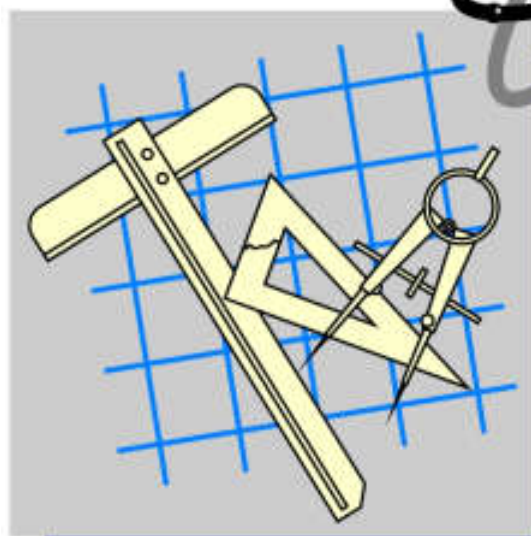
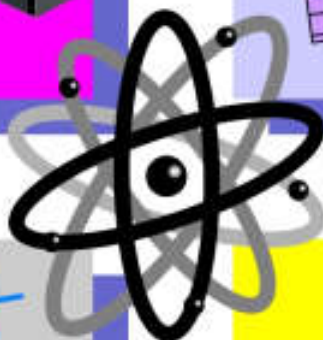
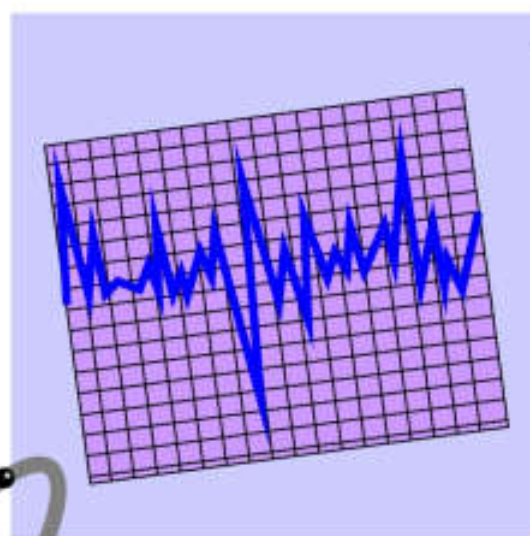


*Студенческий научно-технический
журнал*

ИНЖЕНЕР

№2 (28) 2019



ДОНЕЦК-2019



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический
журнал*

Основан в 2000 году

№ 2(28)'2019

Донецк – 2019

УДК 62

Журнал «Инженер» ориентирован на публикацию научных работ студентов, магистрантов, стажеров, аспирантов, молодых специалистов по вопросам: создания и применения прогрессивных технологий; информационных технологий; механизации и автоматизации производственных процессов; управления качеством, метрологии, сертификации; вопросам экономической теории и практики; моделирования, расчетов и проектирования сложных технических систем, экологических проблем промышленности.

Издается при содействии Международного союза машиностроителей

Учредитель – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»

Главный редактор
Зам. гл. редактора
Отв. секретарь

Михайлов А. Н.
Байков А. В.
Петряева И. А.

Редакционная коллегия:

Буленков Е. А., Голубов Н. В., Горобец И. А., Грубка Р. М., Гусев В.В., Ивченко Т. Г., Коваленко В. И., Лахин А. М., Навка И. П., Селивра С. А., Чернышев Е. А.

Адрес редакции:

ДонНТУ, каф. ТМ
6-й учебный корпус, 6.305
ул. Артема, 58
283001, г. Донецк
Тел.: +38-062-305-01-04
Факс: +38-062- 305-01-04

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Донецкой Народной Республики. Регистрационный номер 000134 от 06 июня 2017 г.

ISSN 2073-5804

© ГОУВПО «Донецкий национальный
технический университет», 2019

УДК 629.118:621.9

КРИТЕРИИ ВЫБОРА ВИДА И СПОСОБА ПРИМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Бутенко В.И., Давиденко К.В. (каф. ТМ ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

***Аннотация:** Разработан критерий выбора вида и способа применения поверхностно-активных веществ для повышения эффективности абразивной обработки деталей и приведены результаты определения его при использовании в качестве ПАВ на операциях шлифования дийодида хрома.*

***Ключевые слова:** деталь, способ, эффективность, критериальный подход, показатель, абразивный инструмент, операция.*

В современном машиностроительном производстве для повышения эффективности процессов механической обработки деталей машин широко используют поверхностно-активные вещества (ПАВ), обладающие определёнными свойствами, благодаря которым может быть повышены как производительность обработки детали, так и качество её поверхностного слоя [1 – 3]. К наиболее распространённым в металлообработке ПАВ относятся: олеиновая кислота, полиакрилат натрия, натриевые и калиевые мыла, битумные эмульсии, антикоррозионные добавки, эфир полиэтиленгликоля, кристаллический йод или дийодид хрома и другие. Анализ литературных данных и опыт производственной деятельности передовых машиностроительных предприятий показывает, что основными способами применения ПАВ при абразивной обработке деталей являются следующие:

1. Введение ПАВ в состав смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС).
2. Внесение ПАВ в состав абразивной массы для изготовления инструмента.
3. Импрегнирование абразивных инструментов составами, содержащими ПАВ.

Каждый из представленных способов применения ПАВ при абразивной обработке деталей имеет особенности, зависящие от факторов, обусловленных типом производства, материалом обрабатываемой детали, видом абразивной обработки, состоянием используемого оборудования, квалификацией оператора, техникой безопасности и т.д. В связи с этим перед технологами машиностроительных предприятий при разработке ими технологических процессов возникает проблема рационального выбора способа применения ПАВ при абразивной обработке поверхностей конкретных деталей в условиях действующего производства.

Одним из путей решения этой проблемы может стать предлагаемый критериальный подход к выбору способа применения ПАВ при абразивной обработке деталей. Сущность этого подхода состоит в том, что по предварительно установленным критериям оценки эффективности применения ПАВ, включающих основные показатели процесса абразивной обработки детали, технологом принимается решение об использовании того или иного вида способа применения ПАВ с учётом конкретной производственной ситуации. Такими основными критериальными показателями для процесса абразивной обработки поверхностей деталей машин являются:

1. Способ обработки поверхности детали: шлифование, доводка, хонингование, су-перфиниширование, комбинированная обработка.
2. Стоимость расхода использованного ПАВ на единицу обработанной детали.

3. Годовая программа обрабатываемых деталей.
4. Требования к поверхностному слою детали по показателям качества.
5. Физико-механические свойства материала обрабатываемой детали.
6. Техничко-экономический показатель – трудоёмкость изготовления детали.
7. Стойкость (или время непрерывной работы между правками) используемого абразивного инструмента.
8. Состав и способ подачи СОТС в зону обработки.

Критерий выбирается в зависимости от состояния производства, его типа, требований к качеству поверхностного слоя обработанной детали, других факторов. Однако в большинстве случаев в качестве критерия выбора способа применения ПАВ для конкретного вида абразивной обработки деталей может быть принят некоторый обобщённый показатель K_{cn} , определяемый по формуле:

$$K_{cn} = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times k_{COЖ},$$

где K_1 – показатель, учитывающий операционный расход использованного ПАВ на единицу обработанной детали: $K_1 = C/C^{ПАВ}$; здесь C – себестоимость операции абразивной обработки без применения ПАВ; $C^{ПАВ}$ – себестоимость этой операции с применением ПАВ;

K_2 – показатель, учитывающий производительность обработки детали; $K_2 = (T_{ум})^{ПАВ}/T_{ум}$; здесь $(T_{ум})^{ПАВ}$ – штучное время на выполнение операции абразивной обработки с применением ПАВ; $T_{ум}$ – штучное время выполнения этой операции без применения ПАВ;

K_3 – показатель, учитывающий качество получаемого поверхностного слоя обработанной детали; $K_3 = (K_{ш})^{ПАВ}/K_{ш}$; здесь $K_{ш}$ – коэффициент шероховатости поверхности, определяемый, например, в значениях параметра Ra (мкм) для n обработанных деталей по формуле: $K_{ш} = (Ra_1 + Ra_2 + Ra_3 + \dots)/n$ (Ra_1, Ra_2, Ra_3, \dots – средние значения параметра шероховатости Ra обработанной поверхности 1, 2, 3, ...);

K_4 – показатель, учитывающий изменение стойкости используемого абразивного инструмента; $K_4 = T/T^{ПАВ}$; здесь T – стойкость (или время между правками) абразивного инструмента без применения ПАВ; $T^{ПАВ}$ – стойкость этого инструмента при использовании ПАВ;

$k_{COЖ}$ – коэффициент, зависящий от способа подачи СОТС в зону обработки; при подаче поливом $k_{COЖ} = 1,0$; при подаче СОТС под давлением $k_{COЖ} = 0,9$; при создании в подаваемой СОТС кавитации или ультразвуковых колебаний $k_{COЖ} = 0,8$.

Анализ данных, полученных от машиностроительных предприятий, на которых использовались различные ПАВ при выполнении операций абразивной обработки цилиндрических и плоских поверхностей деталей, показал, что обобщённый показатель K_{cn} изменяется в диапазоне $0,5 \leq K_{cn} \leq 1,0$. Это подтверждается проведёнными экспериментальными исследованиями процесса шлифования цилиндрических и плоских поверхностей деталей с использованием в качестве ПАВ йода, который при выполнении операций абразивной обработки поверхностей деталей машин может быть использован в виде кристаллического вещества или в соединении, например, диодиде хрома. Литературные данные [3] и результаты выполненных исследований [1, 4 – 6] свидетельствуют о том, что кристаллический йод можно использовать в тех случаях, когда температура в зоне обработки не превышает 250°C. Однако при шлифовании в зоне контакта абразивного инструмента и обрабатываемого материала температура резания может достигать 600 и более градусов. В этом случае

вместо кристаллического йода в качестве ПАВ рекомендуется использовать диодид хрома, который разлагается в выделением йода при температурах 550 – 650°C [7 – 10].

Результаты экспериментальных исследований показали, что диодид хрома можно использовать при выполнении операции шлифования добавлением его в СОТС, внесением в состав абразивной массы и при импрегнировании абразивных инструментов. На рис. 1 приведены обобщённые результаты исследований критерия $K_{сн}$ от годовой программы обрабатываемых деталей N применения диодид хрома добавлением в СОТС (кривая 1), внесением в абразивную массу (кривая 2) и импрегнирования шлифовальных кругов (кривая 3), полученные по данным ОАО «Ейский станкостроительный завод», «Красный гидропресс», «ТАВИА», «Сальский завод КПО» и ряда других предприятий

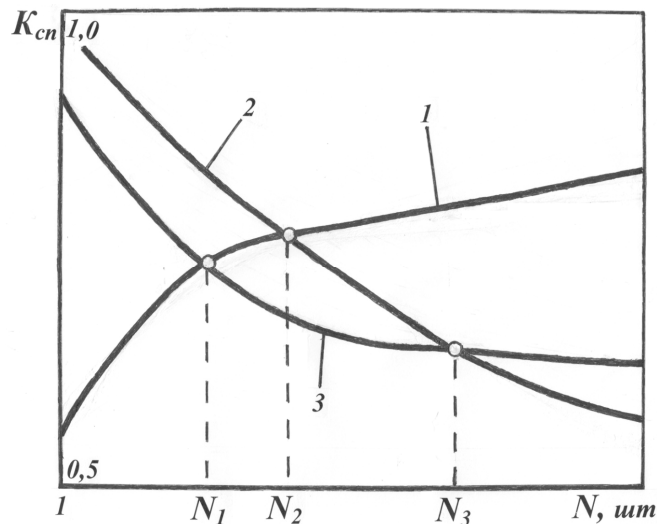


Рис. 1. Изменение обобщённого критерия $K_{сн}$ в зависимости от годовой программы шлифуемых деталей при использовании в качестве ПАВ диодид хрома

В табл. 1 рубежные значения годовой программы шлифуемых деталей N_1 , N_2 и N_3 , указывающие на целесообразность использования того или иного способа применения в качестве ПАВ диодид хрома.

Таблица 1

Рубежные значения годовой программы шлифуемых деталей при использовании в качестве ПАВ диодид хрома

Способ обработки	Обрабатываемая деталь	Марка стали	Диапазон скоростей вращения деталей, V_d , м/с	Рубежные значения годовой программы		
				N_1	N_2	N_3
Круглое шлифование	ступенчатый вал	12ХН3А	0,2 – 0,5	70	110	180
		40Х	0,3 – 0,7	80	150	280
		30ХГСА	0,2 – 0,4	60	100	160
	ось	50	0,3 – 0,8	80	140	250
Плоское шлифование	рычаг	45	-	100	160	300
	направляющая планка	X18H9T	-	70	100	170

Таким образом, результаты выполненных исследований по установлению критерия выбора способа и вида ПАВ при выполнении операций абразивной обработки деталей позволяют технологам машиностроительных предприятий обоснованно

принимать решение по эффективному использованию ПАВ с учётом как типа производства, так и конструкции детали.

Список литературы: 1. Бутенко, В.И. Повышение эффективности шлифования поверхностей деталей машин / В.И. Бутенко, Л.В. Гусакова. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2012. – 176 с. 2. Латышев, В.Н. Повышение эффективности СОЖ / В.Н. Латышев. – М.: Машиностроение, 1985. – 64 с. 3. Латышев, В.Н. Применение йода как компонента СОТС при резании металлов / В.Н. Латышев, А.Г. Наумов, В.С. Раднюк [и др.] // Обработка материалов резанием. – 2008. – №3(45). – С. 9 – 14. 4. Бутенко, В.И. Импрегнирование абразивных инструментов йодистыми соединениями / В.И. Бутенко // Современные технологии в машиностроении: Сб. ст. ХУП Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: Изд-во Приволжский Дом знаний, 2013. – С. 45 – 47. 5. Бутенко, В.И. Научно-технические технологии создания высокоресурсных деталей машин / В.И. Бутенко, С.Д. Дуров, Р.Г. Шаповалов. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. – 404 с. 6. Бутенко, В.И. Отделочно-упрочняющая обработка деталей с модифицированием материала поверхностного слоя / В.И. Бутенко // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – №6. – С. 3 – 6. 7. Патент РФ №2620208 Масса для изготовления абразивного инструмента / В.И. Бутенко. – Бюлл. №15, 2017. 8. Патент РФ № 2620209 Способ импрегнирования абразивных инструментов / В.И. Бутенко. – Бюлл. №15, 2017. 9. Патент РФ № 2618682 Способ импрегнирования абразивных инструментов / В.И. Бутенко. – Бюлл. №13, 2017. 10. Патент РФ № 2676546 Способ импрегнирования абразивных инструментов / В.И. Бутенко. – Бюлл. №1, 2019.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ АЛЮМИНИЯ

Дьяченко О.В., Кардаполова М.А., Николаенко В.Л.
(БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)

Abstract: Investigation of the influence of laser modification modes on the microstructure and microhardness of aluminum. The conditions for obtaining zones of hardening of aluminum.

Key words: Laser alloying, microstructure, microhardness, alloying components.

Введение. Алюминий и сплавы на его основе обладают такими важными для лазерной обработки особенностями как высокая теплопроводность, большая отражательная способность поверхности, относительно низкие температуры плавления [1].

Вторая особенность легирования алюминиевых сплавов вытекает из большого различия в температурах плавления подложки и большинства легирующих компонентов. В связи с этим при легировании порошками с высокой температурой плавления при невысоком энерговкладе довольно часто имеет место неполное растворение и неполное перемешивание присадочных компонентов в легированных зонах.

