитрид титановые покрытия, к нанесению нового нитрид титанового покрытия. При этом обеспечивать заданные параметры качества обработки пера лопатки ГТД.

4. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

1. В представленной работе рассмотрены особенности износа ионно-плазменного покрытия поверхностей пера лопатки. При этом установлено, что при эксплуатации лопатки покрытие изнашивается не равномерно на ее поверхностях.

2. Исследованы особенности подготовки поверхностей пера лопатки имеющих разнородные материалы к напылению нового покрытия посредством полирования.

3. В работе разработаны схемы опорного одновременного полирования двух материалов лопатки, а именно нитрид титанового покрытия и основного материала пера лопатки – титанового сплава.

4. Для нанесения нового нитрид титанового покрытия на оставшееся старое покрытие и основной материал поверхности – с одинаковыми свойствами, разработаны рекомендации по опорному одновременному

полированию двух материалов и обеспечению близких параметров шероховатости на покрытии и на основном материале пера лопатки.

Список литературы: 1. Богуслаев В.А., Качан А.Я., Долматов А.И., Мозговой В.Ф., Корневский Е.Я. Технология производства авиационных двигателей. Ч. 1. Основы технологии. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2007. – 518 с. ISBN 966-87-2. 2. Богуслаев В.А., Яценко В.К., Жеманюк П.Д., Пухальская Г.В., Павленко Д.В., Бень В.П. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2005. – 559 с. ISBN 966-7108-91-0. 3. Яцерицын П.И., Зайцев А.Г., Барботько А.И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов. – Минск: Наука и техника, 1976. – 328 с. 4. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. ISBN 966-7907-24-4.

УДК 621.914.2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ ПОВТОРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТРУЖКИ С ИНСТРУМЕНТОМ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ

Нечепаяев В.Г., Мышов М.С.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел.: +38 (062) 3010820; E-mail: opm@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: *The theoretical investigations were performed for force determination of element chip repeated interaction with cutting tool. The experimental investigations were performed which confirmed of developed theory adequacy. The mathematical apparatus was designed for force factors determination of element chip repeated interaction with cutting tool. Received values of indicated force factors are the basis for processing accuracy prediction of profile slots.*

Key words: *milling, chip, force factors, working error, working accuracy, profile slot.*

Профильные, а также другие пазы с затрудненным отводом стружки, являются весьма нетехнологичными элементами конструкций. При этом они составляют значительную часть общего объема металлообработки. Особенностью процесса фрезерования профильных пазов является циркуляция отделенной стружки и ее повторное взаимодействие с режущим инструментом в процессе обработки [1]. При повторном взаимодействии элементов отделенной стружки с фрезой формируются силовые факторы, которые дополнительно деформируют элементы системы СПИД и вызывают соответствующие существенные погрешности обработки [2].

В [3] установлены структура и механизм формирования погрешностей обработки профильных пазов. Показано, что погрешности обработки профильных пазов в основном определяются переменными во времени перемещениями режущего инструмента в направлении, перпендикулярном направлению подачи. Эти перемещения обусловлены действием сил, возникающих в процессе отделения стружки при снятии припуска P^{pez} и сил повторного взаимодействия отделённой стружки с режущим инструментом $P^{стр.}$ – то есть погрешность обработки профильных пазов определяется суммой сил

$$\sum P = P^{pez} + P^{стр.} \quad (1)$$

В [4]. показано, что значение силы $P^{стр.}$ составляет до 30 % от значения силы P^{pez} . – таким образом, влияние фактора повторного взаимодействия стружки с режущим инструментом на точность обработки профильных пазов является существенным.

Недостаточная изученность механизма формирования силовых факторов при повторном взаимодействии стружки с режущим инструментом определяет актуальность теоретических и экспериментальных исследований этого явления с целью возможного дальнейшего прогнозирования точности обработки профильных пазов.

Методика проведения исследований включает следующие основные этапы:

- разработка математических моделей деформирования стружки при повторном её взаимодействии с режущим инструментом в процессе фрезерования профильных пазов;
- проведение модельного эксперимента при помощи разработанных математических моделей;
- получение экспериментальных данных на специально изготовленном полноразмерном стенде (измерение силовых факторов при деформировании элементов стружки);
- проверка адекватности математических моделей при заданном уровне вероятности;
- аппроксимация полученных экспериментальных данных;
- оценка погрешности моделирования.

В [3] проведен анализ физической картины деформирования элемента стружки в процессе её повторного взаимодействия с режущим инструментом при фрезеровании профильных пазов и выполнена схематизация рассматриваемого процесса.

На основе математического аппарата базовых разделов механики упругих деформированных систем (общей теории расчёта тонкостенных цилиндрических круговых оболочек, теории балки на упругом основании и теории статически неопределимых систем) разработаны математические модели деформирования стружки при повторном её взаимодействии с режущим

инструментом в процессе фрезерования профильных пазов для схем сосредоточенного и распределённого нагружения элемента стружки. Модели ориентированы на установление силы повторного взаимодействия режущего инструмента с элементом стружки P^{cmp} .

Применительно к схеме сосредоточенного нагружения элемента стружки в качестве исходного уравнения для разработки модели принято дифференциальное уравнение общей теории расчёта замкнутых тонкостенных цилиндрических круговых оболочек в развёрнутом виде [5]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^8 \Phi}{\partial \xi^8} + 2 \frac{\partial^6}{\partial \xi^6} (2 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \nu) \Phi + \frac{\partial^4}{\partial \xi^4} (6 \frac{\partial^6}{\partial \theta^6} + 6 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + 1) \Phi + 2 \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} \left[2 \frac{\partial^6}{\partial \theta^6} + \right. \\ \left. + (4 - \nu) \frac{\partial^4}{\partial \theta^4} + \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right] \Phi + \frac{\partial^4}{\partial \theta^4} (\frac{\partial^4}{\partial \theta^4} + 2 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + 1) \Phi + 4\beta \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \xi^4} = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

В уравнении (2) $\Phi(\xi, \theta)$ – разрешающая функция, через которую определяются силовые факторы; ξ и θ – безразмерные координаты; β – геометрическая характеристика замкнутой тонкостенной цилиндрической круговой оболочки

$$\beta = \sqrt[4]{3(1 - \nu^2) \frac{R^2}{\delta^2}}, \quad (3)$$

где ν – коэффициент Пуассона; δ – толщина оболочки; R – внешний радиус оболочки.

В [6] установлена связь между геометрическими параметрами стружки и технологическими параметрами процесса фрезерования профильного паза.

Соотношение между внешним радиусом R и диаметром фрезы D_ϕ определяется выражением

$$R = \frac{1}{720} D_\phi \arccos \left(\frac{a}{D_\phi} \right), \quad (4)$$

где a – номинальный размер паза, мм.

Толщину элемента стружки (максимальную ширину срезаемого слоя) определяет подача на зуб фрезы S_z

$$\delta_{\max} = S_z. \quad (5)$$

После решения уравнения (2) и соответствующих преобразований [6] получено выражение для определения силы повторного взаимодействия

элемента стружки с фрезой $P^{стр.}$ как функции диаметра фрезы D_ϕ и подачи на зуб S_z для случая сосредоточенного нагружения элемента стружки

$$P_{соср.нагр.}^{стр.} = \frac{8}{3} \pi^2 \sigma_\epsilon \left(\frac{1}{720} D_\phi \arccos \left(\frac{a}{D_\phi} \right) \right)^2 \sqrt{3(1-\nu^2) \left(\frac{1}{720} D_\phi \arccos \left(\frac{a}{D_\phi} \right) \right)^2 S_z^2}. \quad (6)$$

Применительно к схеме распределённого нагружения элемента стружки для разработки математической модели рассмотрено полубезмоментное напряжённое состояние изгиба оболочки в кольцевом направлении [7].

Выражение для определения силы повторного взаимодействия элемента стружки в этом случае имеет вид

$$P_{распр.нагр.}^{стр.} = 0,00265 \frac{\sigma_\epsilon S_z^2 l}{D_\phi \arccos(a/D_\phi)}. \quad (7)$$

При проведении экспериментальных исследований на специальном стенде фиксировались значения сил $P^{стр.}$, соответствующие деформациям элемента стружки ϵ в виде замкнутой тонкостенной цилиндрической круговой оболочке. Далее по полученным данным строилась диаграмма нагружения (рис. 1). При этом варьированию подвергались геометрические параметры оболочки – внешний диаметр оболочки D (5 мм, 7 мм и 9 мм) и толщина оболочки δ (0,1 мм, 0,2 мм, 0,3 мм и 0,4 мм).