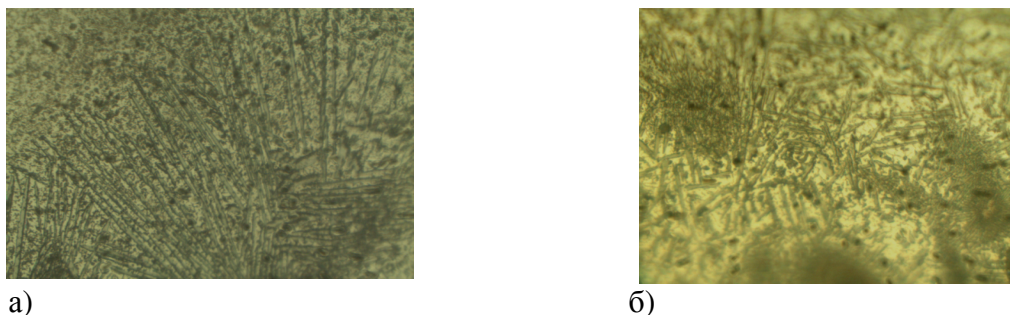
Алюминиевые сплавы обычно легируют отдельными неметаллическими (Si, В) и металлическими (Fe, Ni, Cr, Co и др.) компонентами, сплавами и смесями этих компонентов, а также различными соединениями [1-4]

Целью работы является изучение влияния лазерного модифицирования FeВ на структуру, фазовый состав и микротвердость алюминия.

Методика исследований.

Для исследования использовались образцы из алюминия первичного А95 ГОСТ 11069-2001, химический состав которого Al 99,95%, Si - 0,020% Fe - 0,025 %, Cu – 0,010 %, Mn – 0,002%, Mg – 0,005, Zn - 0,005, Ga – 0,003% Ti – 0,002%, прочие примеси 0,005% Ø 20 мм и толщиной 15 мм на поверхность которого наносили легирующие элементы в виде порошковых обмазок FeB, на клеевой связке (3% клея «AGO» в ацетоне) [5,6]. Толщина слоя обмазки составляла 0,09 – 0,11 мм и контролировалась толщиномером МТ-40НЦ. Оплавление осуществляли с помощью непрерывного лазера ЛГН-702 мощностью $N = 1$ кВт при диаметрах лазерного луча $d_1 = 1,0 \times 10^{-3}$ м и $d_2 = 2,0 \times 10^{-3}$ м, со скоростями перемещения $v_1 = 200$ мм/мин и $v_2 = 400$ мм/мин, с коэффициентом перекрытия $k_{пер} = 1$ с целью получения единого фазового состава и заданных свойств по всей толщине покрытия.

На рисунке 1, а представлено полное проплавление упрочняемой зоны с образованием литой равновесной структуры, с иглами упрочняющей фазы, ориентированными в направлении теплоотвода. Имеет место ярко выраженная гетерогенная структура, представляющая собой твердый раствор с выделениями в виде игл. Получение упрочненного слоя, в полной мере удовлетворяющего требованиям значительного повышения износостойкости, возможно лишь при комплексной модификации матрицы и упрочняющей фазы, что может быть реализовано при использовании в качестве обмазок многокомпонентных составов.



а)

б)

Рис. 1. Микроструктура легированного образца при скорости перемещения луча лазера а) 200 мм/мин (x500): б) 400 мм/мин (x500).

Для определения фазового состава проводили рентгеноструктурные исследования с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3.0 при скорости поворота образца 1 град/мин в медном монохроматизированном излучении; при этом в исследованном интервале углов толщина слоя 75%-ного поглощения энергии первичного пучка составила от 3 до 12 мкм (углы θ от 10 до 75°).

Рентгеновский анализ показал, что покрытие состоит из твердого раствора на основе Al, боридов алюминия и боридов железа (таблица 1). Присутствие высокотвердых включений AlB_2 , FeB, Fe_2B увеличивает твердость и износостойкость.

Таблица 1 - Результаты рентгеноструктурного анализа после легирования

Наименование фазы	Количество линий	Концентрация фазы, %
Al	10	69,8
AlB_2	3	17,2
FeB	10	6,7
Fe_2B	4	6,3

На рисунке 1, б хорошо видны иглы упрочняющей фазы, ориентированные в направлении теплоотвода. В различных участках поверхности они отличаются в размерах. С повышением скорости лазерного луча уменьшается время оплавления. Вследствие этого твердый раствор на основе алюминия становился более пересыщенным.

Графики зависимостей микротвёрдости от глубины легированного слоя представлены на рисунках 2, 3.

Рассмотрим теперь сочетание влияния скорости оплавления лазерным лучом и легирующих веществ на микротвердость упрочняемого слоя. Как видно из графиков, с увеличением скорости оплавления микротвердость легированных слоев увеличивается.

Максимальных значений (5,0 ГПа) микротвердость достигается при скорости оплавления 200 мм/сек. Большой разброс микротвердости говорит о гетерогенности структуры. Четко прослеживаются три основные зоны: легирования 5,0 – 2,5 ГПа, 2,5 – 1,5 ГПа - зона термического влияния, 1 ГПа – 0,7 ГПа – алюминий без легирования. Повышенная микротвердость зоны термического влияния объясняется произошедшими в ней в процессе лазерного легирования мартенситными превращениями.

Полученная зависимость по всей вероятности определяется микротвердостью образовавшихся при воздействии лазерного луча фаз, что может положительно сказаться на износостойкости полученного покрытия.

Говоря о скорости 400 мм/мин, то в данном случае также четко прослеживается уменьшение микротвердости от 5,3 ГПа в верхней области до 1 – 0,7 ГПа в области алюминия без легирования.

С увеличением скорости луча лазера, то есть с уменьшением энерговыклада лазерного излучения, закономерно снижается глубина зоны расплава и одновременно растет ее микротвердость. Последнее может быть связано с увеличением концентрации легирующих веществ из обмазки FeV в зоне расплава вследствие уменьшения ее объема.

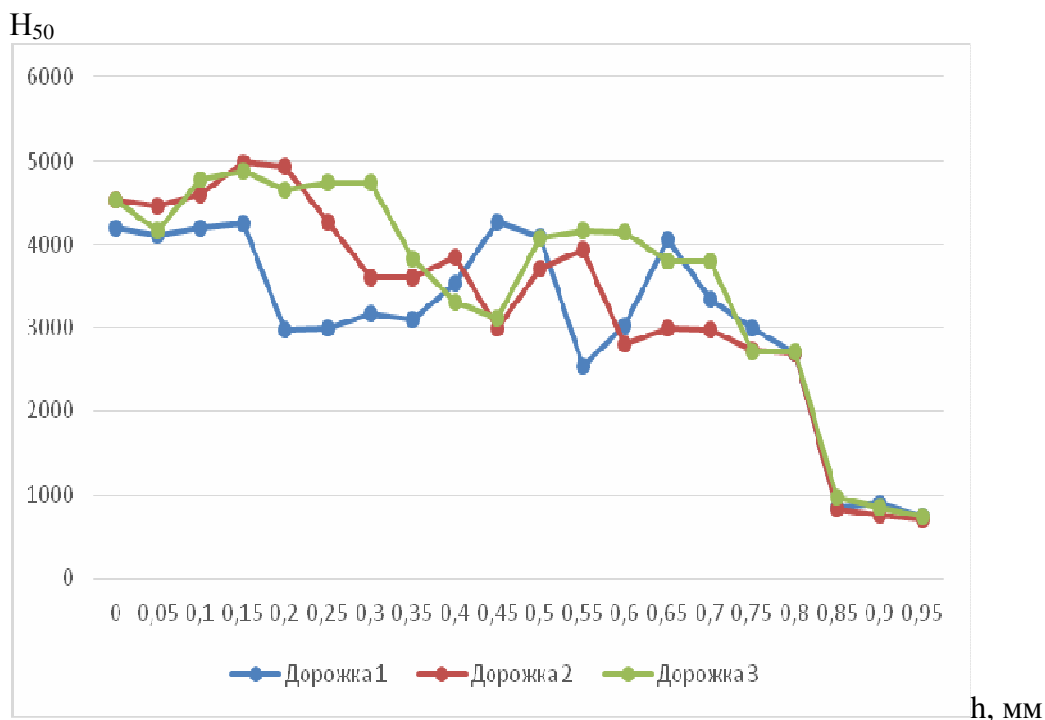


Рис. 2. График зависимости микротвердости поверхности от глубины легированной зоны при скорости оплавления 200 мм/мин

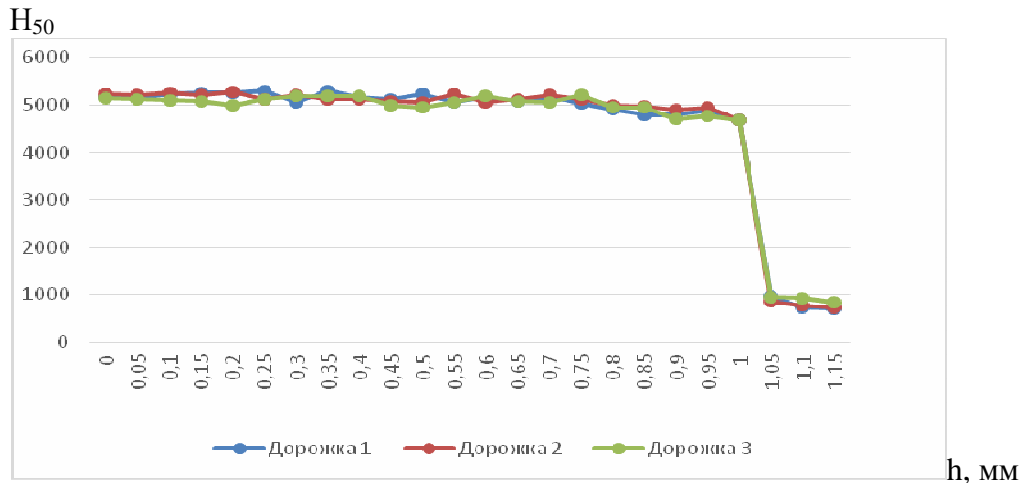


Рис.3. График зависимости микротвердости поверхностного слоя от глубины легированной зоны при скорости легирования 400 мм/мин

Выводы: Варьируя режимами лазерной обработки можно получить изменение микроструктуры от гомогенной с выделением игл упрочняющей фазы до пересыщенной.

Лазерное легирование алюминия позволяет повысить его микротвердость. С увеличением скорости луча лазера, то есть с уменьшением энергозатрат лазерного излучения, закономерно снижается глубина зоны расплава и одновременно растет ее микротвердость. Последнее может быть связано с увеличением концентрации легирующих веществ из обмазки FeV в зоне расплава вследствие уменьшения ее объема.

Список литературы: 1. Гвоздева Г.О., Тарасова Т.В. Перспективы использования высококонцентрированных источников энергии для повышения коррозионной стойкости алюминиевых сплавов. // Материалы XVII международного симпозиума "Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред". М.: МАИ, 2011. -213 с. 2. Александров В.Д. Поверхностное упрочнение алюминиевых сплавов. М.: Техполиграфцентр, 2002. 337 с. 3. Алюминий и его сплавы: Учебное пособие / Сост. А.Р.Луц, А.А. Суслина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 81 с.:ил. 4. A thermodynamic description of the Al–Fe–Si system over the whole composition and temperature ranges via a hybrid approach of CALPHAD and key experiments / Y. Du, J. C. Schuster, Z. Liu et. al. // Intermetallics. 2008. Vol. 16. P. 554–570. 5. Серякова О.В., Дьяченко О.В., Кардаполова М.А. Влияние лазерного легирования боридами на микротвердость и фазовый состав поверхностного слоя изделий из алюминия / Матеріали 84 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішення проблем харчування людства у XXI столітті". Київ, 23–24 квітня 2018 р.: в 4 ч./ Національний університет харчових технологій; редкол.: А. Українець [и др]. – Київ, 2018. – Ч. 2. – С. 149. 6. Серякова О.В., Дьяченко О.В., Кардаполова М.А. «Влияние лазерного легирования боридами на износостойкость деталей из алюминия» / Матеріали 84 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішення проблем харчування людства у XXI столітті". Київ, 23–24 квітня 2018 р.: в 4 ч./ Національний університет харчових технологій; редкол.: А. Українець [и др]. – Київ, 2018. – Ч. 2. – С. 150.

ПОСТРОЕНИЯ ОДНИМ ЦИРКУЛЕМ

Андрейченко Е.П., Скорикова А.О. (кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация. Рассматриваются геометрические задачи на построение, решаемые только с помощью циркуля.

Ключевые слова: циркуль, окружность, прямая, точки пересечения, дуга

Многие геометрические задачи на построение естественным образом решаются с привлечением только циркуля, причем в привлечении линейки иногда не только нет необходимости, но это даже не может упростить решение таких задач. Таковы, например, задачи: «Разделить данную окружность на 6 равных частей» (решение которой общеизвестно); «Построить точку, симметричную данной точке» относительно данной прямой» и многие другие.

Во многих случаях построения, производимые посредством циркуля, оказываются значительно точнее, чем построения, производимые с привлечением линейки. Это давно уже было обнаружено при практических измерениях и построениях (например, в техническом черчении, при разметке делительных кругов астрономических инструментов и т. п.). Итальянский геометр Лоренцо Маскерони (1750 - 1800) занялся в свое время исследованием конструктивных возможностей циркуля, посвятив этому вопросу специальную книгу «Геометрия циркуля». В 1928 г. была обнаружена книга датского геометра Георга Мора (1640 - 1697), вышедшая еще в 1672 г. под название «Датский Евклид». В этой работе также разработана теория геометрических построений, производимых исключительно циркулем.

Мор (в 1672 г.), а затем Маскерони (в 1797 г.) пришли к выводу, что все геометрические задачи на построение, решаемые при свободном пользовании циркулем и линейкой, могут быть решены исключительно циркулем.

Докажем эту интересную теорему. Чтобы избежать недоразумений, которые могут возникнуть в связи с тем, что циркулем нельзя, конечно, строить прямые и отрезки, будем формулировать теорему Мора — Маскерони так:

Любая геометрическая задача на построение фигуры из конечного числа точек, разрешимая при наличии циркуля и линейки, может быть решена при наличии только циркуля.

При этом имеется в виду, что данная фигура состоит только из конечного числа точек, окружностей и их дуг, прямых, отрезков и лучей. Без этой оговорки теорема может привести к недоразумению. Например, если на чертеже проведена синусоида и даны две точки A и B , то нельзя утверждать, что при наличии только циркуля можно построить точки пересечения этой линии с прямой AB , хотя при наличии линейки эта задача, очевидно, разрешима (если точки пересечения существуют).

Условимся называть прямую известной, если построены какие-либо две ее точки. Отрезок назовем известным, если построены его концы, а луч — если построены его начало и какая-либо принадлежащая ему точка.

Ясно, что известная прямая не является построенной: она может быть построена, если мы располагаем линейкой, но циркуль не дает возможности построить известную прямую.

Построение фигуры g с помощью циркуля и линейки состоит в том, что устанавливается конечная последовательность основных (для циркуля и линейки) построений, в результате выполнения которых будет построена фигура g .

Решая задачу с помощью циркуля и линейки, мы получим точки лишь при выполнении следующих построений:

1. Построение точки пересечения двух известных прямых (которые для этого предварительно строятся).
2. Построение общих точек построенной окружности и известной прямой (для чего эта известная прямая строится на одном из предыдущих этапов построения).
3. Построение общих точек двух построенных окружностей.
4. Построение любого конечного числа точек, принадлежащих известной прямой (или известному лучу, или известному отрезку), для чего эта прямая предварительно строится.
5. Построение любого конечного числа точек, принадлежащих построенной окружности (или дуге окружности).
6. Построение точки, заведомо не принадлежащей соединению конечного числа построенных точек, построенных окружностей (или дуг окружностей) и известных прямых (для чего известные прямые предварительно строятся).

Понятно, что для выполнения построений 3. и 5. вообще не требуется никаких инструментов. Остается доказать, что другие построения, указанные в этом списке, т. е. построения 1, 2, 4, 6, выполнимы исключительно циркулем.

Иными словами, мы должны доказать, что при наличии только циркуля можно выполнить следующие построения:

- 1.1. Построить точку пересечения двух известных непараллельных прямых (не строя этих прямых).
- 2.1. Построить точки пересечения построенной окружности и известной прямой (если такие точки существуют).
- 4.1. Построить точку, принадлежащую известной прямой.
- 6.1. Построить точку, заведомо не принадлежащую соединению конечного числа построенных точек, построенных окружностей и известных прямых.

Чтобы доказать выполнимость построений 1.1, 2.1, 4.1 и 6.1 исключительно циркулем, решим предварительно следующую задачу:

Известны отрезки a , b и c ; построить, пользуясь только циркулем, четвертый пропорциональный к ним отрезок, т. е. такой отрезок x , чтобы $a : b = c : x$.

Предположим, что $a \neq b$ так как в случае $a = b$ задача тривиальна, потому что $x = c$.

Изберем на плоскости произвольную точку O и проведем окружность $\omega(O, a)$ (рис. 1).

Построим, также концентрическую ей окружность $\omega'(O, b)$. Изберем произвольно точку A на окружности ω и точку A' на окружности ω' . Пусть B — точка пересечения окружности ω с окружностью (A, c) , а B' — точка пересечения окружности ω' с окружностью (B, AA') такая, что треугольники AOA' и BOB' одинаково ориентированы. Теперь $\triangle AOA' = \triangle BOB'$ по трем сторонам, так что $\angle AOA' = \angle BOB'$. Отсюда вытекает, что $\angle AOB = \angle A'OB'$. Следовательно, равнобедренный треугольник AOB подобен равнобедренному треугольнику $A'OB'$, так что $AO:A'O = AB:A'B'$ или, по построению, $a:b=c:A'B'$. Таким образом, отрезок $A'B'$ искомый.

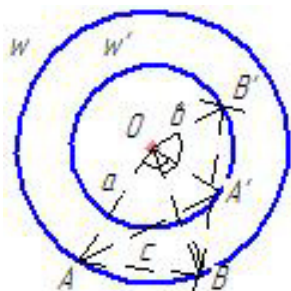


Рис.1. Построение пропорционального отрезка

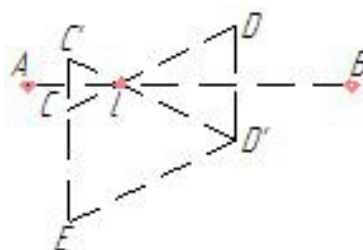


Рис. 2. Построение точек пересечения прямых

Переходим к рассмотрению основных построений 1.1, 2.1, 4.1, и 6.1.

Построение (1.1).

Даны четыре точки A, B, C и D . Построить точку пересечения прямых AB и CD , пользуясь только циркулем.

Допустим, что задача решена и точка L (рис. 2) искомая. Построим точки C', D' , симметричные точкам C, D относительно прямой AB . Искомую точку пересечения прямых AB и CD можно рассматривать теперь как точку пересечения прямых CD и CD' . Если $CDD'E$ — параллелограмм, то точки C, C' и E лежат на одной прямой. Точка E может быть построена как точка пересечения окружностей (C, DD') и (D', DC) .

Из подобия треугольников CLC' и $ED'C'$ видно, что $C'E : C'D' = C'C : CL$. Поэтому отрезок $C'L$ может быть построен как четвертый пропорциональный к трем известным отрезкам $C'E, C'D'$ и CC' . Искомая точка L найдется после этого в пересечении окружностей $(C', C'L)$ и $(C, C'L)$.

Если прямые AB и CD окажутся перпендикулярными (CC' и DD' на одной прямой), то решение задачи упрощается: искомая точка L может быть построена как середина отрезка CC' .

Построение (2.1).

Даны две точки A и B и окружность (O, r) . Требуется построить общие точки прямой AB и окружности (O, r) , не проводя прямой AB .

Пусть O' (рис. 3) — точка, симметричная с точкой O относительно AB . Обозначим через M и N точки пересечения окружности (O', r) с окружностью (O, r) . Так как каждая из этих точек одинаково удалена от точек O и O' , то эти точки располагаются на прямой AB , которая служит симметралью отрезка OO' . Значит, M и N — искомые точки. Если окружности (O, r) и (O', r) касаются, то их общая точка является искомой.

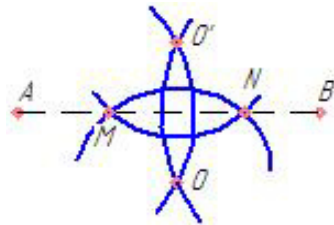


Рис. 3. Построение общих точек

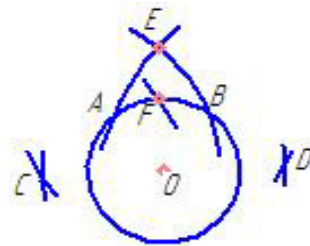


Рис.4. Построение середины дуги окружности

Построение (2.1) несколько усложняется, если точка O расположена на прямой AB : в этом случае точки O и O' сольются, и описанное построение не проходит. При таких условиях придется воспользоваться следующей вспомогательной задачей: построить середину данной дуги окружности. Пусть (O, r) — данная окружность, AB — данная дуга этой окружности (рис. 4). Дополним фигуру ABO до параллелограмма $ABOC$ и до параллелограмма $ABOD$. Для этого достаточно провести окружность (O, AB) и пересечь ее окружностями (A, r) и (B, r) . Пусть E — одна из точек пересечения окружностей (C, CB) и (D, DA) . Проводим окружность (C, OE) до пересечения с данной дугой AB в точке F . Тогда F — середина дуги AB . Для доказательства этого обозначим искомую середину дуги AB буквой X . Тогда $CX^2 = CO^2 + r^2$. С другой стороны, по известному свойству параллелограмма получим: $2AB^2 + 2AC^2 = BC^2 + AO^2$ откуда $BC^2 = 2AB^2 + r^2$. Следовательно,

$$OE^2 = CE^2 - CO^2 = CB^2 - AB^2 = AB^2 + r^2 = CO^2 + r^2.$$

Значит, $CF^2 = CO^2 + r^2$, так как $CF = OE$. Таким образом, $CX = CF$, откуда следует,

что точка F совпадает с серединой дуги AB .

Пользуясь этой вспомогательной задачей, можно выполнить построение (2.1) в случае, если прямая AB проходит через центр O данной окружности (O, r) .

Для этого изберем на данной окружности (O, r) произвольную точку C (рис. 5) и проведем окружность (A, AC) . Пусть C' — вторая точка пересечения этой окружности с данной окружностью. Тогда середины M и N обеих дуг окружности (O, r) и будут искомыми точками пересечения прямой AB с окружностью (O, r) . Может, конечно, случиться, что точка C' совпадет с точкой C . В этом случае точка C будет одной из искомым точек. Для построения второй искомой точки достаточно удвоить отрезок CO .

Построение (4.1).

Пусть известны две точки A и B . Требуется построить произвольное количество точек прямой AB , не проводя этой прямой. Изберем произвольную точку C плоскости. Если она окажется расположенной на прямой AB , то эта точка искомая. Допустим, что это не так.

Тогда построим (рис. 6) точку C' , симметричную с точкой C относительно прямой AB . После этого для получения новых точек прямой AB (на рис.6 точки M и M') достаточно провести окружности (C, r) и (C', r) , где r - произвольный отрезок, больший чем $\frac{1}{2}CC'$ (например, отрезок CC'), и построить точки их пересечения, эти точки заведомо принадлежат прямой AB , так как каждая из них одинаково удалена от точек C и C' .

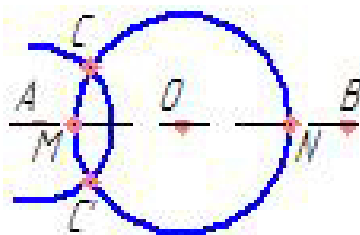


Рис. 5. Построение точек пересечения

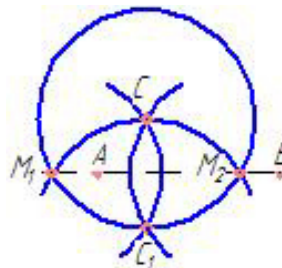


Рис. 6. Построение точек прямой

Построение (6.1).

Пусть построены k точек: A_1, A_2, \dots, A_k и n окружностей: $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$, а также известны m прямых: a_1, a_2, \dots, a_m . Ищется точка, не совпадающая ни с одной из этих точек и не принадлежащая ни одной из этих прямых или окружностей.

Изберем произвольную точку A и какую-либо точку B , не лежащую ни на одной из построенных окружностей (для чего не требуется ни линейки, ни циркуля). Тогда окружность $\omega_{n+1}(A, AB)$ не совпадает ни с одной из окружностей $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$. Этой окружности могут принадлежать некоторые из точек A_1, A_2, \dots, A_k , на ней могут оказаться также точки пересечения с заданными окружностями. Изберем на окружности ω_{n+1} сверх этих еще $2m + 1$ точек. Тогда по крайней мере одна из этих $2m + 1$ точек удовлетворяет требованиям задачи, так как прямые a_1, a_2, \dots, a_m могут встретиться с окружностью ω_{n+1} самое большее в $2m$ точках.

Теорема Мора - Маскерони, таким образом, доказана.

Общий метод решения какой-либо геометрической задачи на построение исключительно циркулем состоит в том, что намечают план ее решения посредством циркуля и линейки, а затем пользуются изложенными здесь способами замены построений циркулем и линейкой построениями исключительно циркулем.

Список литературы: 1. Люстерник Л.А. Выпуклые фигуры и многогранники.- М.; ГИТТЛ, 1956. 2. Аргунов Б.И. Элементарная геометрия. – М.; Просвещение, 1966.

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ЦИЛИНДРА И СЖАТОГО ЭЛЛИПСОИДА ВРАЩЕНИЯ

Березовский А. Е. (ст. гр. РЭС-18, ДонНТУ, г. Донецк)
Катькалова Е.А. (кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация. – в статье рассмотрено построение линии пересечения цилиндра и сжатого эллипсоида вращения, имеющих общую плоскость симметрии и параллельные оси вращения.

Ключевые слова: цилиндр, сжатый эллипсоид вращения, линия пересечения, плоскость симметрии, парабола

Ранее в статьях [1, 2] было рассмотрено построение линий пересечения кривых поверхностей вращения второго порядка с общей плоскостью симметрии, показаны случаи, в которых оси тел вращения поверхностей второго порядка пересекаются. При таком расположении поверхностей линии пересечения проецировались в гиперболы или параболы.

В данной статье мы рассмотрим пример, когда поверхности вращения имеют общую плоскостью симметрии и параллельные оси вращения.

Две алгебраические поверхности второго порядка, имеющие общую плоскость симметрии, пересекаются по кривой четвертого порядка, которая проецируется на плоскость, параллельную этой общей плоскости симметрии, в виде кривой второго порядка, действительной или распавшейся. Для упрощения и уточнения построений проекций такой кривой желательно знать вид кривой и ее элементы.

Для нахождения линии пересечения в таких случаях могут быть применены сферы как поверхности-посредники.

На рисунке 1 показано построение линии пересечения поверхностей вращения с общей плоскостью симметрии и параллельные оси вращения.

Пересекается сжатый эллипсоид вращения с очерковым эллипсом с параметрами $b=40$ мм, $c=40$ мм, $a = \sqrt{b^2 + c^2} \cong 56,57$ мм и вертикальной осью вращения. Цилиндр вращения имеет $\varnothing 60$ мм и вертикальную ось вращения.

Если оси вращения указанных тел совпадают, то на плоскость проекций, параллельную общей плоскости симметрии, линия пересечения данных тел будет проецироваться в виде двух параллельных прямых.

Если оси вращения располагаются на каком-то расстоянии – линия пересечения проецируется в виде параболы. На рисунке 1 оси вращения располагаются на расстоянии 20 мм друг от друга.

Исходные точки 1,2,3,4 есть точки пересечения очерков данных тел. Парабола определяется четырьмя точками. Эти точки можно представить как точки пересечения сферы R_1 с цилиндром. Они так же имеют плоскости симметрии, параллельную фронтальной плоскости проекции.

Перпендикуляры, проведенные через середины отрезков 1-4 и 2-3, в пересечении дают центр O_1 из которого проводится сфера R_1

Проводим сферу R_2 с центром O_2 на оси цилиндра и проходящую через точки 10 и 11. Эта сфера пересекается со сферой R_1 по окружности, которая проецируется в виде прямой 12-13, а с цилиндром – по окружности, которая проецируется в виде прямой 10-11. Точка их пересечения дает вершину параболы A_1 . Ось параболы –

горизонтальная и совпадает с большой осью очеркового эллипса АВ.

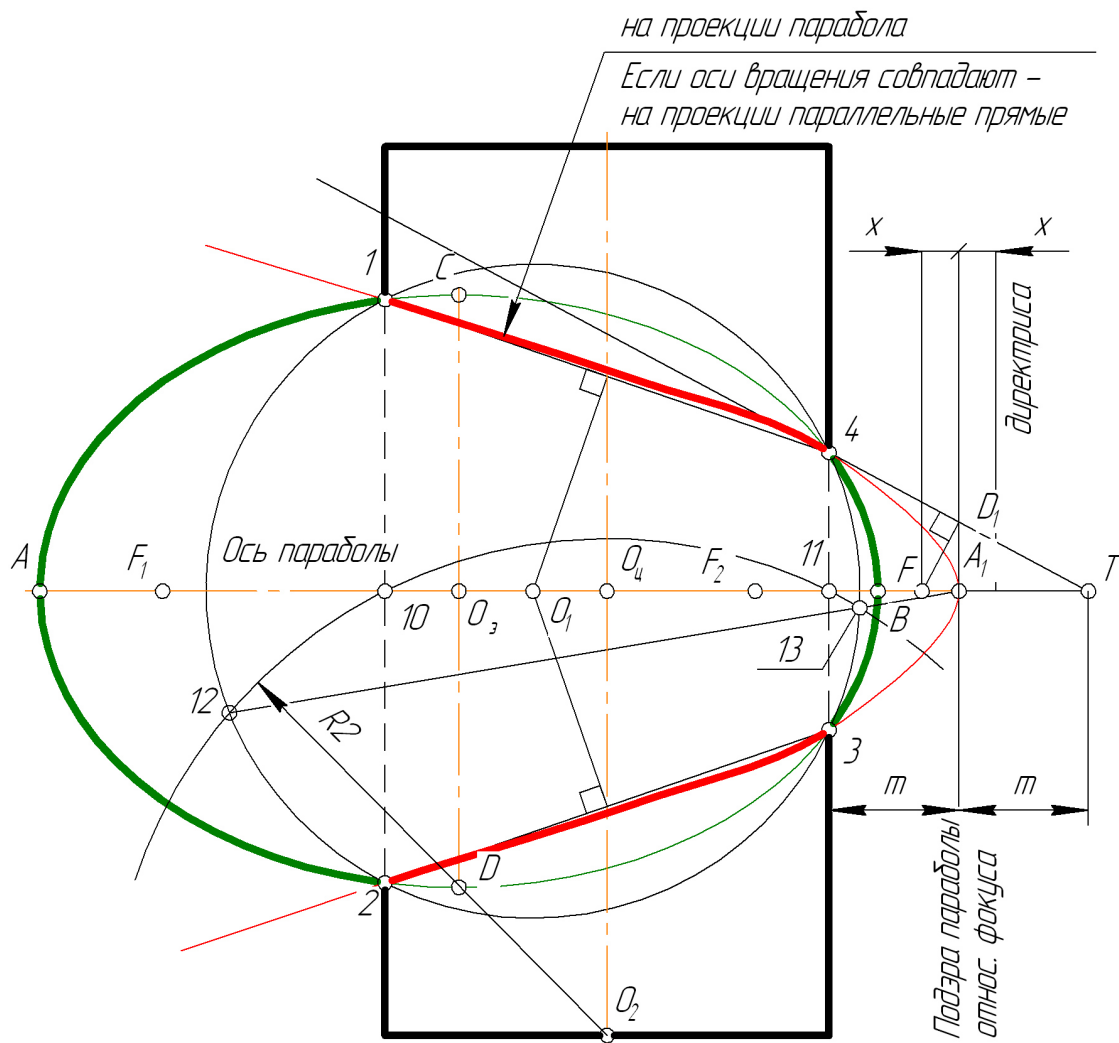


Рис. 1. Пересечение цилиндра и сжатого эллипсоида вращения

Дискриминант параболы равен 0,5 поэтому расстояние A_1T равно A_111 . Касательная к параболы в точке 4 пересекает ось параболы в т. Т. Пересечение этой касательной с подэрой параболы относительно фокуса ее дает т. D_1 . Прямая перпендикулярная к касательной в т. D_1 пересекается с осью параболы в ее фокусе F. Директриса параболы располагается на расстоянии FA_1 справа от вершины A_1 .