На основе этой диаграммы определялось текущее значение силы $P^{стр.}$, соответствующее деформированию оболочки согласно физической картине повторного взаимодействия элемента стружки с P , H режущим инструментом (точка A на рис. 1) – значение силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом $P^{стр.}$.

Графическая интерпретация результатов модельного и натурного экспериментов для схем сосредоточенного и распределённого нагружений элемента стружки приведена на рис. 2 и 3.

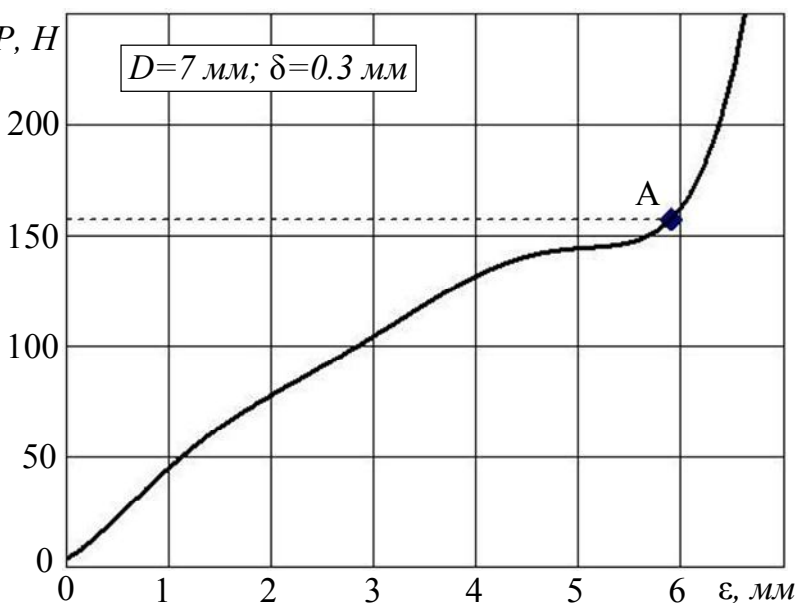


Рис. 1. Пример диаграммы нагружения элемента стружки в виде тонкостенной оболочки

Внешний диаметр оболочки $D=5$ мм

Схема сосредоточенного нагружения

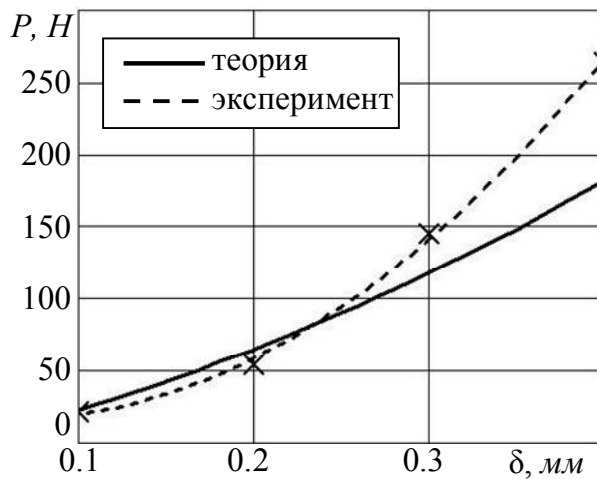
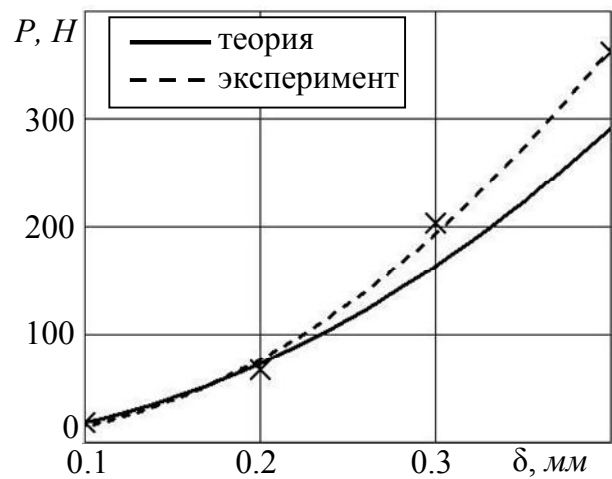


Схема распределенного нагружения



Внешний диаметр оболочки $D=7$ мм

Схема сосредоточенного нагружения

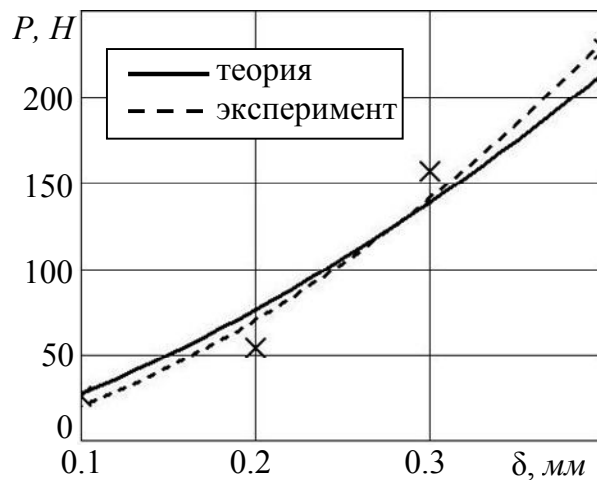
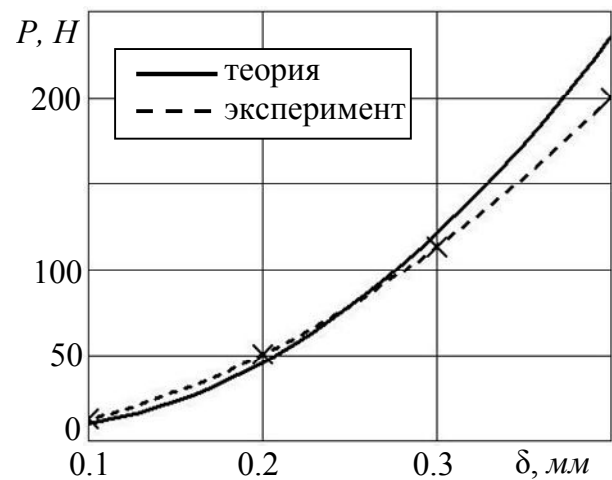


Схема распределенного нагружения



Внешний диаметр оболочки $D=9$ мм

Схема сосредоточенного нагружения

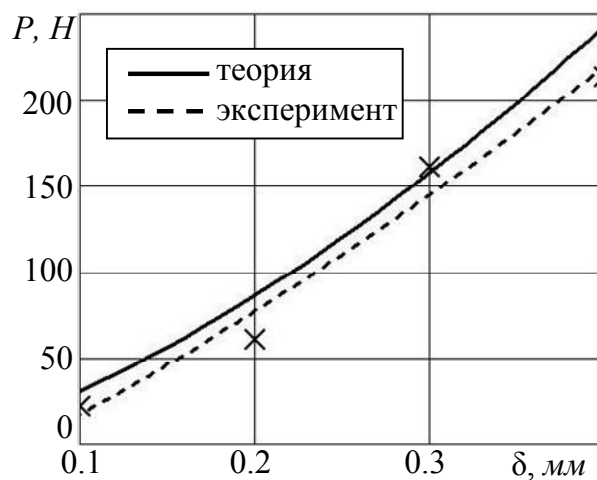


Схема распределенного нагружения

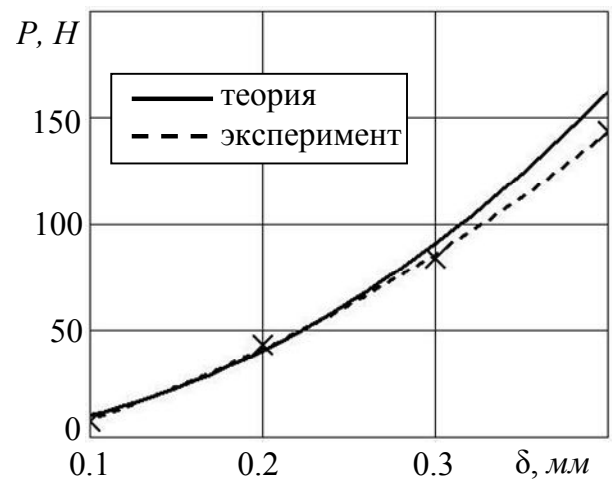


Рис. 2. Графики зависимости силы, деформирующей стальную оболочку как функция толщины оболочки