Список литературы: 1. Каткалова Е.А. Построение линии пересечения конуса и цилиндра с пересекающимися осями / Каткалова Е.А., Дятлов А.// ИНЖЕНЕР: Студенческий научно – технический журнал / Донецк : ДонНТУ, 2017, № 1(23)-2(24). - С. 135 – 136. 2. Каткалова Е.А. Построение линии пересечения конуса и цилиндра, ось которого совпадает с образующей конуса/ Каткалова Е.А., Орлов М.// ИНЖЕНЕР: Студенческий научно – технический журнал / Донецк : ДонНТУ, 2017, № 1(23)-2(24). - С. 137 – 138.

**ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ
НАКЛОННОГО ЦИЛИНДРА И ЭЛЛИПСОИДА**

Катькалова Е.А. (кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк)
Головин А. И. (ст. гр. ТЗИ-18, ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация. – в статье рассмотрено построение линии пересечения наклонного цилиндра вращения с фронтальной осью и сжатого эллипсоида вращения с вертикальной осью вращения.

Ключевые слова: линия пересечения, плоскость симметрии, парабола, эллипсоид, прямая, очерковый эллипс

Линия пересечения двух поверхностей вращения второго порядка, имеющих общую плоскость симметрии и пересекающиеся оси, проецируется на эту плоскость:

1. В виде *гиперболы* при пересечении между собой поверхностей вращения в любой комбинации: цилиндрических, конических, параболоидов, гиперболоидов и растянутых эллипсоидов.

2. В виде *параболы* при пересечении сферы с поверхностями цилиндрической и конической, а также с поверхностями параболоида, гиперболоида и эллипсоида.

3. В виде *эллипса* при пересечении сжатого эллипсоида с поверхностями: цилиндрической, конической, параболоида, гиперболоида. А также с поверхностью растянутого эллипсоида.

В предыдущих статьях [1, 2] было показано построение линий пересечения кривых поверхностей вращения второго порядка с общей плоскостью симметрии, рассмотрены задачи, в которых оси тел вращения поверхностей второго порядка пересекаются. При таком расположении поверхностей линии пересечения проецировались в гиперболы или параболы.

В данной статье мы рассмотрим пример, когда линия пересечения проецируется в эллипс.

Две алгебраические поверхности второго порядка, имеющие общую плоскость симметрии, пересекаются по кривой четвертого порядка, которая проецируется на плоскость, параллельную этой общей плоскости симметрии, в виде кривой второго порядка, действительной или распавшейся. Для упрощения и уточнения построений проекций такой кривой желательно знать вид кривой и ее элементы.

Для нахождения линии пересечения в таких случаях могут быть применены сферы как поверхности-посредники.

На рис. 1 показано построение линии пересечения наклонного цилиндра вращения с фронтальной осью и сжатого эллипсоида вращения с вертикальной осью вращения. Они имеют общую плоскость симметрии, параллельную фронтальной плоскости проекций. Оси тел вращения пересекаются в т. О.

Очерковый эллипс эллипсоида вращения имеет параметры: $b=40\text{мм}$,

$c=40\text{ мм}$, $a = \sqrt{b^2 + c^2} \cong 56,57\text{мм}$.

При пересечении сжатого эллипсоида вращения с цилиндром вращения при вышеописанном положении получается на проекции эллипс.

Исходные точки 1,2,3,4 находятся как точки пересечения контуров поверхностей

вращения. Вписанная в цилиндр сфера, радиусом R_{\min}^u касается цилиндра по окружности, которая проецируется в виде прямой 11-12. Она же пересекается с эллипсоидом вращения по окружностям, которые проецируют

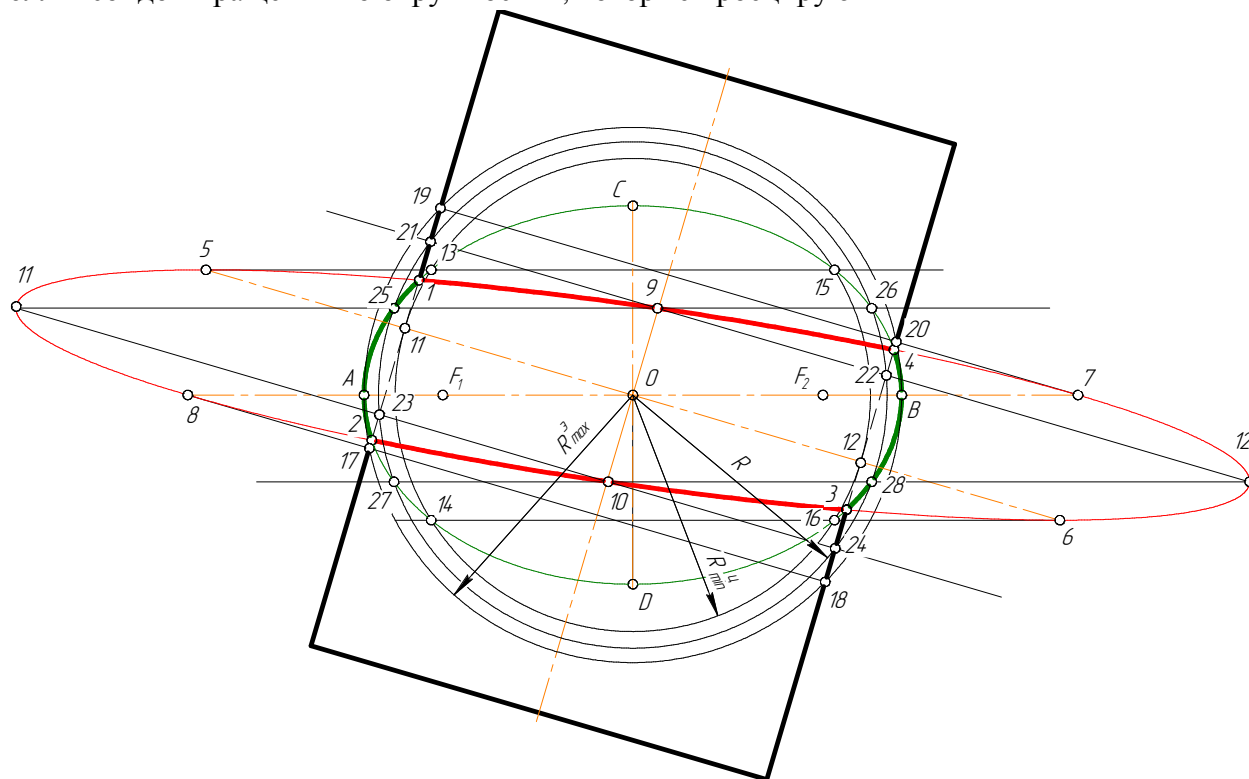


Рис. 1. Пересечение наклонного цилиндра и сжатого эллипсоида вращения

ся в виде прямых 13-15, 14-16. Точки пересечения прямой 11-12 с прямыми 13-15, 14-16 есть точки 5 и 6, принадлежащие эллипсу. Сфера радиуса R_{\max}^y описанная вокруг эллипсоида, касается последнего по окружности, проецирующейся в виде большой оси очеркового эллипса АВ. Она же пересекается с цилиндром по окружностям, которые проецируются в виде прямых 17-18 и 19-20. Точки пересечения этих соответствующих линий есть точки 7 и 8, принадлежащие эллипсу.

Для нахождения произвольных точек проводим сферу радиуса R . Эта сфера пересекается с цилиндром по окружностям, которые проецируются в виде прямых 21-22 и 23-24, а с эллипсоидом – по линиям 25-26 и 27-28.

Точки пересечения соответствующих прямых дают точки 9, 10 и 10, 12, принадлежащие искомому эллипсу.

Список литературы: 1. Каткалова Е.А. Построение линии пересечения конуса и цилиндра с пересекающимися осями / Каткалова Е.А., Дятлов А.// ИНЖЕНЕР: Студенческий научно – технический журнал / Донецк : ДонНТУ, 2017, № 1(23)-2(24). - С. 135 – 136. 2. Каткалова Е.А. Построение линии пересечения конуса и цилиндра, ось которого совпадает с образующей конуса/ Каткалова Е.А., Орлов М.// ИНЖЕНЕР: Студенческий научно – технический журнал / Донецк : ДонНТУ, 2017, № 1(23)-2(24). - С. 137 – 138.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ CFD В МАШИНОСТРОЕНИИ

Масленников Д.А. (кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк)

Барбашов Б. А. (ст. гр. ГМКс-18, ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация. Вычислительная гидродинамика (CFD)— это анализ физических явлений, связанных с потоком жидкости и теплопроводностью, с помощью компьютерных численных расчетов и последующего графического отображения результатов. Компьютерное моделирование позволяет решать сложные физические задачи. При этом скорость и точность вычислений связана с аппаратным обеспечением рабочих станций. Благодаря постоянному совершенствованию производительности компьютеров и технологии CFD, она нашла широкое применение в природоохранных технологиях, инженерной защите окружающей среды, машиностроительной отрасли и т.д.

Ключевые слова: Вычислительная гидродинамика, компьютерное моделирование, виртуальное проектирование, CFD, computational fluid dynamics.

С быстрым развитием компьютерных технологий и совершенствованием программных модулей вычислительной гидродинамики (CFD - computational fluid dynamics), Численное моделирование CFD стало важным вспомогательным методом инженерного проектирования [1, 2]. Вычислительная гидродинамика широко используется при проектировании высокотехнологичных продуктов в различных отраслях машиностроения, таких как аэрокосмическая, ядерное и энергетическое машиностроение. Впоследствии компьютерное моделирование вычислительной гидродинамики нашло применение во всех сферах машиностроения.

Экспериментальный метод исследования физических процессов часто ограничен размерами модели, личной безопасностью и точностью проводимых измерений, применение компьютерного моделирования CFD компенсирует эти недостатки. Вычислительная гидродинамика обладает множеством преимуществ, таких как более короткая продолжительность проведения исследований, простота изменения модели и условий эксперимента, более низкая стоимость и более высокая повторяемость, это все позволяет в короткие сроки найти оптимальное конструктивное решение. А хорошая гибкость и адаптивность позволяет не ограничиваться физическими экспериментальными моделями.

CFD, как инструмент моделирования физических процессов, широко используется для изучения потока жидкости, теплообмена в различных системах, и широко признан исследователями и конструкторами. Следовательно, он играет важную роль в научных исследованиях гидравлических и пневматических систем, в инженерном проектировании [2].

CFD можно рассматривать как численное моделирование течения жидкости и газа под контролем основных уравнений потока (уравнение сохранения массы, уравнение сохранения импульса, уравнение сохранения энергии).

Поток жидкости рассчитывается, используя основные законы движения жидкостей и газов. Основное уравнение представляет собой описание движения потока, которое включает в себя уравнение сохранения массы (так же называемое уравнением неразрывности), уравнение сохранения импульса и уравнение сохранения энергии.

В последние несколько десятилетий было разработано множество подходов в компьютерном моделировании вычислительной гидродинамике, их основное отличие заключается в дискретном подходе. Численные методы, используемые в CFD: метод

конечных разностей, метод конечных объемов и метод конечных элементов. Наиболее широко используемым полем CFD является метод конечного объема [1].

Метод конечных разностей.

Метод конечных разностей (FDM) является самым ранним методом компьютерного численного моделирования. Сущность метода заключается в том, что происходит разделение области решения на пространственную сетку и используется конечное число узлов сетки вместо непрерывной области решения. Метод конечных разностей используется для дискретизации производной уравнения управления с разностью значений функции на узле сетки, чтобы установить алгебраические уравнения с неизвестными значениями на узлах сетки. Метод является приближенным численным решением, которое непосредственно превращает дифференциальную задачу в алгебраическую задачу.

Метод конечных объемов.

Метод конечных объемов (FVM), также известный как метод контрольных объемов, является широко используемым методом пространственной дискретизации. Основан на применении уравнений сохранения массы, энергии. В последствии, преобразуются в интегро-дифференциальное уравнение в конкретно заданной ячейке. Все интегро-дифференциальные уравнения имеют общую форму для всех ячеек, на которые разбито пространство. Эта последовательность является основной для общего решения конкретной задачи.

Метод конечных элементов.

Метод конечных элементов (МКЭ) основан на принципе вариации и взвешенного метода разницы. Основная идея решения заключается в разделении области расчета на конечное число неперекрывающихся блоков. В каждом блоке, выбрать некоторые из соответствующих узлов в качестве точки интерполяции для функции. Затем переменные в дифференциальном уравнении переписываются, как линейное выражение (функция формы), состоящее из значения узла каждой переменной или ее производной и выбранной функции интерполяции. Наконец, дифференциальное уравнение дискретизируется и решается с помощью вариационного принципа или методом конечных разностей на основе вариационного принципа.

Технология CFD — это усовершенствованный метод виртуального проектирования, который моделирует влияние конструкции на ее производительность путем моделирования поля потока внутри механического оборудования. Она позволяет моделировать поле потока внутри механического оборудования, получать данные о распределении скорости и давления, концентрацию и распределение температуры внутри потока, а результаты моделирования представляются в виде подробной и интуитивно понятной информации. Развитие данной технологии напрямую связано с развитием компьютерных технологий. Это дает возможность утверждать, что затраты на исследования при помощи компьютерного моделирования вычислительной гидродинамики будут снижаться. В будущем, развитие технологии CFD в области машиностроения должно быть сосредоточено на разработке междисциплинарных расчетов для повышения точности получаемых результатов.

Список литературы: 1. Yufeng Wei, “The development and application of CFD technology in mechanical engineering// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 274 (2017). 2. D. Maslennikov: Badawcza identyfikacja właściwości systemu spalania z bezpośrednim wtryskiem paliwa i zapłonem iskrowym. 149 s. : il. ; 30 cm + 2 recenzje. Rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska, 2012 DrOIN 1457.