Толщина оболочки $\delta=0.2$ мм

Схема сосредоточенного нагружения

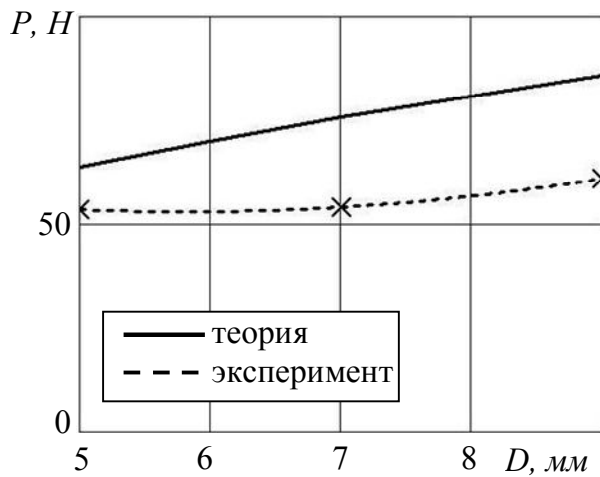
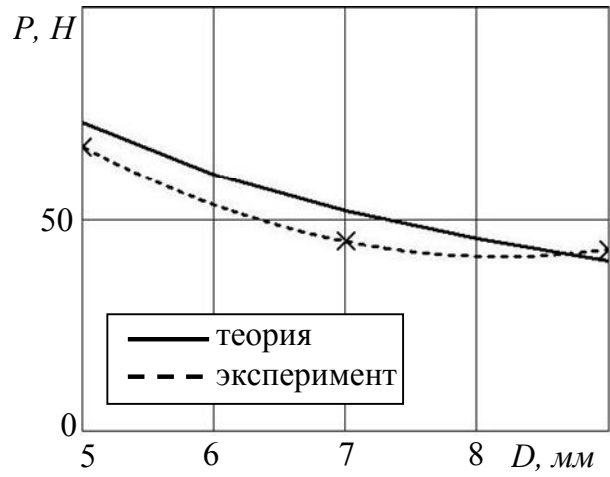


Схема распределенного нагружения



Толщина оболочки $\delta=0.3$ мм

Схема сосредоточенного нагружения

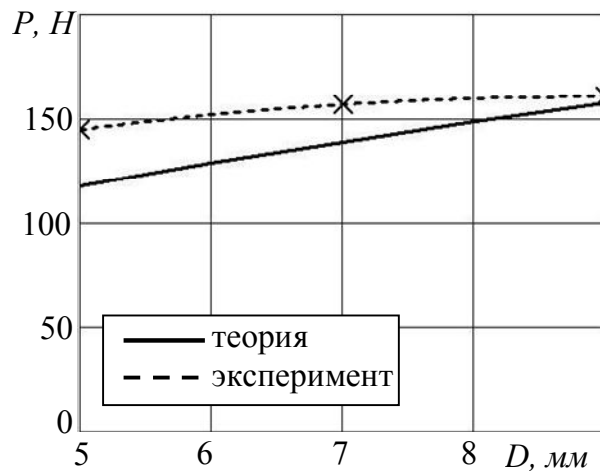
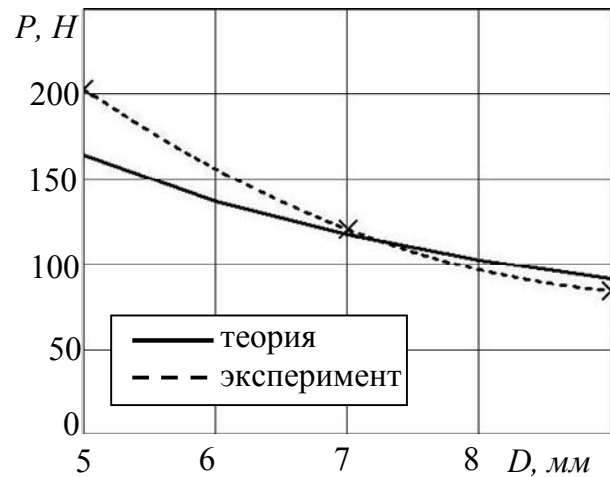


Схема распределенного нагружения



Толщина оболочки $\delta=0.4$ мм

Схема сосредоточенного нагружения

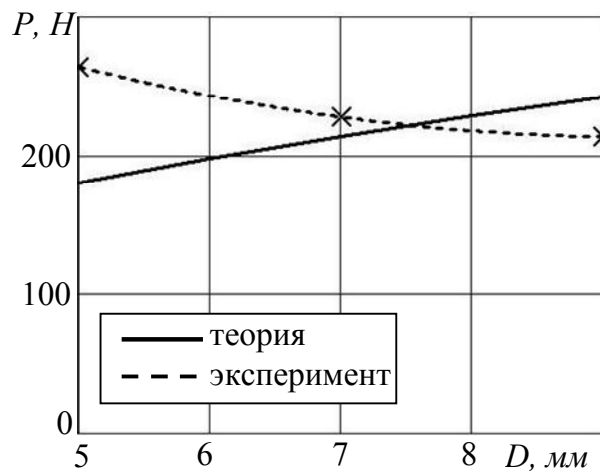


Схема распределенного нагружения

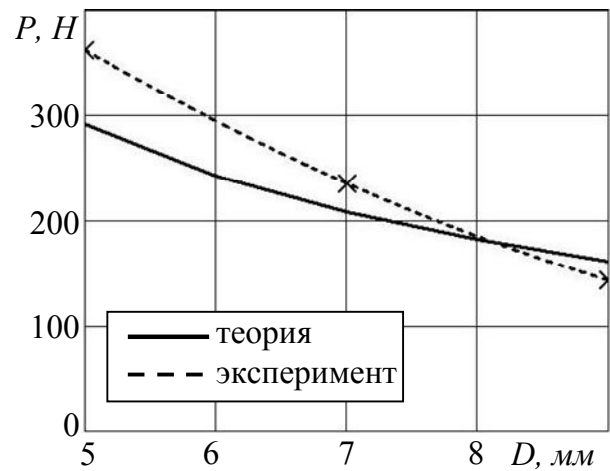


Рис. 3. Графики зависимости силы, деформирующей стальную оболочку как функция внешнего диаметра оболочки

Проверка гипотезы об адекватности моделей производилась с использованием F -критерия Фишера. Модель считается адекватной в случае выполнения условия

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{voc}^2} \leq F(\alpha, f_{ad}; f_{voc}), \quad (8)$$

где $F(\alpha, f_{ad}, f_m)$ – критерий Фишера при заданном уровне значимости α ;

f_{ad} – число степеней свободы дисперсии адекватности S_{ad}^2

$$f_{ad} = N - 1; \quad (9)$$

f_{voc} – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости отклика S_{voc}^2

$$f_{voc} = N(v - 1). \quad (10)$$

В табл. 1 приведены данные для оценки уровня адекватности рассматриваемых математических моделей деформирования элемента стружки.

Таблица 1

К оценке уровня адекватности математических моделей деформирования стружки инструментом при фрезеровании профильных пазов

Параметры	Сосредоточенное нагружение			Распределённое нагружение		
	$D=5$ мм	$D=7$ мм	$D=9$ мм	$D=5$ мм	$D=7$ мм	$D=9$ мм
Дисперсия адекватности S_{ad}^2	2602,0	220,1	511,5	2235,9	277,1	128,0
Число степеней свободы f_{ad}	3					
Дисперсия воспроизводимости S_g^2	648,4	122,2	193,1	650,3	220,4	41,8
Число степеней свободы f_g	8					
Расчетное значение F -критерия Фишера	4,01	1,8	2,65	3,44	1,26	3,06
Табличное значение F -критерия Фишера (при уровне значимости $q=0,05$)	4,07					

Аппроксимация полученных экспериментальных данных осуществлялась с целью визуальной оценки соответствия характера зависимостей исследуемого параметра $P^{стр.}$ от параметров δ (толщины оболочки) и D (внешний диаметр оболочки), полученных теоретически и экспериментально.

Оценка погрешности моделирования осуществлялась путем вычисления абсолютной и относительной погрешностей рассогласования теоретической кривой и экспериментально полученными данными. Среднее значение погрешности математической модели деформирования элемента стружки применительно к схеме сосредоточенного нагружения составляет 18,5 %, а применительно к схеме распределённого нагружения – 13,6 %. Средневзвешенное значение погрешности для обеих схем нагружения составляет 16,1 %.

Выводы

1. Выполнены теоретические исследования, направленные на определение силовых факторов повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом при фрезеровании профильных пазов.

Разработаны математические модели для определения силы повторного взаимодействия применительно к схемам сосредоточенного и распределённого нагружений элемента стружки.

2. Выполнены экспериментальные исследования, позволившие подтвердить достоверность разработанных теоретических положений, а также установить адекватность математических моделей при заданном уровне вероятности и оценить погрешности моделирования.

3. Разработан математический аппарат и соответствующий программный комплекс, ориентированные на определение силовых факторов повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом. Полученные значения указанных силовых факторов являются основой для прогнозирования точности обработки профильных пазов.

Список литературы: 1. *Неченаев В.Г.* Анализ повторного взаимодействия стальной стружки с инструментом при фрезеровании профильных пазов / *Неченаев 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. *Неченаев В.Г.* Постановка задачи повышения точности обработки профильных пазов / *Неченаев 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. *Неченаев В.Г.* Структура формирования погрешностей при фрезеровании профильных пазов / *Неченаев 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. *Неченаев В.Г.*

Результаты экспериментальных исследований фрезерования профильных пазов / В.Г. Неченаев, А.Н. Гнитко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: збірник наукових праць. – Краматорськ-Київ: ДДМА, 2006. – Вип. 20. – С. 54–62. 5. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек. – М.: Наука, 1976. – 512 с. 6. Неченаев В.Г. Модель деформирования стружки инструментом при фрезеровании профильных пазов / В.Г. Неченаев, М.С. Мышов // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. В. 140/2013. Серія: Машинобудування та транспорт. – Севастополь, 2013. – С. 84–89. 7. Неченаев В.Г. Моделирование повторного деформирования элемента стружки при фрезеровании профильных пазов для случая распределённого его нагружения / В.Г. Неченаев, М.С. Мышов // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск, вып. № 32, 2013. – С. 43–48.

УДК 621.91.01

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ОБРАБОТКИ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Петряева И.А., Михайлов А.Н.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: irina_petryaeva@mail.ru

Abstract: *The article presents a general method of controlling a treatment process shaped surfaces of details based on function-oriented approach in order to ensure the required quality parameters of the surface.*

Key words: *moulded surface, geometrical parameters, cross section cut, function-oriented approach.*

В машиностроении широкое распространение получили детали типа тела вращения, рабочая поверхность которых образована криволинейной образующей, комбинацией прямолинейных образующих, расположенных под различными углами к оси детали, или комбинацией криволинейных и прямолинейных образующих [1]. К таким деталям относят: кулачки, рукоятки различных форм, ковочные штампы и пресс-формы, формовочные валки прокатного оборудования, лопатки газовых турбин и др.

Технологические процессы изготовления деталей сложной формы с фасонными поверхностями, имеющие некоторые особенности, требуют пристального рассмотрения и усовершенствования с учетом современных тенденций. Существующие технологические способы обработки фасонных

поверхностей, рассмотренные в работах [1–5], требуют сложной кинематики относительного движения заготовки и инструмента и характеризуются переменными значениями технологических факторов, определяющих условия обработки.

В настоящей работе в качестве представителей рассматриваемой группы деталей выбраны ролики прокатных станов (рис. 1), предназначенные для транспортирования заготовок и проката для заготовочных, обжимных, листовых, сортовых, трубных станов и агрегатов непрерывного литья и прокатки металла.

При эксплуатации в рассматриваемых деталях возникают напряжения, вызванные силовым воздействием проката, от действия тепловых факторов.

В результате процессов трения между поверхностями роликов и транспортируемым металлом происходит износ этих поверхностей, и как следствие, выход детали из строя. Поэтому, технологическое обеспечение эксплуатационных свойств данных деталей в процессе изготовления является актуальной задачей. Поскольку термическая обработка заготовок после токарной обработки вызывает деформации заготовки, то механообработка должна обеспечить высокий уровень качества поверхностного слоя и размерную точность, чтобы снизить объем отделочных операций.

Процесс обработки фасонной поверхности существенно отличается от обработки цилиндрической поверхности, т. к. имеет ярко выраженный нестационарный характер. Это обусловлено изменением ряда геометрических параметров процесса резания: траектория формообразующего движения, непрерывно изменяющееся направление подачи, изменение мгновенных значений ширины и толщины среза, изменение кинематических углов в плане, кинематических переднего и заднего углов. В зависимости от этого наблюдается изменение режимов резания – скорости, подачи, сил резания. При обработке с переменной скоростью резания возрастает уровень сил резания, появляются различия в значениях температур резания, снижается период стойкости инструмента. При обработке с переменной подачей наблюдается уменьшение сил резания, температуры, высоты микронеровностей и повышение периода стойкости инструмента.

Таким образом, процесс обработки точением фасонных поверхностей имеет нестационарный характер, поэтому при назначении элементов режимов резания, выборе геометрии и формы режущей пластины необходимо



Рис. 1. Сложнопрофильные детали металлургического оборудования

установление взаимосвязей между этими характеристиками на основании функционально-ориентированного подхода (ФОП) [7], на всех уровнях технологического процесса обработки. В этом случае, в непрерывно изменяющихся условиях резания особенно важно правильное сочетание формы режущей части инструмента, марки инструментального материала и покрытия с условиями обработки. После деления изделия на функциональные элементы разрабатывается структура технологических воздействий или операций технологического процесса.

Наиболее универсальный вариант подготовки и проведения технологического процесса обработки фасонной поверхности детали, при котором инструменту сообщается соответствующее криволинейное движение относительно обрабатываемой заготовки представлен на рис. 2. Схема отображает последовательность принятия решений по обеспечению требуемого качества обработанных поверхностей деталей прокатного оборудования.

Процесс эксплуатации рассматриваемых деталей характеризуются жесткими и неблагоприятными техническими условиями: силовые и температурные воздействия, динамические нагрузки, различные виды износа. Исходя из этого, детали должны обладать определенным перечнем необходимых эксплуатационных свойств, таких как износостойкость, теплостойкость, коррозионная стойкость, усталостная прочность, стойкость против образования поверхностных дефектов и др.

Исходя из этого, возникает ряд последовательных задач по обеспечению соответствующего качества обработанной поверхности. Во-первых, это управление процессом обработки фасонной поверхности детали (изменением ее геометрических характеристик со снятием припуска). Во-вторых, оценка влияния динамических воздействий на процесс резания и обеспечение возможности управления колебаниями, т.к. динамические процессы системы СПИД имеют негативный характер влияния на геометрические параметры обработанной детали.

Значительным этапом является установление взаимосвязи между характеристиками инструмента (геометрия, инструментальный материал, покрытие) и обрабатываемой детали, а именно нахождение оптимального соответствия применяемого инструмента условиям обработки. При непрерывно изменяющихся условиях при точении фасонной детали выбор режущего инструмента, в частности резца, оказывает существенное влияние на ряд показателей при выполнении технологических воздействий:

- управление режимами резания с целью повышения производительности и снижения себестоимости обработки;
- увеличение периодов стойкости инструмента, а как следствие, сокращение количества их замен и связанных с этим простоев оборудования;
- расширение технических ограничений процесса обработки (например, увеличение максимальной силы резания);
- повышение качества обработанной поверхности;



Рис. 2. Структурная схема процесса обеспечения качества фасонных поверхностей деталей прокатного оборудования

При выборе режущего инструмента для данной операции следует руководствоваться следующими критериями:

- возможность обработки данной формы поверхности;
- возможность обеспечения требуемого качества обработанной поверхности;
- возможность повышения точности обработки;
- правильное сочетание формы режущей части с условиями обработки;
- высокие износостойкость и прочность инструмента;
- соответствие свойств обрабатываемого и инструментального материалов;
- требуемый период стойкости инструмента;
- возможность использования более жестких режимов обработки при сохранении необходимого качества обработанной поверхности.

Только при выполнении каждого из рассмотренных этапов в соответствии с принципами функционально-ориентированного подхода возможно технологическое обеспечение требуемого качества изготовления фасонных деталей.

Установление связей и взаимного влияния всех составляющих процесса обработки фасонной поверхности целесообразно выполнять на основании ФОП для управления процессом резания и, как следствие получение требуемых параметров качества обработанной поверхности.