МАШИНА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
КОЖЕВЕННОГО ПОЛУФАБРИКАТА

Бахадиров Г.А., Цой Г.Н., Набиев А.М. (ИМСС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан)
Тел./Факс: (+998971) 262-71-55; E-mail: instmech@rambler.ru

Abstract: *A new design of a multi-operational machine for the mechanical processing of a leather semi-finished product has been developed. The machine has the ability to provide mechanical processing of semi-finished leather processing of various technological operations on the same machine, and to increase productivity, many times reduce manual work, reduce inter-operational transportation costs, reduce overall material consumption, reduce production space, and increase the level of mechanization in leather production.*

Key words: *Mechanical processing, leather semi-finished product, technological process, quality of processing, inter-operational transportation.*

Нами разработана конструкция многооперационной машины для механической обработки кожевенных полуфабрикатов [1-3]. Целью является повышение эффективности процесса механической обработки рабочими валами кожевенного полуфабриката и расширение функциональных возможностей машины [4].

Предлагаемая машина состоит из двух станин 1, 2 на которых установлены параллельно валы 3, 4. На концах вала 3 установлены крестовины 5 и 6, а на концах вала 4 установлены крестовины 7 и 8. На концах крестовин 5 и 6 установлены рабочие валы 9, 10, 11, 12, а на крестовинах 7 и 8 установлены рабочие валы 13, 14, 15, 16. Рабочие валы 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 закреплены болтами 67 по четыре штуки крышкой на крестовины 5, 6 и 7, 8. На станине 2 установлен цепной конвейер, состоящий из двух бесконечных цепей 45 и 49, которые огибают звездочки 43, 47, 46, 48 и 44, 51, 52, 50 (Рис. 1, 2 и 3).

На этом конвейере на осях цепей установлены металлические опорные плиты 53 с упругими покрытиями в виде резины или волокнистого материала. На плиту 53 навешивают кожевенный полуфабрикат 54. Цепной конвейер подает опорную плиту 53 с кожевенным полуфабрикатом 54 снизу-вверх между двумя рабочими органами, которые расположены горизонтально и параллельно в зоне механической обработки.

Машина для механической обработки кожевенного полуфабриката работает следующим образом:

Необходимые рабочие валы в зону механической обработки устанавливаются с помощью ручки 42, электродвигателя 41, редуктора 40, втулки 38, шестерней 37, 26, звездочек 25, 30, цепи 31, валика 29, шестерней 27, 28. Ручкой 42 переключается шестерня 37 в контакт с шестерней 36.

Коробкой переключения скоростей 64 устанавливается требуемая скорость вращения рабочих валов необходимой технологической операции и устанавливается цепи 55, 57 на звездочки рабочих валов в зоне механической обработки. Кнопками управления электродвигателя 41 устанавливается необходимая скорость подачи опорной плиты 53. Навешивается вперегиб кожевенные полуфабрикаты 54 на опорные плиты 53.

Включаем электродвигателей 41 и 65 вращаются рабочие валы и подаются опорные плиты 53 с кожевенным полуфабрикатом 54. Далее продолжается навешивание кожевенного полуфабриката 54 на следующие не завешанные опорные плиты 53.

После обработки всего кожевенного полуфабриката 54 выключаются электродвигатели 41 и 65, и машина останавливается. Затем снимаются цепи 55 и 57 со звездо-

чек 17 и 21, соответственно. Далее ручкой 42 переводится шестерня 37 в контакт с шестерней 26. Затем включается электродвигатель 41 и вращается вал 3 шестерней 26, а вал 4 через звездочку 25, цепь 31, звездочку 30, оси 29, шестернями 27, 28 и устанавливаются нужные рабочие валы в зону обработки поворотом крестовин 5, 6 и 7, 8. Затем останавливается электродвигатель 41. Потом устанавливается цепь 55 на звездочку нового рабочего вала крестовины 5 в рабочей зоне, аналогично цепь 57 устанавливается на звездочку нового рабочего вала крестовины 7 в рабочей зоне.

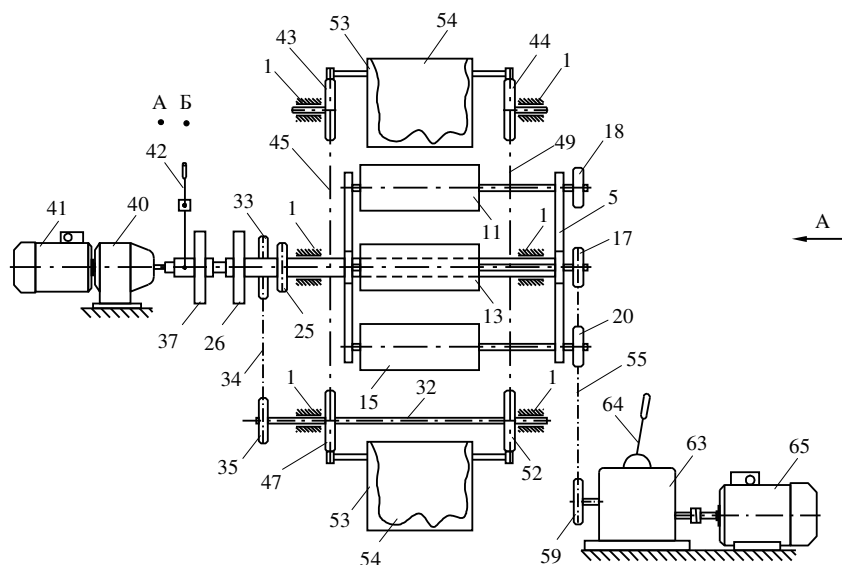


Рис. 1. Подача кожевенного полуфабриката в зону обработки

Ручкой 42 устанавливается контакт шестерни 37 с шестерней 36, а ручкой коробки скоростей 64 устанавливается на нужную скорость для данной технологической операции.

Далее включаются электродвигатели 41 и 65 и обрабатываются все загруженные кожевенные полуфабрикаты 54 на опорную плиту 53, подающего транспортера. Для следующей технологической операции все повторяется. Только необходимо установить нужные рабочие валы в зону обработки, скорость обработки и направления вращения рабочих валов. Кнопками управления электродвигателя 41 устанавливается требуемая скорость подачи опорной плиты 53.

Для установки нужных рабочих валов в зону обработки кожевенного полуфабриката необходимо вращение валов 3, 4 крестовин 5, 6 и 7, 8. На один конец вала 3 установлена звездочка 25 и шестерня 26, а на вал 4 установлена шестерня 27. Причем, звездочка 25 с помощью цепи 31 контактирует со звездочкой 30, установленной на оси 29, а шестерня 27 контактирует с шестерней 28 на оси 29. На оси 68 установлена звездочка 33, которая цепью 34 контактирует со звездочкой 35 на оси 32. На оси 68 установлена шестерня 36, которая может контактировать с подвижной шестерней 37, которая скользит вместе с втулкой 38 по оси 39 по пазам вала редуктора 40, который соединен с электродвигателем 41.

Рычагом 42, перемещая втулку 38 с шестерней 37, можно контактировать с шестерней 26 на оси вала 3 или контактировать с шестерней 36.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Подачу опорных плит 53 с кожевенным полуфабрикатом 54 осуществляется следующим образом.

Ручкой 42 устанавливается шестерню 37 в контакт с шестерней 36. Далее включается электродвигатель 41. Вращение от электродвигателя передается в редуктор 40, далее через звездочку 37 передается звездочке 36 на оси 68. Далее вращение от оси 33 цепью 34 передается звездочке 35, которая через ось 32 вращает звездочку 52 и двигает цепь 49, а также звездочкой 47 вращает цепь 45. Следовательно, цепи 45 и 49 двигают опорные плиты 53 с кожевенным полуфабрикатом в зону механической обработки.

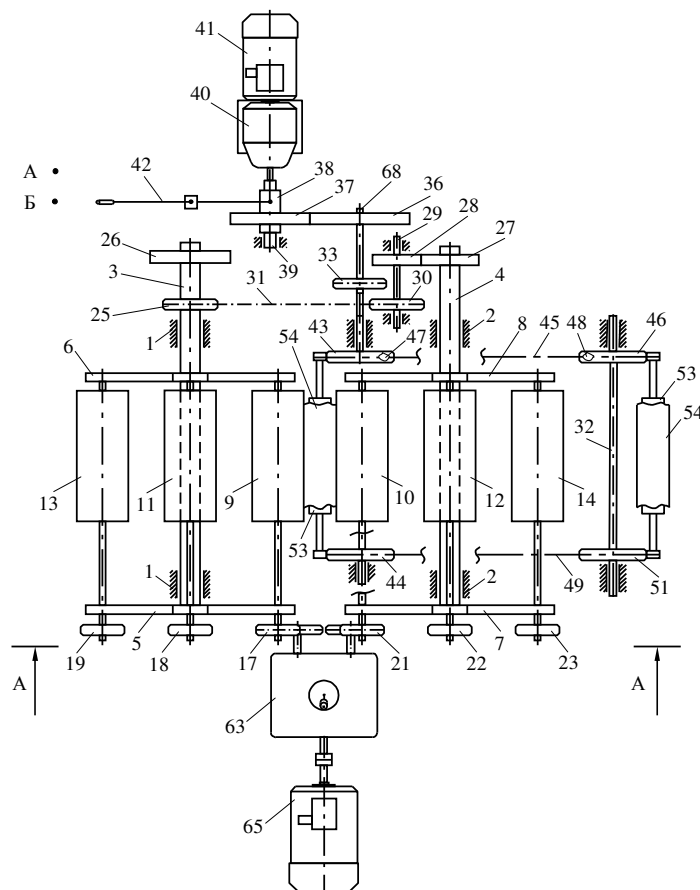


Рис. 2. Общий вид конструкции многооперационной машины (вид сбоку)

При замене другой пары технологических рабочих валов поворотом ручки 42 устанавливается контакт шестерни 37 с шестерней 26, при этом шестерня 36 останавливается и не вращается, то есть цепной транспортер останавливается. При включении электродвигателя 41 вращение через редуктор 40 и звездочки 37 передается шестерне 26, которая вращает вал 3 и устанавливает нужный рабочий вал в зону обработки.

Звездочка 25 цепью 31 вращает звездочку 30, которая через вал 29 шестерни 28 и 27 передает вращение валу 4, а вал 4, вращая крестовины, устанавливает второй рабочий вал в зону обработки.

После установки пары рабочих валов нужной технологической операции отключается электродвигатель 41 и перемещается ручка 42 для контакта шестерни 37 от шестерни 26 к шестерне 36.

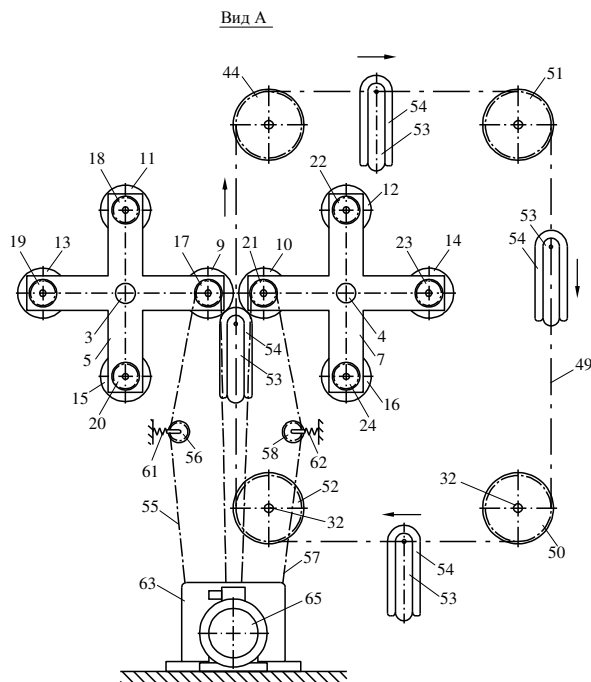


Рис. 3. Многооперационная машина (вид сверху)

Если необходимо обработать обратную поверхность, то кожевенный полуфабрикат переворачивается на опорной плите и повторяется процесс обработки.

Эффективность разработанной многооперационной машины заключается:

- в обеспечении повышения производительности машины за счет одновременной обработки обеих половинок кожевенного полуфабриката;
- в снижении затрат ручного труда в навеске и сьеме кожевенного полуфабриката на транспортирующие устройства;
- в уменьшении межоперационного транспортирования кожевенного полуфабриката от одной технологической машины к другой;
- в возможности механической обработки средних и больших размеров кожевенного полуфабриката;
- в снижении материалоемкости предлагаемой машины;
- в снижении производственной площади занимаемой машиной;
- в возможности осуществления различных технологических механических операций на одной машине и др.

Список литературы: 1. Бахадиров Г.А., Цой Г.Н., Набиев А.М., Умаров А.А. Разработка многооперационной валковой машины для механической обработки кож // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Наука в современном мире: теория и практика». Уфа. 2018. -С. 42-44. 2. Бахадиров Г.А., Мусиров М.У., Набиев А.М., Умаров А.А. Исследование факторов, влияющих на процесс обработки кожевенного полуфабриката // Международный Академический вестник” Уфа, 2018. - № 10. -С. 28-85. 3. Аманов Т.Ю., Баубеков С.Д., Цой Г.Н., Набиев А.М., Устройство для обеспечения усилия прижима между рабочими органами валковых технологических машин // «Современные наукоемкие технологии» Пенза. 2018. -№9. -С. 9-14. 4. Патент РФ № 2024614. Машина для механической обработки кож и шкур. Авторы: Ганус В.П., Зюнкин В.Г., Поломошных С.П., Мельченко В.И. Оpubл. в Бюл. 15.12.1994 г.

УДК 539.3+621.9

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛИ

Бутенко В.И., Давиденко К.В., Сосницкая Т.С.

(кафедра ТМ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Аннотация: Разработана и описана структурно-функциональная схема двухстадийного дифференциального импульсного калориметра, позволяющего по измеренной разности тепловыделения исследуемого образца и эталона определять величину накопленной энергии деформации материала поверхностного слоя детали. Дано описание установки для экспериментального определения величины удельной накопленной энергии деформации в материале поверхностного слоя детали и выполнен сравнительный анализ её величины, вычисленной теоретически и полученной экспериментально на установке, показавший её хорошую сходимост.

Ключевые слова: деталь, поверхностный слой, материал, энергия деформации, калориметр, установка.

В работах [1, 2] показано, что энергетическое состояние материала поверхностного слоя детали, подвергнутой механической обработке, во многом определяет её эксплуатационные свойства. Вследствие этого исследованиям энергетического состояния материала поверхностного слоя деталей посвящено много работ, выполненных разными научными школами в области технологии машиностроения, металлообработки и контактного взаимодействия материалов [3 – 5]. Однако в них даётся лишь объяснение наличия поверхностной энергии обработанной детали с точки зрения теории деформационного упрочнения и приводятся математические модели для её определения, согласно которым, например, энергетическое состояние материала обработанной поверхности детали может быть оценено удельной величиной накопленной энергии деформации \mathcal{E}_{y0} (Дж/м³) по параметрам кривой деформационного течения материала, используя зависимость

$$\mathcal{E}_{y0} = \frac{Q}{\alpha^2 G} (\sigma - \sigma_{0,2})^2, \quad (1)$$

где Q – коэффициент пропорциональности, принимаемый в соответствии с кривой деформационного течения железоуглеродистых сплавов равным 0,5 – 1,0; G – модуль сдвига материала детали, Н/м²; α – параметр междислокационного взаимодействия [6, 7]; σ – напряжение, необходимое для движения подвижных дислокаций [8], Па; $\sigma_{0,2}$ – напряжение начала пластического течения материала, Па; величина напряжения $\sigma_{0,2}$ принималась равной экспериментально определённому напряжению $\tau_{сц}$ [9].

Экспериментально величина удельной накопленной энергии деформации \mathcal{E}_{y0} может быть определена с использованием метода дифференциальной сканирующей калориметрии [10], сущность которой состоит в дифференциальной двухстадийной схеме измерения разности тепловыделения в двух рабочих ячейках, содержащих исследуемый образец и эталон. При этом порядок величины удельной накопленной энергии деформации \mathcal{E}_{y0} с измеренной разностью тепловыделения исследуемого образца и эталона.