Список литературы: 1. Машиностроение. Энциклопедия / *Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др.* – Технология изготовления деталей машин. Т. III-3 / *А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Суслова.* – М.: Машиностроение, 2000. – 840 с., ил. 2. *Петраков Ю.В.* Развитие САМ систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПУ: Монографія. – К.: Січкара, 2011. – 220 с. 3. *Фираго В.П.* Основы проектирования технологических процессов и приспособлений. Методы обработки поверхностей. – М.: Машиностроение, 1973. – 468 с. 4. Технология машиностроения: В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / *В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под. ред. А.М. Дальского.* – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 563 с., ил. 5. Основы технологии машиностроения / *Под ред. А.М. Дальского.* – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 426 с. 6. *Шарин Ю.С.* Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.: ил. 7. *Михайлов А.Н.* Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: Технополис, 2008. – 346 с.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С УСЛОВИЯМИ ОБРАБОТКИ ШЛИФОВАНИЕМ

Полтавец В.В., Шаповалова Н.Н.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел. +38 (062) 3010731; E-mail: vvardon@mail.ru

Abstract: *It was established that the thermal stress of grinding of workpieces from titanium alloys is the most important factor in creating of defects in the surface layer of these workpieces. To ensure an acceptable level of thermal stress of the process of grinding of workpieces made of titanium alloys when specifying the cutting conditions account must be taken of physical and mechanical properties of titanium alloy and physical and chemical phenomena in the cutting zone.*

Keywords: *grinding, defect, surface layer, cutting conditions.*

В настоящее время титановые сплавы вследствие своих уникальных физико-механических и химических свойств нашли довольно широкое распространение в различных отраслях машиностроения. За последние годы область их использования помимо авиакосмической техники стала охватывать ракетно- и судостроение, химическую, нефтяную и другие отрасли промышленности. Титановые сплавы, как правило, используются для изготовления особо ответственных деталей, к качеству поверхности которых предъявляются очень высокие требования. Однако эффективность широкого применения сплавов титана сдерживается их низкой обрабатываемостью шлифованием, удельный вес которого определяет уровень технического прогресса в ведущих отраслях промышленности [1].

Процесс шлифования, являющийся финишным этапом обработки деталей машин и механизмов, в результате которого происходит окончательное формирование параметров поверхностного слоя, для титановых сплавов изучен не в полной мере. Это значительно затрудняет освоение производства изделий из таких материалов. К основным проблемам, связанным с их обработкой, можно отнести адгезию, диффузию и химическое взаимодействие материалов под действием высоких температур, возникающих в зоне резания. Это приводит к нерациональному использованию ресурса инструмента и ухудшению качества поверхностного слоя обрабатываемой заготовки [2].

Существующие способы повышения эффективности шлифования титановых сплавов не предусматривают оптимизацию и управление временной стабильностью характеристик процесса резания.

Сложность взаимных связей параметров процесса шлифования и сопровождающих его явлений служат причиной недостаточно полного

математического моделирования процесса в настоящее время. Достижения последних лет в области снижения теплонапряженности процессов шлифования не решают в полной мере проблемы высокопроизводительной бездефектной обработки заготовок из титановых сплавов [2].

Процессам обработки шлифованием присущи определенные недостатки, вызванные непрерывными динамическими изменениями условий взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом в зоне резания, которые в целом характеризуют нестабильность процесса обработки во времени. Это обуславливает негативные изменения теплового и силового воздействия на инструмент, нерациональное использование его ресурса и ухудшение качества поверхностного слоя обрабатываемой детали. Интенсивность отмеченных процессов зависит от свойств формообразующего инструмента, свойств технологической системы и условий обработки, и особенно проявляется при шлифовании деталей из титановых сплавов. Шлифование титановых сплавов характеризуется высокой теплонапряженностью, что является основной причиной появления дефектов. Соответственно, тепловые явления, сопровождающие процессы резания, являются одним из главных факторов, сдерживающих эффективность обработки заготовок из титановых сплавов [3].

При обработке вязких материалов, например, нержавеющей стали, титановых и алюминиевых сплавов, режущая способность абразивных зерен не может быть реализована в полной мере, так как наблюдается засаливание инструмента, возрастают силы резания, интенсифицируется процесс вырыва зерен из связки и ее разрушение, что приводит к потере кругом геометрической формы и требует частых его правок. Применение алмазного инструмента на металлической связке при обработке указанных сплавов также нецелесообразно по причине их высокой адгезионной способности к алмазу, что интенсифицирует наростообразование, приводит к увеличению температуры резания до 800–1600 °С и потере алмазами режущих свойств с одновременным появлением прижогов на детали и микротрещин из-за напряжений растяжения, вызванных высокими градиентами температур [4].

Перспективным направлением повышения производительности и улучшения качества обработанной поверхности при абразивной обработке, является введение в зону резания ультразвуковых колебаний малой амплитуды. Однако, ультразвуковая обработка шлифовальными кругами сопряжена с трудностями, связанными с затуханием колебаний в керамической или органической связке круга, необходимостью увязки его размеров с параметрами ультразвуковой волны, а также повышенным износом инструмента из-за выкрашивания абразивных зерен [4].

Уже первые исследования свойств титановых сплавов после механической обработки показали, что в зависимости от характера их обработки резанием усталостная прочность может сильно изменяться. Было выявлено, что после абразивного шлифования, особенно на форсированных режимах, титановые

сплавы показывают наиболее низкие значения усталостной прочности и, наоборот, механическая обработка точением лезвийным инструментом при низких скоростях резания и снятием небольшой стружки при чистовой обработке с последующей ручной полировкой тонкой шкуркой дает самые высокие значения усталостной прочности. Разница в определяемых пределах выносливости для этих двух видов обработки для одних и тех же титановых сплавов может быть двух- и даже трехкратной. Большинство исследователей неблагоприятное влияние шлифования на усталостную прочность объясняло созданием в поверхностном слое высоких растягивающих напряжений [5].

Подробное исследование причин понижения усталостной прочности после абразивного шлифования произведено Л.А. Гликманом и Л.М. Фейгиным [6]. Для исследования был взят титановый сплав с 4,5 % Al (типа BT5). По полученным данным шлифованные образцы по сравнению с точеными и полированными образцами устойчиво имели усталостную прочность ниже на 25 %. Защита зоны шлифования аргоном не изменила низкие значения усталостной прочности; следовательно, основная причина понижения усталостной прочности после шлифования – не результат химического взаимодействия поверхности с воздухом.

Практически не повысились низкие значения усталостной прочности и после того, как шлифованные образцы были отожжены (650°С в течение 1,5 ч) в аргоне, в результате чего остаточные поверхностные напряжения должны практически полностью сняться. Таким образом, растягивающие поверхностные напряжения также не являются главной причиной понижения усталостной прочности титановых сплавов.

В работе [6] было установлено, что при принятых режимах абразивного шлифования для восстановления усталостной прочности до уровня точеных образцов с ручной полировкой необходимо снять поверхностный слой толщиной около 0,1 мм. Очень важно, что действенность восстановления усталостной прочности после шлифования снятием поверхностного слоя была проверена резонансными испытаниями реальных турбинных лопаток (длиной более 600 мм), изготовленных из того же титанового сплава типа BT5.

В результате абразивного шлифования помимо возникновения поверхностных растягивающих напряжений на титановых сплавах может возникнуть дефектный поверхностный слой, резко снижающий усталостную прочность. Физическая природа этого дефектного слоя еще не совсем ясна. По предположениям авторов работы [6], определяющим фактором появления дефектного слоя являются микротрещины в поверхностном слое обработанной детали.

Дальнейшие исследования особенностей воздействия условий шлифования на усталостную прочность титановых сплавов показали [7], что существенное значение имеет материал и зернистость абразива, режимы и характеристики шлифовального оборудования. Исследования по выбору материалов абразивных кругов показывают, что лучшую производительность и меньшее

снижение усталостной прочности можно получить при использовании кругов из зеленого карбида кремния, борсиликокарбида и карбида бора; наоборот, худшие результаты дают круги из хромистого электрокорунда и монокорунда. Так, после шлифования образцов из сплава ВТЗ-1 кругами из зеленого карбида кремния усталостная прочность оказывается в 2 раза выше, чем после шлифования кругами из монокорунда. В некоторых зарубежных странах (США, Япония) для шлифования титана применяют карбид циркония, корунд с присадками двуокиси циркония и др. Важнейшими параметрами режима шлифования, оказывающими наибольшее влияние на выносливость, являются наличие смазочно-охлаждающей жидкости, подача на врезание и скорость круга. По данным работы [7], сухое шлифование приводит к микротрещинам в поверхностном слое даже при отсутствии прижогов. Охлаждение простой эмульсией уже повышает предел усталости на 17 %, а применение в качестве охлаждения 10 %-ного раствора нитрата натрия и 0,5 %-ного бутилнафталинсульфоната увеличивает усталостную прочность по сравнению со шлифованием без СОЖ на 33 %. Увеличение подачи на врезание заметно снижает усталостную прочность. В частности, при охлаждении раствором нитрата натрия с увеличением подачи с 1 до 5 мкм/об предел выносливости понижается на 12 %. Увеличение линейной скорости шлифования с 10 до 30 м/с приводит к снижению предела выносливости на 25 %. Анализ показывает, что при шлифовании титановых сплавов наиболее опасно развитие высоких температур на поверхности, которые приводят к высоким растягивающим поверхностным напряжениям и способствуют образованию дефектного поверхностного слоя. Поэтому применять шлифование титановых сплавов абразивными кругами как финишную операцию не рекомендуется. После этой операции необходимо обеспечить удаление напряженного дефектного поверхностного слоя другими методами [7].