Учитывая рекомендации, изложенные в работе [10], была разработана структурно-функциональная схема двухстадийного дифференциального импульсного калориметра (рис. 1, а) и изготовлена установка для определения удельной накопленной энергии деформации \mathcal{E}_{y0} (рис. 1, б). К исследуемому образцу 6, представляющему валик заданного диаметра и длины и соответствующему ему эталону 7, предварительно под-

вергнутому полному отжигу в среде инертных газов, с помощью контактной сварки привариваются электроды (термопарные датчики) 9 диаметром 0,08 мм, которые одновременно служат как датчиками температуры, так и щупами для снятия разности потенциалов на рабочей длине исследуемого образца 6 и эталона 7. Затем образец 6 и эталон 7 закрепляются в калориметре при помощи массивных медных зажимов (силовых

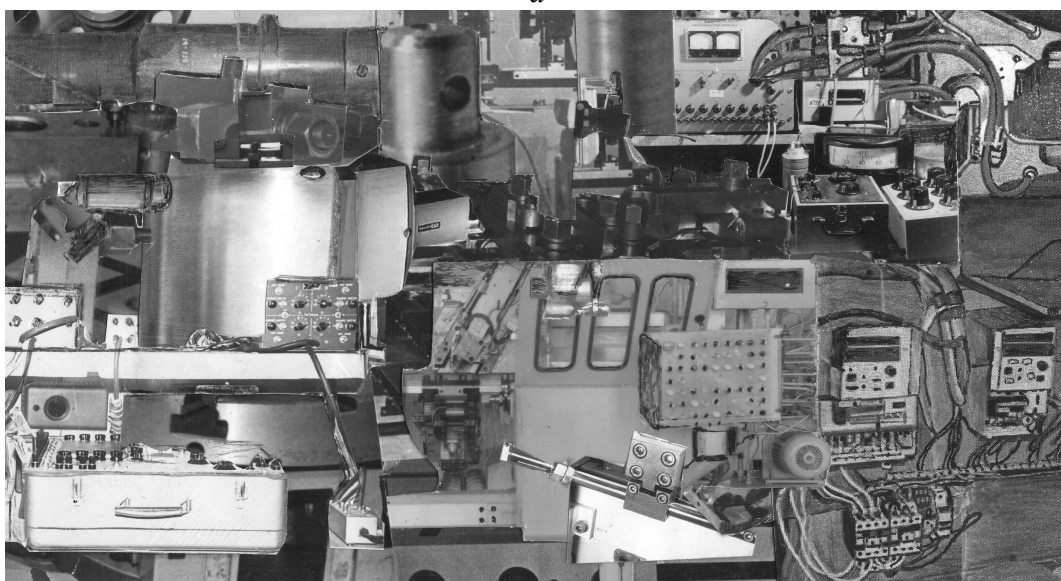
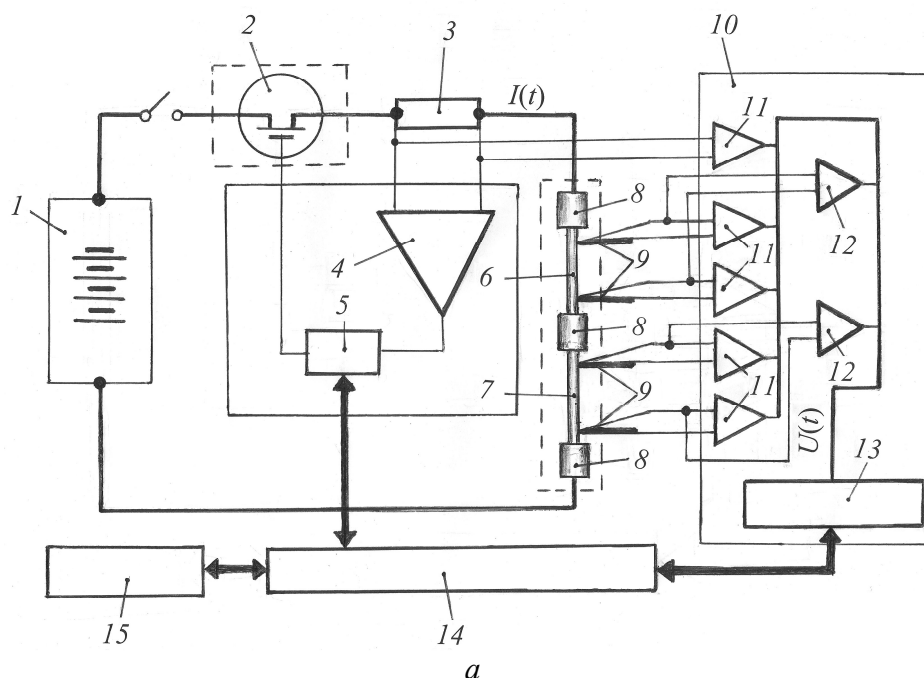


Рис.1. Структурно-функциональная схема двухстадийного дифференциального калориметра (а) и общий вид установки для определения удельной накопленной энергии деформации (б): 1 – источник питания; 2 – блок силовых ключей; 3 – резистивный токовый датчик; 4 – усилитель; 5 – цифро-аналоговый преобразователь; 6 – исследуемый образец; 7 – эталон; 8 – медный силовой электрод; 9 – термопарный датчик; 10 – блок измерений; 11 – масштабирующий измерительный усилитель; 12 – масштабирующий функциональный усилитель; 13 – аналого-цифровой преобразователь; 14 – микроконтроллер; 15 – персональный компьютер

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

электродов) 8, через которые в процессе исследования пропускается калиброванный импульс электрического тока с известной функцией развёртки силы тока по времени $I(t)$.

Установка для определения удельной накопленной энергии деформации $\mathcal{E}_{уд}$ имеет источник импульсного тока, представляющего собой управляемый компенсационный стабилизатор, включающий в себя стандартный резистивный токовый датчик 3, инструментальный усилитель 4, цифро-аналоговый преобразователь 5 (ЦАП16) для задания режима работы стабилизатора и блок силовых ключей 2 на базе мощных MOSFET транзисторов. Источником питания 1 стабилизатора может быть батарея свинцовых или никель-кадмиевых аккумуляторов. Однако лучшие результаты по формированию калиброванного импульса электрического тока $I(t)$ достигаются при использовании в качестве источника питания 1 импульсного AC-DC преобразователя или накопителя в виде батареи электролитических конденсаторов, допускающих большие токовые перегрузки [10].

Блок измерений установки для определения удельной накопленной энергии деформации $\mathcal{E}_{уд}$ 10 имеет в своём составе пять масштабирующих инструментальных усилителей 11 для измерения импульсной силы тока $I(t)$ и два масштабирующих функциональных усилителя 12 для измерения разности потенциалов. Нормированные сигналы с выхода усилителей 12 подаются на входной мультиплексор аналого-цифрового преобразователя 13, в качестве которого применён АЦП16. Управление всеми узлами калориметра, задание температурно-временного режима и сбор данных в процессе эксперимента осуществляется с помощью 16-ти разрядного микроконтроллера 14 (например, МК16). Дальнейшая обработка результатов исследования и расчёт удельной накопленной энергии деформации выполняется разработанным на базе прикладных программ Mathcad и Microsoft Excel программным обеспечением с помощью персонального компьютера 15.

В табл. 1 дана техническая характеристика установки для определения удельной накопленной энергии деформации, которая позволяет проводить исследования, связанные не только с определением удельной накопленной энергии деформации $\mathcal{E}_{уд}$, но и с изучением особенностей технологической совместимости модифицированных и многокомпонентных функциональных слоёв, создаваемых на поверхностях деталей.

Таблица 1. Техническая характеристика для определения удельной накопленной энергии деформации материала поверхностного слоя детали

№ п/п	Параметр или показатель установки	Единица измерения	Величина параметра или показателя
1.	Габаритные размеры: длина ширина высота	мм	1200×800×650
2.	Потребляемая мощность (максимальная)	кВт	3,5
3.	Подаваемое напряжение	В	220
4.	Частота	Гц	50
5.	Предельные размеры исследуемых образцов: диаметры длины	мм	10 – 30 80 – 200
6.	Температура окружающей среды	град. С	20±1
7.	Время экспозиции	мин.	5 – 6
8.	Погрешность определения $\mathcal{E}_{уд}$	%	±10
9.	Масса с пультом управления	кг	850

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Проведены сравнительные исследования по определению удельной накопленной энергии деформирования $\mathcal{E}_{y\partial}$ материала поверхностного слоя образцов из разных материалов и подвергнутых различным способам финишной обработки теоретически по формуле (1) и на экспериментально на установке. При этом плотность дислокаций материала поверхностного слоя определялась по уширению дифракционных линий с помощью рентгеновской установки ДРОН-3М. Определялись отклонения $\Delta\mathcal{E}_{y\partial}$ экспериментальных значений величины удельной накопленной энергии деформации $(\mathcal{E}_{y\partial})^k$ от расчётной $(\mathcal{E}_{y\partial})^p$ по формуле:

$$\Delta\mathcal{E}_{y\partial} = \frac{(\mathcal{E}_{y\partial})^k - (\mathcal{E}_{y\partial})^p}{(\mathcal{E}_{y\partial})^p} \times 100\%. \quad (2)$$

Результаты исследований приведены в табл.2, анализ которой показывает, что величина $\mathcal{E}_{y\partial}$ зависит от структуры материала, плотности дислокаций материала повер-

Таблица 2

Сравнительные значения величины $\mathcal{E}_{y\partial}$ материала поверхностного слоя деталей после финишной обработки

Обрабатываемый материал	Способ финишной обработки	Величина $\mathcal{E}_{y\partial}$, Дж/м ³		$\Delta\mathcal{E}_{y\partial}$, %
		$(\mathcal{E}_{y\partial})^p$	$(\mathcal{E}_{y\partial})^k$	
Сталь 12ХН3А	Шлифование	0,186	0,182	- 2,1
	Обкатка роликом	0,219	0,227	+3,8
	Алмазное выглаживание	0,094	0,099	+5,2
Сталь 35ХГСА	Шлифование	0,207	0,198	- 4,5
	Обкатка роликом	0,253	0,241	- 4,9
	Алмазное выглаживание	0,102	0,113	+10,1
Сталь 50	Шлифование	0,195	0,204	+4,5
	Алмазное выглаживание	0,114	0,106	- 7,9
Сталь 50ХН	Шлифование	0,225	0,231	+ 2,6
	Алмазное выглаживание	0,129	0,117	- 9,9
Сталь 110Г13Л	Чистовое точение	0,306	0,339	+ 10,2
Сталь 18Х2Н4МА	Шлифование	0,232	0,250	+ 8,6
	Обкатка роликом	0,294	0,273	- 6,9
	Алмазное выглаживание	0,136	0,126	- 7,2
Сталь ШХ15	Шлифование	0,308	0,291	- 5,6
Сплав 45Х25Н20С2А	Шлифование	0,275	0,302	+ 9,7
	Обкатка роликом	0,288	0,314	+ 9,5
	Алмазное выглаживание	0,106	0,095	- 10,1
Сплав ЖС6У	Шлифование	0,293	0,308	+ 4,9
	Обкатка роликом	0,347	0,327	- 6,0
Чугун СЧ15	Шлифование	0,098	0,089	- 9,8
Чугун АЧС-3	Шлифование	0,112	0,124	+ 10,7

хностного слоя, размера зёрен, причём расчётные $(\mathcal{E}_{уд})^p$ и экспериментально определённые $(\mathcal{E}_{уд})^k$ значения величины удельной накопленной энергии деформации имеют достаточно хорошую сходимость.

Таким образом, разработанная установка для определения энергетического состояния материала поверхностного слоя детали позволяет с достаточно высокой достоверностью устанавливать величину удельной накопленной энергии деформации и по ней прогнозировать эксплуатационные свойства деталей машин, а также разрабатывать технологические пути их обеспечения.

Список литературы: 1. Бутенко, В.И. Структура и свойства поверхностного слоя деталей трибосистем / В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 367 с. 2. Бутенко, В.И. Структура и потенциал трибоконтакта поликристаллических материалов / В.И. Бутенко. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. – 160 с. 3. Лебедев, В.А. Технология динамических методов поверхностного пластического деформирования / В.А. Лебедев. – Ростов-на-Дону: Издат. центр ДГТУ, 2006. – 183 с. 4. Прокофьев, М.А. Энергетический критерий оптимизации режимов обработки деталей шлифованием / М.А. Прокофьев // Машиностроение – основа технологического развития России. ТМ-2013: сб. науч. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. – Курск: Изд-во Юго-Зап. гос. ун-та, 2013. – С. 334 – 336. 5. Кабалдин, Ю.Г. Квантово-механическое моделирование энергии адгезии наноструктурных покрытий с режущим инструментом и с обрабатываемым материалом / Ю.Г. Кабалдин, Е.Е. Власов, А.М. Кузьмишина // Упрочняющие технологии и покрытия. Том 14. – 2018. – №8 (164). – С. 339 – 343. 6. Бутенко, В.И. Высокопрочные и сверхпрочные состояния металлов и сплавов / В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – 219 с. 7. Бутенко, В.И. Физико-технологические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов / В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 264 с. 8. Бутенко, В.И. Электронно-дислокационные представления о процессах резания металлов и сплавов / В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 211 с. 9. Бутенко, В.И. Управление нанотрибологическими характеристиками поверхностей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения / В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 385 с. 10. Тимофеев, М.В. Методика и аппаратура измерения накопленной энергии деформации в поверхностном слое деталей машин / М.В. Тимофеев, М.А. Прокофьев // Научно-технологические проблемы машиностроения и авиадвигателестроения: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. Ч. II. – Рыбинск: Изд-во РГАТУ, 2012. – С. 25 – 29.

УДК 519.6: 681.81

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ В СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ МЕХАНИЧЕСКИХ
КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ*Ладоша Е.Н. (кафедра МКМТ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)**Фомич М. В. (кафедра ПМ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)**Цымбалов Д.С., (кафедра ЭиЭ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)*

Аннотация: Рассмотрены распространенные дефекты гитар и их настройки, выражающиеся в нарушении тонового спектра музыкального инструмента. Сконструированы математические модели и алгоритмы, позволяющие решать обратную задачу – по тоновому спектру инструмента выявлять его физические дефекты и неточности настройки. Процедура автоматизированного анализа качества трех конкретных инструментов положительно верифицирована профессиональными музыкантами. Результаты работы предназначены для автоматизированной технической диагностики и настройки инструментов в условиях современного массового производства, а также могут использоваться в учебных целях.

Ключевые слова: струна, музыкальный инструмент, гитара, дефектовка, настройка, тоновый спектр, музыкальный строй, обратная задача, математический анализ, автоматизация.

Важнейшими качествами музыкального инструмента (МИ) являются пригодность к настройке и способность длительно сохранять настроенное состояние. Однако в силу различного принципа звукоизвлечения и конструкции достижение одинаковой степени настроенности инструмента требует существенно отличающихся объемов высококвалифицированной работы. Для сокращения объема и упрощения настроечной работы в настоящее время широко используются вспомогательные электронно-измерительные средства (частотомеры, анализаторы спектра, генераторы эталонных сигналов и пр.), а также и разнообразные информационные технологии. Основу последних составляют реалистичные математические модели звукоизвлечения и высокоэффективные средства их анализа. Такой инструментарий не только повышает качество настройки при сокращении объема работы, но также позволяет увеличить межнастроечные интервалы и выявлять существенные дефекты инструмента, требующие ремонта или даже утилизации инструмента.

Наибольшей популярностью в молодежной среде пользуются гитары различных видов. Настройка этого инструмента трудоемка, а ее результат – недолговечен. По этой причине гитары относят к условно строящим инструментам.

Таким образом, разработка математических моделей для анализа технического состояния и настроенности гитарной продукции крайне актуальна.

Имеющиеся в свободном доступе программные продукты для настройки МИ ориентированы на практикующих музыкантов, а не на профессиональных настройщиков и, тем более, не на фабричные системы и процедуры. Они, реализованные в большинстве на мобильных платформах (IOS, ANDROID, WINDOWS), по существу являются частотомерами со встроенной шкалой эталонных музыкальных звуков: их применение в производстве и массовой настройке МИ проблематично. Однако такой инструментарий полезен при разработке многофункционального продукта – информационно-аналитического комплекса для массовой технической диагностики и настройки.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Основная идея данной работы состоит в диагностировании существенных, требующих устранения конструктивных дефектов гитары, которые препятствуют ее должной настройке, по тоновому спектру инструмента. К таковым относятся: нарушенная длина и/или геометрия грифа, смещение подставки, положение ладов, а также неприемлемо низкое качество струн.

Новизна подхода, использованных методов и полученных результатов состоит в отработке научно-методического задела, востребованного при проектировании аппаратно-программных комплексов для массовой технической диагностики гитар в условиях производства и предпродажной подготовки. Его основу составляют математические модели, реализующие алгоритмы и программы, отражающие связи между спектром и критичными техническими параметрами гитары. Существенным элементом этих моделей является нацеленность на решение т.н. обратной задачи, что требует надлежащей регуляризации.

Практическое применение разработки видится в создании автоматизированного макета (стенда) для массовой дефектовки и настройки акустических гитар.

Предысторией, вызвавшей интерес авторов к проблеме, служит следующий эпизод. Знакомый профессиональный гитарист уверенно заявил, что настроить наличную китайскую гитару за 3000 рублей в принципе не возможно, в то время как древний брежневских времен отечественный инструмент (современной ценой 1000 рублей) его почти удовлетворил. Когда в распоряжении авторов появилась третья гитара – «Аккорд», г. Бобров со сломанным и затем кустарно склеенным грифом оказалось, что несколько гитаристов разного уровня вполне успешно на ней играли, выражая при этом полное удовлетворение инструментом.

Отсюда возникла следующая постановка задачи: какие объективные критерии можно использовать для оценки качества гитары с выходными показателями: хорошее, удовлетворительное, неприемлемое? Логично к гитаре предъявить следующее основополагающее техническое требование – возможность быть настроенной хотя бы на некоторый промежуток времени. Чтобы переформулировать его в математических терминах, обратимся к теории музыки и физическим основам звукоизвлечения на струнах.

Под музыкой будем понимать совокупность параллельно-последовательных звуков, различной частоты и длительности, вызывающих целостное образное восприятие с положительными эмоциями. Это определение вполне согласуется с «Искусство сочетания вокальных или инструментальных звуков (или обоих) для создания красоты формы, гармонии и выражения эмоций» [1], однако по сравнению с ним содержит важные в математике числовые характеристики звука – частоту и длительность.

В восприятии музыки ключевую роль играет не абсолютная частота отдельных звуков в комбинации, а отношения комбинирующих частот в каждый момент времени. Отсюда построение системы (систем) допустимых комбинаций частоты звука в единовременном и последовательном исполнении.

Первым в музыке возник т.н. натуральный строй – музыкальный строй, использующий интервалы, построенные на основе обертонов [2]. Октава (1:2), квинта (2:3), кварта (3:4), большая терция (4:5), малая терция (5:6), большой целый тон (8:9), малый целый тон (9:10), и диатонический полутон (15:16). Так получается гамма гармоничная начальному тону, но лишь в пределах этой тональности. Однако даже в пределах такой семиступенной гаммы есть фальшивые интервалы (волчья квинта).

Расширенный натуральный строй (двенадцатитоновая шкала) получается путём вычисления недостающих пяти тонов. Если использовать диатонический полутон (15:16), можно получить исключительно рациональные соотношения частот интерва-

лов, сведенные [2]. Расстояния между соседними ступенями (полутон) в этой нотной системе неодинаковы: их величины и названия приведены в работе [2].

В настоящее время натуральный строй практически полностью вытеснен т.н. равномерно темперированным музыкальным строем (И.С. Бах, XVIII век), в котором каждая октава делится на математически равные интервалы, в наиболее типичном случае – на двенадцать полутонов, каждый из которых равен $2^{1/12}$ [3]. Сопоставление нот натурального и равномерно темперированного строев приведено в работе [3].

Центом называется $1/100$ частотного интервала между соседними нотами равномерно темперированного строя.

Максимальное отличие натурального и равномерно темперированного строев в пределах октавы достигает $\pm 15,64$ центов [3]. В ранней классической музыке (до И.С. Баха с его новым строем) подобные отклонения считались недопустимыми – музыка писалась под конкретную тональность и не подлежала транспонированию на не кратное октаве число «полутонов». Вообще, понятие полутон не имело смысла, а инструменты типа клавесина, клавикорда, спинета подстраивались непосредственно под тональность исполняемого произведения. Исполнить же произведения тех лет, например, эпохи Барокко на современно настроенном инструменте невозможно.

Базовой частотой при настройке музыкальных инструментов считается нота Ля первой октавы (обозначается как А4), которой соответствует частота $f_{A4} = 440$ Гц [4].

Согласно [5] допустимая погрешность ноты для профессиональных инструментов составляет два-три цента в среднем регистре (220 – 880 Гц); к краям звукового диапазона допускается ее повышение в 1.5 – 2 раза. Любительский уровень допускает погрешность 10 центов в среднем регистре, куда укладывается спектр гитары. В оркестре допускается несовпадение отдельных нот различных инструментов до 8 центов [5]. Расстройка инструмента на 10 и более центов обычно считается неприемлемой.

В любительской настройке МИ измеряются и устраняются лишь отклонения отдельных тонов от теоретических значений. Согласно [5] точность настройки МИ может быть характеризована обратной величиной – погрешностью настройки, которая проявляется в четырех показателях: 1) отклонении общей высоты строя от стандартной высоты, определяемой тоном Ля-1 (А4) с частотой 440 Гц; 2) отклонении частот тонов средней октавы от расчетных значений (для равномерно-темперированного или чистого строя); 3) отклонении в настройке унисонов; 4) отклонении в настройке октав.

Здесь первый параметр относится к одному тону, второй – к тонам средней октавы, а третий и четвертый параметры – ко всему диапазону инструмента.

По экспертной оценке [5] с помощью классического камертона настроить базовую ноту А4 можно с точностью не выше, чем $\pm 0,4 \div 0,8$ цента. Если бы настройщики реализовали такую точность, не было бы заметной разницы в высоте строя разных инструментов. В действительности разброс настройки оркестровых инструментов достигает нескольких центов. Это связано как с отличием эталонных механических камертонов, используемых при настройке отдельных МИ, так и с присущей самим МИ нестабильностью частоты. Частота нот МИ зависит от условий возбуждения звука, а также температуры и влажности окружающей среды. Соответствующий разброс частоты может достигать нескольких центов (1 цент – клавишные инструменты, до 10 центов – язычковые).

Таким образом, введение в измерительную практику электронных частотомеров (тюнеров) решает проблему настройки лишь некоторых выбранных эталонными звуков отдельных МИ и оркестра. В то же время обеспечение стабильности звучания во всем игровом диапазоне МИ возлагается на исполнителя.

Для измерения частоты нот мы использовали гитарный тюнер gStrings [6], реализованный на платформе ANDROID, а в качестве эталона музыкального строя – клавишный синтезатор Casio CT-400.

Спектральный анализ эталонного МИ – синтезатора Casio CT-400 сводится к следующему. Отклонение общей высоты строя от стандартной $f_{A4} = 440$ Гц составило 1.61 цента, при отклонении центральной ноты А4 на 1.97 цента от идеала. Максимальное отклонение тонов «идеального» МИ не превышает 5 центов.

Производной погрешности индивидуальных тонов является погрешность интервалов между соседними нотами $\ln f_i - \ln f_{i+1}$. Для выбранного эталонным МИ она отображена на рис. 1 в зависимости от погрешности индивидуальных полутонов $\ln f_i - \ln f_{i+1}$ — $\ln f_i - \ln f_{i \text{ теор.}}$.

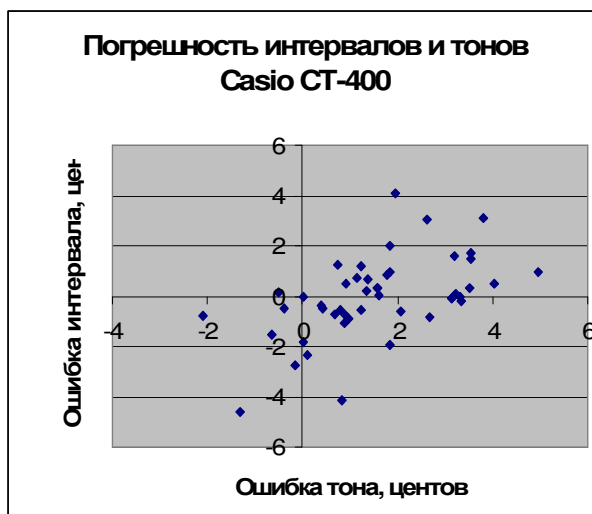


Рис. 1. Отклонение интервала (полутона) синтезатора Casio CT-400 от идеальной величины

Статистическими параметрами для погрешности минимального интервала служат средняя погрешность -0.034 цента и среднеквадратичное отклонение 1.61 цента. Вторая из приведенных величин близка к среднеквадратичному отклонению идеальных нот, а коэффициент корреляции между $\ln f_i - \ln f_{i+1}$ и $\ln f_i - \ln f_{i \text{ теор.}}$ не существен ($R = 0.53$). Это свидетельствует о случайном характере неточности настройки.

Интегральными показателями, характеризующими распределение в погрешности индивидуальных тонов Casio CT-400, служат центральные нормированные моменты третьего и четвертого порядка – асимметрия и эксцесс. Распределение погрешности тонов Casio CT-400 характеризуется асимметрией и эксцессом -0.08 и 2.61 соответственно, что означает похожесть изучаемого распределения на нормальное.

При анализе отклонения от идеала в настройке октав использовался следующий алгоритм. Рассматривалась отстройка всех нот, начиная со второй октавы по отношению к удвоенному и одновременно сдвинутому на октаву вниз строю МИ. Т.е. изучалась статистика погрешностей для интервалов $\ln f_i - \ln (f_i + 12/2)$. Получены следующие результаты: среднее отклонение в октавных интервалах не превышает 1 цента при вероятном разбросе около двух центов. Для нас здесь важна величина разброса, которая примерно в полтора раза превышает разброс соседних тонов. Физически объяснимым здесь представляется коэффициент, равный $\ln 12 / (2 \ln 2) \approx 1.79$. Это обстоятельство в принципе позволяет отказаться от октавного анализа строя МИ.

Таким образом, можно уверенно квалифицировать наши инструментальные и алгоритмические средства как вполне удовлетворяющие целям их применения. Оценочный уровень измерительной погрешности составляет доли цента, что обеспечивает возможность упростить процедуру измерений, например, исключив из нее анализ спектра МИ в октавных интервалах.

Исследовательскую часть работы целесообразно начать с хорошего инструмента, поэтому проанализируем исходный тоновый спектр советской гитары «Аккорд».

Практически установлено, что в пределах наиболее употребительных при игре ладов погрешность воспроизводства тона, связанная с не идентичностью щипков и зажимов струны близка по величине к отличию «среднего» тона струны от соответствующего идеального, отличаясь от нее не более, чем на 10 центов. Это обстоятельство проиллюстрировано на рис. 2 и 3.

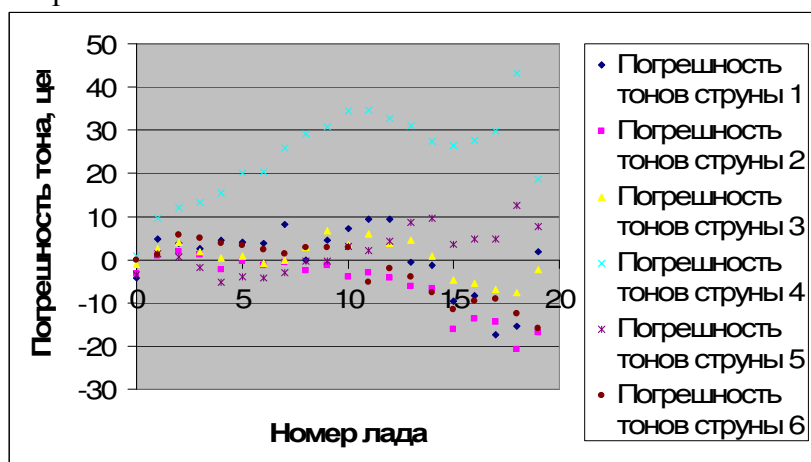


Рис. 2. Отличие спектра средних тонов гитары «Аккорд» от идеального

Данные рис. 2 свидетельствуют, что «слабым местом» данного МИ является четвертая струна, вносящая заметный диссонанс во всем диапазоне ее использования. Таким образом, важнейшим элементом инструментально-информационного комплекса по автоматизированной дефектовке и настройке гитар должна быть подсистема визуализации данных.

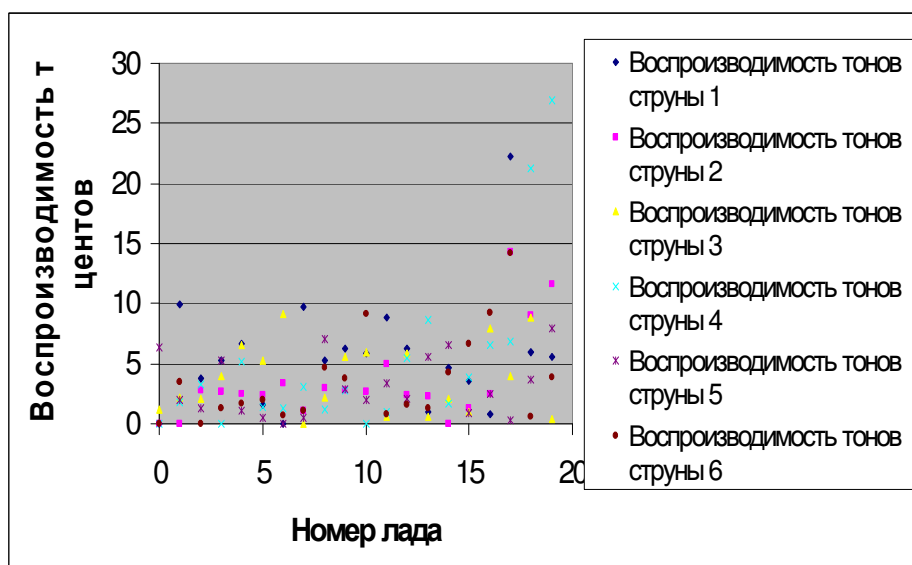


Рис. 3. Отличие воспроизводимости тонов гитары «Аккорд» от идеальной

Во-вторых, установлено отсутствие прямой связи между неточностью размещения ладов и погрешностью строя гитары: соответствующие коэффициенты корреляции для различных струн принимают значения: 0,398, -0,379, -0,157, 0,016, 0,233 и 0,045, причем меньшее по модулю для самой плохой струны. Это означает строгую выдержанность размеров мензуры, расположения ладов и степени коррекции тона с учетом изгибной жесткости применяемых струн.

Связь погрешности соседних тонов струны, отображенная для данного МИ на рис. 4 также может указывать на определенные дефекты гитары или ее настройки. Визуально близкая к линейной (см. рис. 4) при детальном рассмотрении таковой не является, что позволяет в данном случае отвергнуть гипотезу о связи неточности соседних средних тонов.