Установлено, что при алмазном шлифовании титановых сплавов аналогично обработке твердых сплавов и в отличие от обработки закаленных сталей время контакта зерна с металлом не оказывает существенного влияния на износ кругов. Это свидетельствует о том, что износ алмазных зерен при взаимодействии с титаном не определяется физико-химическими явлениями в зоне резания, а зависит главным образом от механических свойств сплавов. При наружном круглом шлифовании сплавов ВТЗ-1 и ВТ5-1, различных по структуре, но близких по физико-механическим свойствам, значения удельного расхода алмазов также практически одинаковы. При шлифовании сплава ВТ16, обладающего большей прочностью и пластичностью, износ алмазных кругов значительно выше [8].

При алмазном шлифовании титановых сплавов удельный расход алмазов значительно меньше, чем при обработке закаленных сталей, несмотря на неодинаковые значения температуры в зоне резания. Это также свидетельствует о том, что износ алмазных зерен при обработке железоуглеродистых сплавов происходит не в результате высоких температур в

зоне резания, а в результате физико-химических явлений, которые интенсифицируются с повышением температуры.

Выводы

1. Теплонапряженность процесса шлифования заготовок из титановых сплавов является важнейшим фактором, обуславливающим возникновение дефектов в поверхностном слое таких заготовок.

2. Использовать шлифование заготовок из титановых сплавов абразивными кругами как финишную операцию технологического процесса не рекомендуется вследствие высокой вероятности снижения усталостной прочности обрабатываемого материала. Применение алмазных кругов эффективно для тех же целей при обоснованном выборе параметров режима резания.

3. Для обеспечения приемлемого уровня теплонапряженности процесса шлифования заготовок из титановых сплавов при назначении параметров режима резания обязательным является учёт физико-механических свойств титанового сплава и физико-химических явлений в зоне резания.

Список литературы: 1. *Васильев А.А.* Совершенствование процесса плоского глубинного шлифования титановых сплавов с использованием высокопористого абразивного инструмента: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / *Алексей Анатольевич Васильев*; Волжский институт строительства и технологий (филиал) ГОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет». – Волгоград, 2008. – 17 с. 2. *Старшев Д.В.* Совершенствование процесса шлифования титановых сплавов прерывистыми кругами на базе математического моделирования механики и теплофизики процесса: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / *Денис Владимирович Старшев*; Ижевский государственный технический университет. – Ижевск, 2006. – 16 с. 3. *Репко А.В.* Технологическое обеспечение эффективности алмазного шлифования плоских поверхностей деталей из титановых сплавов перфорированными кругами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / *Александр Валентинович Репко*; Ижевский государственный технический университет. – Ижевск, 1999. – 16 с. 4. *Фирсов В.М.* Технологическое обеспечение финишной ультразвуковой обработки вязких высокопрочных материалов дисковым металлическим инструментом с восстанавливаемой при помощи электроэрозии в процессе обработки рабочей поверхностью: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / *Владимир Михайлович Фирсов*; Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина. – Саратов, 2011. – 17 с. 5. *Кравченко Б.А.* Влияние остаточных напряжений на предел выносливости жаропрочного сплава ЭИ 4375 и титанового сплава ВТЗ-1 / *Б.А.Кравченко*. – Труды Куйбышевского авиационного ин-та, 1963, вып. 18. – С. 59–66. 6. *Гликман Л.Д.* Природа снижения усталостной прочности титановых сплавов в результате шлифования

/ Л.Д. Гликман, И.М. Фейгин. – МиТОМ, 1967, № 12. – С. 16–19. 7. Гринченко И.Г. Упрочнение деталей из жаропрочных и титановых сплавов / И.Г. Гринченко. – М.: Машиностроение, 1971. – 120 с. 8. Износ шлифовальных кругов. – Режим доступа: http://metallicheckiy-portal.ru/articles/obrabotka/shlifovka_i_polirovka/iznos_shlifovalnix_krugov.

УДК 338.2:006.015.5

УСИЛЕНИЕ РОЛИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ НОВЫХ РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Примуш Д.Н., Момот А.И.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./факс: +38 (062) 3045603; E-mail: momot@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: *There were considered questions of strengthening the role of quality in anew market.*

Keywords: *quality, market, customer, management, standards, enterprise, causes of inefficiency, product, production.*

Качество – категория всеобщая. Однако особенно важно оно в производстве продукции и услуг. Естественно, что большое практическое значение имеют теоретические и практические познания этой области.

Известно, что вход на рынок зависит от политических, экономических, научно-технических и многих других факторов, которые необходимо учитывать комплексно и во всей их сложности.

Специалисты промышленных и торговых предприятий, хорошо знакомые с рынком, знают, что продажа всё больше зависит от качества товаров и услуг; только тот имеет шанс продать свои товары и услуги, кто предлагает их с ожидаемым качеством, подходящей ценой и в нужное время. Покупатели считают естественным хорошее качество продукции и услуг, но в то же время ожидают некоторых сюрпризов при покупке нового товара. Становится всё яснее, что поставщик должен предугадывать ожидания покупателей и поражать их своими новыми товарами и услугами. На рынках мира идёт беспощадная борьба между рынками за сбыт товаров, за покупателей, проводится жёсткая политика вытеснения конкурентов.

От результатов в области качества сегодня зависит слишком многое: удастся ли экономике Украины и её предприятий достаточно быстро интегрироваться в мировое хозяйство, войдёт ли Украина в сообщество развитых стран как полноправный его член или окажется на положении сырьевого придатка.

Вопросам качества продукции уже давно уделяется достаточно внимания во многих публикациях. Известные ученые с мировыми именами посвятили данной проблеме свои труды, в т.ч. Э. Деминг (Выход из кризиса) [1], А. Фейгенбаум (Всеобщий контроль качества) [2], Ф. Кросби (Качество бесплатно) [3], Дж. Харрингтон (Управление качеством в американских корпорациях) [4] и многие другие.

Однако следует отметить, что в современных нестабильных рыночных условиях, характеризующихся не прекращающимися экономическими, финансовыми и социальными кризисами, понятие «качество» также претерпевает определенные изменения.

Основной целью данной публикации является рассмотрение современного подхода к пониманию качества и его особенностей в условиях новых рыночных отношений.

Успешная интеграция украинских предприятий в международное разделение труда невозможна без обеспечения стабильного качества и на этой основе и на этой основе конкурентоспособности продукции. И прежде всего это поняли на предприятиях, ориентированных на внешние рынки. Длительное время эти предприятия находились в тепличных условиях. За счёт низких цен внутреннего рынка на сырьевые ресурсы и рабочую силу, не соответствовавшим ценам мирового рынка, предприятия могли, по существу не уделяя должного внимания качеству продукции, реализовать её своим зарубежным партнёрам по ценам демпинга, зачастую ниже себестоимости – что вызывало справедливые протесты зарубежных конкурентов. В условиях завышенного по отношению к конвертируемым валютам курса гривны такая «стратегия» позволяла этим предприятиям жить безбедно. Но по мере перехода экономики на рыночные рельсы, установления цен на ресурсы в соответствии с общемировыми ценами, отечественные предприятия стали вытесняться с мирового рынка западными конкурентами. Сегодня эти предприятия стоят перед дилеммой: либо они уходят с мирового рынка, либо обеспечивают стабильное и высокое качество и на этой основе добиваются повышение эффективности конкурентоспособности продукции.

Изменилось при этом коренным образом и положение предприятий, целиком ориентированных на выпуск продукции для внутреннего рынка.

В условиях ненасыщенного рынка, острой нехватки товарной массы и монопольного положения многих предприятий на внутреннем рынке, политика их сводилась, прежде всего, к наращиванию объёмов выпускаемой продукции. Вопросы же качества находились далеко не на первом месте. Качество выступало как нечто дополнительное, и рассматривалась не как категория экономическая, а как категория этическая в условиях диктата, всевластия производителя над потребителем и не могло быть иначе. И все благие призывы потребителя, решения правительства, все разрабатываемые и реализуемые государством программы по обеспечению качества выпускаемой продукции в отрыве от действий реального рыночного механизма не достигали и не могли

достичь главного – переориентации на нужды и потребности потребителя. Потребитель, не имея практически свободы выбора, вынужден удовлетворяться тем, что ему предоставляет изготовитель.

Однако такое положение не вечно, и всё чаще отечественные предприятия монополисты, ещё недавно целиком господствовавшие на отечественном рынке в Украине и на территориях экономической зоны бывшего Союза, начинают сталкиваться с всё более мощной конкуренцией со стороны фирм развитых экономических стран. На наших глазах эти предприятия теряют рынок (автомобили, теле- и видеотехника, вычислительная техника, продукты питания).

Исследования деятельности предприятий разных отраслей промышленности показали одно: теряют рынки сбыта и разоряются, не сумев сохранить конкурентоспособного уровня своей продукции или услуг именно те предприятия, руководство которых не придало должного значения решению задачи добиться удовлетворённости потребителя. Даже если такие предприятия и не теряют дееспособности, они терпят значительные убытки из-за низкого качества своей продукции. С другой стороны, успеха добиваются предприятия, которые никогда не упускают из вида запросов своих потребителей, никогда не забывают о том, что выпускаемая ими продукция – это самый прямой канал связи с потребителем, что в первую очередь внимания требует сохранение или достижение высокого качества продукции и удовлетворение требований потребителя. Стремление удовлетворить запросы потребителя и стремление выпускать высококачественную продукцию – а это вещи взаимосвязанные – приведёт к повышению эффективности работы любого предприятия.

Осознание необходимости перемен, обусловленных новыми подходами к управлению предприятия на основе обеспечения качества – один из важнейших критериев оценки деятельности любого руководителя предприятия. Без такого осознания первым лицом решить важнейшую задачу – подготовить предприятие к возрастающим угрозам со стороны внешней среды – невозможно.

Второе действие – формирование нового видения, цель которого – сформировать у всего коллектива понимание необходимости изменений, без которых у предприятия нет будущего.

Как показала практика последних лет, способностью выдержать экономический спад, застой или бум и вытекающий отсюда диктат покупателя или продавца на рынке обладают только те организационные структуры, которые предлагают своему потенциальному потребителю продукцию лучшую, чем их конкуренты. Когда спрос превышает предложение, изделия пониженного качества тоже легко находят сбыт. Когда на рынке диктует продавец, трудно удержаться от соблазна и не погнаться за максимальными прибылями, не попытаться сорвать «бешеные» деньги. Естественно, когда потребителя интересует только цена, а не ценность приобретённой им продукции, он становится лёгкой и «законной» добычей тех, кто поставяет некачественный

товар. Однако, несмотря на свойственную человеку склонность поддаваться искушению выгодной сделки, покупатели становятся всё более разборчивыми и всё более осведомленными. Рано или поздно покупатель узнает, что его обманули.

Для всех, кто связан с коммерческой деятельностью, основной является задача удовлетворения потребителя. Если это не удаётся, то со временем другое предприятие, выпустив более привлекательную или менее доброкачественную, но более дешёвую продукцию, получит заказы. Лишь те предприятия, которые осознают этот факт, продолжают работать. Это положение легко забывается в периоды, когда спрос превышает предложение. Но у потребителя хорошая память, и с неизбежностью крах терпят те предприятия, руководство которых пренебрегает этим фактом.

Именно потребитель должен получать удовлетворение от предоставляемых ему товаров и услуг, в противном случае он перестанет быть их потребителем. Необходимо отметить, что сегодня в западном мире общепризнанно – качество стало лучшим направлением вложений средств для усиления позиций фирм на международном рынке. Наблюдается беспрецедентный рост внимания к качеству во всех странах мира.

Всё это позволяет сделать вывод: само существование или выживание предприятия в условиях рыночной экономики базируется, прежде всего, на качестве продукции и услуг, которые они способны предложить своим потребителям. Один из видных американских специалистов по управлению качеством Джеймс Харрингтон отмечал, что восьмидесятые-девяностые годы – это арена борьбы за качество и цена поражения в этой борьбе – экономическая катастрофа [4]. Отсюда – новая стратегия предприятия, ориентированная на достижение коммерческого успеха через качество.

Список литературы: 1. Деминг Э. Выход из кризиса. – Тверь: Альба, 1994. – 497 с. 2. *Feigenbaum A.* Total Quality Control, Third edition. New York: McGraw-Hill Book Co., 1983. – 240 p. 3. *Crosby Ph.* Quality is Free. – New York: McGraw-Hill Book Co., 1979. – 250 p. 4. Харрингтон Дж. Управление качеством в американских корпорациях/ Сокр. пер. с англ. – М.: Экономика, 1990. – 272 с.

ВОПРОСЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПРИ РЕЗАНИИ

Чернышев Е.А., Ляпин А.Ю.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./Факс: +38 (062) 3010805; E-mail: chernyshev81@mail.ru

Abstract: *the paper presents some problems of theoretical investigations of dynamic process in turning.*

Key words: *turning, oscillations, modeling.*

Для теоретического исследования динамики системы резания при механической обработке используются различные подходы. Причем результаты, получаемые при решении математических моделей, в значительной мере зависят от тех концептуальных основ и исходных предпосылок, которые закладываются в создаваемую модель, и от принятых допущений. Речь не идет об «имитационном моделировании» с использованием различных «стимуляторов», работающих по принципу «черного ящика», т.к. пользователь соответствующих программных средств, вводя исходные данные и получая результаты численного решения, отчужден от самой математической модели, которая зачастую ему вовсе неизвестна. Подобные *инженерные* программы, предназначенные для численного решения *известных математически однотипных* задач, не имеют теоретической ценности, характерной для аналитических моделей, созданных под конкретный физический процесс и полностью контролируемых.

Отметим, что само понятие аналитического исследования претерпело существенные изменения. Если раньше аналитическое исследование подразумевало точное аналитическое решение уравнений (в противовес численному), то в последние десятилетия с усложнением решаемых задач, ранее недоступных в принципе, аналитический метод подразумевает скорее *не метод решения, а метод создания математической модели*. В связи с этим точнее говорить об *аналитическом моделировании*, которое, вообще говоря, не исключает и численного решения уравнений. Актуальным здесь является уже анализ результатов численного решения *аналитической* модели. Рассмотрим для примера некоторые вопросы аналитического моделирования динамики системы резания при точении.

Обычно рассматриваются две приведенные массы – инструмент и заготовка, совершающие малые колебания в различных направлениях. От выбора этих направлений, точнее, от их количества, во многом зависит достоверность математической модели. Очевидно, что необходим учет по меньшей мере четырех степеней свободы, соответствующих тангенциальным и

радиальным колебаниям приведенных масс. Что касается осевых колебаний, то, по-видимому, учесть их для заготовки довольно сложно в силу ее закрепления в приспособлении. Если же рассматривать осевые колебания совместно заготовки и шпинделя, то это существенно усложняет модель, т.к. в данном случае непонятно, что считать приведенной массой заготовки – ведь тангенциальные и радиальные колебания заготовки можно считать не зависящими от массы шпинделя, а осевые зависят. Поэтому представляется возможным пренебречь осевыми колебаниями заготовки для сохранения сравнительной простоты модели.

Одним из важнейших свойств создаваемой математической модели является принятая зависимость силы резания – считается ли она периодической, стохастической или просто постоянной величиной. Этот вопрос решается, вообще говоря, с некоторой долей произвола, т.к. аналитической зависимости силы резания от времени не существует. Имеющиеся эмпирические формулы расчета величины силы резания характеризуют среднее значение силы за длительный промежуток времени, а коэффициенты этих формул являются случайными величинами, причем данные об их дисперсиях в литературе не приводятся.

Термин «постоянная величина» применительно к силе резания употреблен здесь как «не зависящая явно от времени». Безусловно, в каждый момент времени мгновенная величина силы резания будет зависеть, помимо прочих физических факторов, от колебаний резца и заготовки, которые изменяют мгновенные значения скорости резания и подачи. Поэтому постоянство силы резания – это абстракция, характерная для идеальной системы резания, в которой отсутствуют любые колебания.

Очевидно, что на этой стадии создания модели делается выбор в пользу автономной или неавтономной динамической системы. В принципе любая выбранная модель не является заведомо обоснованной, а определяется в значительной мере задачами моделирования. Однако, на наш взгляд, модель обязательно должна учитывать влияние малых колебаний на фактические (мгновенные) значения режимов резания и, следовательно, на мгновенную величину силы резания, что в литературе называется координатной связью [1]. Эта связь обуславливает нелинейность динамической системы и, вообще говоря, невозможность ее точного аналитического решения. Кроме того, накладываются дополнительные условия, вызванные физикой процесса: режимы резания должны быть строго положительными. При неположительном значении хотя бы одного из режимов сила резания становится равной нулю, т.е. резание отсутствует (резец выходит из контакта с заготовкой). В этот момент система переходит в режим свободных затухающих колебаний, которые продолжаются до тех пор, пока все режимы не станут положительными, т.е. пока резание не возобновится. Этот регулирующий механизм теоретически может быть одной из причин автоколебаний. Примечательно также то, что автоколебания характерны только для автономных систем, что следует

учитывать при выборе неавтономной системы. Кроме того, разрывная характеристика силы резания, как уже обнаружено [2], в ряде случаев приводит к хаотическим колебаниям и появлению странных аттракторов, причем эти явления наблюдаются в широком диапазоне режимов резания. Другой вопрос, насколько разрывная характеристика силы резания соответствует практике.

Интересным является и анализ изменения силы резания, принятой изначально постоянной величиной, вследствие влияния на нее малых колебаний, который подводит к вопросу возможной стохастичности силы резания в сугубо детерминированной системе. Вопрос в такой постановке ранее не ставился.

Особенно важной задачей является исследование динамической устойчивости системы резания по Ляпунову. В последнее время использованию аналитических методов уделяется мало внимания, хотя они – в отличие от популярных ныне инженерных программ – позволяют установить и обобщить качественные закономерности. К сожалению, зачастую предпочтение отдается скорости получения численных результатов в ущерб аналитическим исследованиям. Теория устойчивости А.М. Ляпунова как раз может быть использована для анализа устойчивости автономной системы резания.

Список литературы: 1. Орликов М.Л. Динамика станков. – К: Вища шк., 1989. – 272 с. 2. Кабалдин Ю.Г., Биленко С.В., Саблин П.А. Математическое моделирование динамической устойчивости системы резания в виде нелинейного осциллятора с разрывными характеристиками // Вестник машиностроения. – 2006. – № 10. – С. 35–43.

СОДЕРЖАНИЕ

Байков А.В., Феник Л.Н., Кудрявцева С.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Влияние конструкции рабочего слоя торцового шлифовального круга на неравномерность съема материала при многопроходной обработке	4
Буленков Е.А., Бедрицкий М.Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Совершенствование технологического и структурного обеспечения многономенклатурных роторных систем для изготовления крепежных изделий	8
Бутенко В.И. (ЮФУ, г. Таганрог, Россия) Метод исследования и установка для определения теплопроводности материала поверхностного слоя деталей при отделочно-упрочняющей обработке	10
Бутенко В.И. (ЮФУ, г. Таганрог, Россия) Программно-математическая модель идентификации качества динамических процессов при резании материалов	15
Бутенко В.И., Захарченко А.Д. (Инженерно-технологическая академия ЮФУ, г. Таганрог, Россия) К вопросу оптимизации режимов обработки материалов резанием	28
Водолазская Н.В., Семейко М.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Факторы, влияющие на безопасность эксплуатации некоторых узлов кранового оборудования, работающего в условиях агрессивной среды	33
Голубов А.Н., Горобец И.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина), Исследование перемещений и деформаций в элементах системы перемещения человекоподобного робота	38
Горобец И.А., Грищенко И.Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Классификация и критерии выбора автоматизированных систем технической подготовки производства	47
Грубка Р.М., Тарасова Е.С. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Исследования напряжений в зубчатой втулке с зубьями с продольной модификацией при наличии погрешностей монтажа валов	56
Гусев В.В., Медведев А.Л. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Влияние на процесс правки среднего размера зерна свободного абразива	61

Долженкова В.В., Звягинцева А.В. (ВГТУ, г. Воронеж, Россия) Возможности информационных технологий для прогнозирования опасных природных явлений	66
Дубинина О.Т., Медведев В.В. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Метод магнитно-импульсной обработки крупногабаритных деталей – нераскрытые возможности	73
Дуров Д.С. (ЮФУ, г. Таганрог, Россия) Турбоэлектрические самолеты – лучшее решение для гибридных коммерческих авиакомплексов короткого взлета и посадки	76
Ермолаева Н.В., Соромотин А.Н. (ВИТИ НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск, Россия) Технология поверхностного монтажа групповой пайки экранирующих перегородок	82
Звягинцева А.В., Долженкова В.В. (ВГТУ, г. Воронеж, Россия) Разработка сценариев развития техногенных аварий методом построения дерева отказов на предприятиях газоперерабатывающей промышленности	85
Звягинцева А.В., Уколов Д.А. (ВГТУ, г. Воронеж, Россия) Анализ процессов пылеобразования при взрывах на карьере горно-обогатительного комбината и количественная оценка воздействия выбросов на окружающую среду	94
Звягинцева А.В., Шатских Е.О. (ВГТУ, г. Воронеж, Россия) Анализ возникновения и развития техногенных пожаров в нефтяных резервуарных парках и проблемы пожарной безопасности объектов хранения нефти	102
Ивченко Т.Г. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Оценка возможностей снижения себестоимости при точении за счет применения смазочно-охлаждающих сред	109
Ивченко Т.Г., Брадулов П.Р. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Анализ влияния поверхностных остаточных напряжений на износостойкость деталей при комбинированной обработке	116
Ивченко Т.Г., Михайлов Д.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина), Недашковский А.П. (СМЗ ОАО «Мотор Сич», г. Снежное, Украина) Анализ и синтез структуры технологии восстановления лопаток компрессора ГТД с применением функционально-ориентированных покрытий	121

Капустин С.А., Голубов Н.В., Горобец И.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Особенности нанесения покрытий детонационным методом.....	134
Киреев Д.О., Звягинцева А.В. (ВГТУ, г. Воронеж, Россия) Применение методов построения «дерева отказов» и «дерева событий» при оценке вероятности реализации техногенных аварийных ситуаций и сценариев их дальнейшего развития в технических системах, связанных с обращением опасных веществ.....	140
Коваленко В.И., Шичинов А.И. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) О наладке металлорежущего станка.....	150
Коробкин В.В., Захарченко А.Д. (Инженерно-технологическая академия ЮФУ, г. Таганрог, Россия) Исследование динамики перемещения рабочей штанги машины перегрузочной реактора типа ВВЭР.....	152
Кульбида О.О., Ищенко А.Л. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Способ сборки гладких цилиндрических соединений с зазором	157
Мартынюк Е.С. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Оценка результативности модели ИСМ промышленного предприятия.....	160
Масюк Л.Н., Гаркавый Е.Я., Скибенко Г.Г. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Интеллектуальная собственность в топливно-энергетическом комплексе Украины.....	164
Матвиенко С.А., Лукичев А.В., Сакно О.П. (ДГМА, г. Краматорск, ДААТ, г. Донецк, Украина) Технологическое обеспечение износостойкости деталей за счет формирования параметров качества поверхности вибрационной отделочно-упрочняющей обработкой.....	172
Мирошниченко О.А., Горобец И.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Методика выбора технологии изготовления колеса двигателя бесцепных систем подачи угольных комбайнов.....	179
Михайлов А.Н., Михайлов Д.А., (ДонНТУ, г. Донецк, Украина), Недашковский А.П. (СМЗ ОАО «Мотор Сич», г. Снежное, Украина) Подготовка поверхностей лопаток ГТД с эрозионно-коррозионными разрушениями вакуумных ионно-плазменных покрытий под напыление нового покрытия.....	183

Нечепаяев В.Г., Мышов М.С. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Теоретические и экспериментальные исследования силовых факторов повторного взаимодействия стружки с инструментом при фрезеровании профильных пазов.....	189
Петряева И.А., Михайлов А.Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Применение функционально-ориентированного подхода при управлении процессом обработки фасонных поверхностей деталей прокатного оборудования.....	197
Полтавец В.В., Шаповалова Н.Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Взаимосвязь параметров поверхностного слоя деталей из титановых сплавов с условиями обработки шлифованием.....	202
Примуш Д.Н., Момот А.И. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Усиление роли качества работы в условиях новых рыночных отношений.....	207
Чернышев Е.А., Ляпин А.Ю. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина) Вопросы аналитического исследования колебаний при резании.....	211

МАТЕРИАЛЫ ПЯТНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПАРТНЕРСТВА В СФЕРЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ»

Книга 3

Компьютерная верстка

Шаповалов Р.Г.

Печатается в авторской редакции

ЛР № 0205665 от 23.06.1997 г.
Формат 60×84¹/₁₆
Печать офсетная
Заказ №

Подписано к печати 1.06.2014 г.
Бумага офсетная
Усл. п.л. – 13,7, уч.-изд.л. – 13,5
тираж 100 экз.

«С»

Издательство Южного федерального университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44
Типография Южного федерального университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1