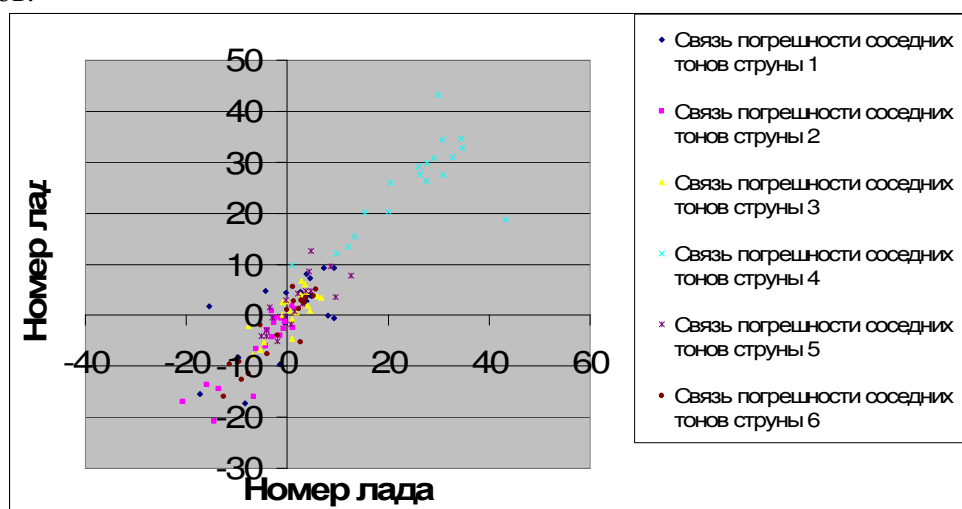


Рис. 4. Связь неточности соседних тонов гитары «Аккорд»

В физических приложениях имеет смысл предполагать линейную связь между изучаемыми факторами, если они коррелируют с коэффициентом, как, минимум 0.93-0.94. Величины, полученные для данного МИ (рис. 5), имеют заметно меньшие значения.

Microsoft Excel - Гитара 3 - Обработка							
Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка							
Arial Cyr 10 Ж К Ч							
Y274 fx							
	S	T	U	V	W	X	Y
264		Струна 1	Струна 2	Струна 3	Струна 4	Струна 5	Струна 6
265		соседние	соседние	соседние	соседние	соседние	соседние
266		лады	лады	лады	лады	лады	лады
267	Коррел	0,660285	0,883819	0,763349	0,724342	0,771285	0,904711

Рис. 5. Корреляция неточности соседних тонов гитары «Аккорд» для всех струн

Такую корреляцию рассматриваемый МИ демонстрирует для векторов погрешности тонов на всех струнах, относящихся к i -му и $i + k$ -му ладам. Результат соответствующих вычислений подтверждает качественное расположение ладов и верную тонкомпенсацию на нижнем порожке. Кроме того, он свидетельствует о низком качестве верхнего порожка и влиянии неоднородности используемых струн, заметной на длине в несколько (3-4 для верхних) ладов.

Существенно, что плохая 4-я струна не портит системной статистики этого МИ, отображенной на рис. 3-5. Это означает, что улучшить звучание инструмента можно, заменив ее более качественной.

Наконец, важной характеристикой МИ, средний коэффициент повышения частоты при переходе к следующему тону. Его погрешность для данного МИ не превышает одного цента для всех струн.

В завершение анализа рассмотрим функцию распределения для погрешности тона самой плохой струны (4-й). Анализ показал, что функция распределения погрешности тонов плохой (4-й) струны существенно отличается от гауссовой (асимметрия -0,45 и эксцесс 2,77). Кроме того, слишком велики как разброс, так и средняя погрешность тона. Аналогично слишком широким, и вдобавок неправильным (асимметрия 0,75, эксцесс - 6,9) является распределение стабильности тонов для этой струны. Отмеченное обстоятельство диктует необходимость ее замены.

Таким образом, формальный математический анализ тонового спектра гитары выявил ее главные дефекты – некачественные (4-я) струна и верхний порожок. Их устранение не сложно.

Решением обратной задачи о колебаниях неоднородной толстой струны, установлено, что отклонение плотности 4-й струны от однородного имеет на верхних ладах систематический характер и достигает -10 центов/лад. Эта неприемлемая величина соответствует физической неоднородности примерно в 0.002/см длины струны.

Таким образом, предлагаемые методы математического анализа строя гитар позволяют успешно дефектовать как инструменты, так и используемые струны. Практическая программная реализация оригинальных вычислительных алгоритмов (отрабатывались в MS Excel) позволит внедрить разработку в состав информационно-диагностического комплекса по отбраковке, дефектовке и настройке гитар в условиях реального производства. Определенным (социального плана) недостатком разработки видится возможность сократить рабочие места для высококвалифицированных работников с профессионально хорошим или даже абсолютным слухом – настройщиков и мастеров по ремонту МИ.

Список литературы: 1. The Concise Oxford Dictionary. Allen, R.E., ed. 1992. Clarendon Press. Oxford: 781. 2. Натуральный строй: https://ru.wikipedia.org/wiki/Натуральный_строй. 3. Равномерно темперированный строй: https://ru.wikipedia.org/wiki/Равномерно_темперированный_строй. 4. Благая А. «Правильное» Ля // http://blagaya.ru/skripka/violin_azbuka/la. 5. Порвенков В.Г. Акустика и настройка музыкальных инструментов. М.: Музыка, 1990. 6. gStrings – хроматический тюнер и камертон для Android: <http://android4all.ru/soft/instruments/64-gstrings-android>. 7. Устройство акустической гитары: <http://dreamguitars.ru/stati/stati-o-gitare/ustrojstvo-akusticheskoy-gitary.html>. 8. Компенсация строя гитар по Rauli Parkkali: http://www.lute.ru/guitar/article_compensacia.html.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ В БАЗАХ МНОГОМЕРНЫХ
КЛАССИФИКАЦИЙ ГОРНЫХ МАШИН

Ибраева Н.Р., д.т.н., доцент Бейсембаев К.М., Нокина Ж.Н. (КапГТУ,
г.Караганда, Казахстан)

Тел. +7(747)1614745; E-mail: nazira9407@gmail.com

Abstract: *Effective design and modeling of mining machines, information and software components are one of the bases in the database, which further allows you to create a shell combining auto-design, modeling and monitoring of the current state of the machine with a single structurally related component. The cases presented in the article require a significant simplification and universalization of database creation, for the need for greater adaptation of systems to work with automated algorithms and is a very important and necessary component. The questions aimed at the study of multidimensional design, which are implemented in CAD packages, are considered. This is all very simply modeled on simple training systems, followed by a simple perception of the issue of adaptation of the calculation and modeling systems to the automation of machine control.*

Key words: *neurons, data base, multidimensional classification, design, mining machine, auto design*

Во время разработки, проектирования и моделирования работы горных машин, информация и программные компоненты располагаются в базе данных, которая в дальнейшем позволяет создать единый структурно связанный контент, объединяющий проектный, модельный и регистрирующий модули, обеспечивая управление машиной, и создавая возможности для работы в режиме обратной связи. В таких случаях к программе предъявляются требования существенного упрощения и универсализации в создании баз, для большей приспособленности к работе с автоматизированными алгоритмами.

Более упрощенно решаются и вопросы о необходимости подключения новых объектов к базе данных, даже если они имеют качественно иное содержание. К одной из отлаженных систем проектирования машин относится SolidWorks-программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия, а для горнопромышленных систем известен K-MINE обеспечивающий глобальный подход к проектированию и моделированию от маркшейдерии, геомеханики и управлению технологиями работ.

Платформы развитых фирм во многом во многом отличны, специфичны по методологии проектирования, а иногда имеют ограниченный доступ к популяризации в технической литературе, а поэтому для их понимания, обучение следует вести за счет раскрытия основ, которые в фундаментальном понимании общи для многомерного проектирования, реализованного в пакетах САПР. При этом используемая схематика меню, должна расширять возможности перехода к меню и интерфейсу различных пакетов. Это должно сочетаться с простотой моделирования на обучающих системах с последующим обеспечением интуитивно понятного восприятия вопроса приспособления расчетно-моделирующих систем к автоматизации управления машиной.

Иначе говоря, необходимо улучшить принципы обучения для создания (или эффективного использования) БД единой структуры, которая упрощала бы использование разработок разных производителей, например, для конечно элементных технологий, а также возможности обработки таких баз внешними системами на объектно-ориентированных языках программирования (C++, VBA).

Автоматизация горных машин и управление связано в настоящее время процессами создания машин на основе нейросетей, которые могли бы действовать таким образом,

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

что будут восприниматься человеком как разумные. Наиболее широкое распространение получили многослойные нейросети прямого распространения, или многослойные перцептроны, MLP (Multi Layer Perceptron).

Строятся они на основе данных о состоянии машин, учитывая, что эти данные могут быть приспособлены к базам данных на основе многомерных классификаций, когда они за счет сетевой организации данных и использования в узлах – таблицах программных систем проектного, прогнозирующего и управляющего типа по существу представляют собой простую нейросеть,

Обычно сеть состоит из нейронов, логических устройств, соединенных между собой аксонами (по существу программируемыми связями), которые могут изменять структуру связи. В результате в нейросети реализуется распараллеливание процессов и вычислений, повышающих их эффективность, а также его логику.

Поэтому нейросетевое моделирование можно применять в базах многомерных классификаций объектов, также как и нейросети, образующими структуру групп узлов и подузлов.

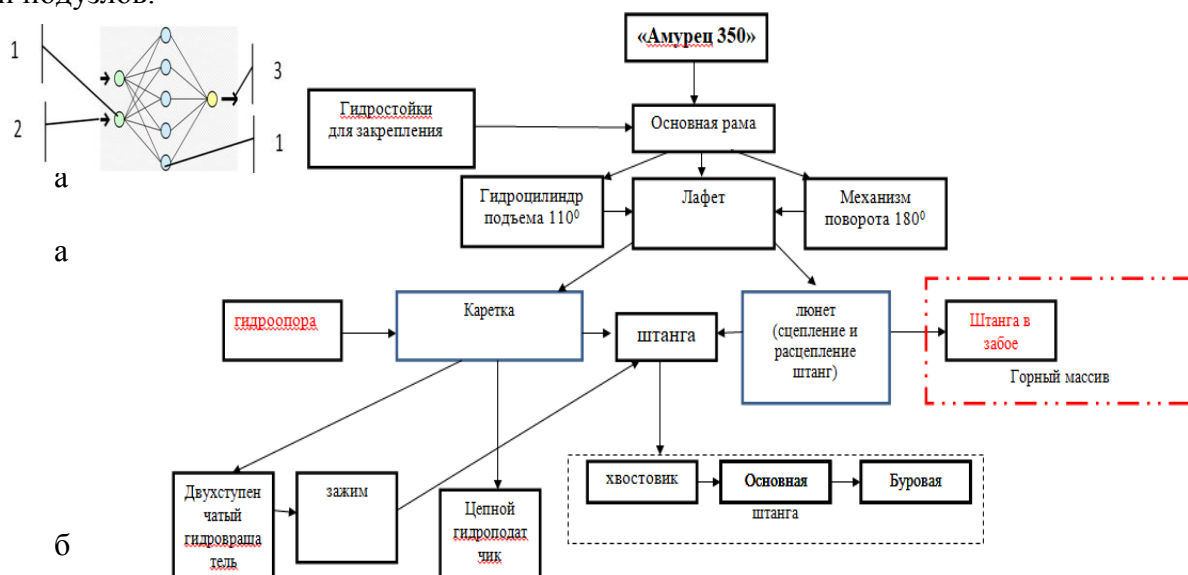


Рис.1 - Простая схема нейросети (а) и многомерная классификация бурового: 1-слой - уровни; 2,3 - входы и выход (б)

В узлах – таблицах, с программами обработки (макросы и модули), создается возможность использования комплекса пакетов для моделирования процессов и данных в 3d. В базах поддерживается иерархическая структура, а с учетом мощного программного обеспечения в узлах, соединяемых через гиперссылки с внешним программным обеспечением, и сетевая структура, обеспечивающая взаимодействие не только с соседними сопрягаемыми узлами, но и расположенными за пределом моделируемого объекта, рис. 1, 2, 3 [1]. В ней заложена мощная система объединения пространственных узлов, разных, но работающих в единой логике баз, с образованием нейросети. Схема узла – таблицы может рассматриваться как простой процессор. В системах моделирования машин и механизмов, наряду с применением в узлах программ на основе объектно-ориентированных языков типа VB, C++ через гиперссылки используются пакеты типа Ansys(work bench), Adams, SolidWorks, Comsol multiphysics, в их меню для сложных ходных данных. Это позволяет создавать программы динамического моделирования и анимации. Открываются и перспективные возможности подключения сетевых возмож -

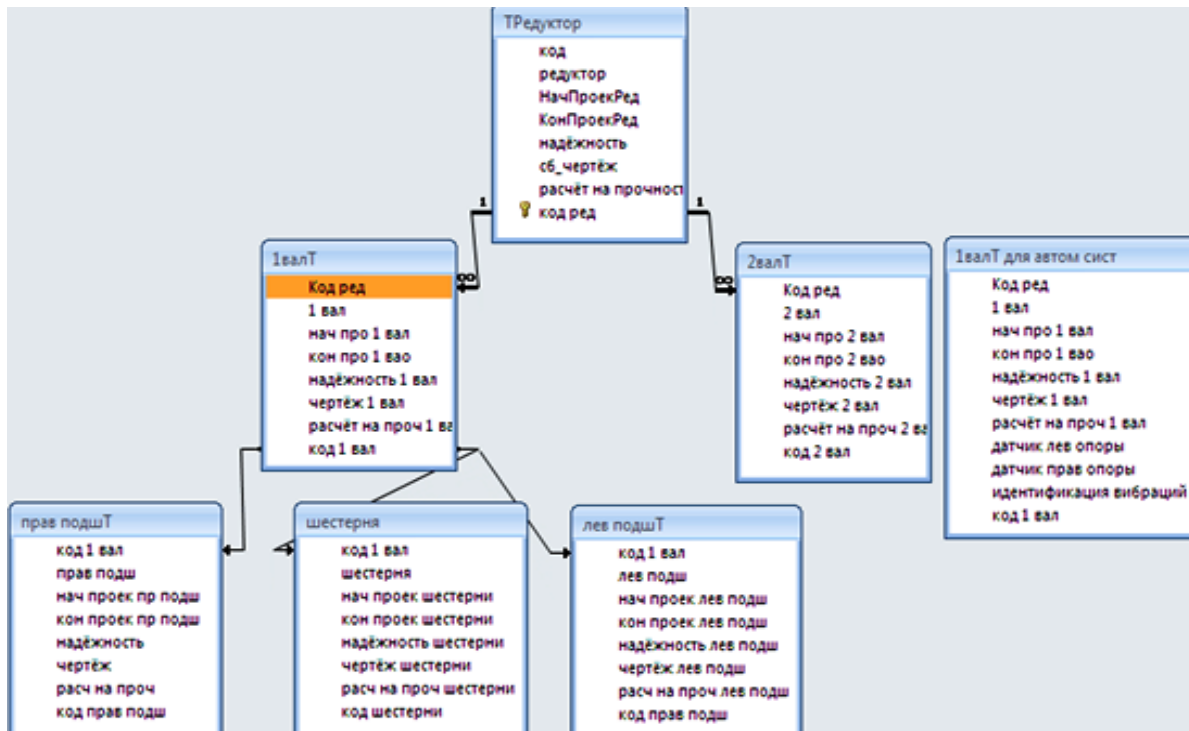


Рис. 2-Окно построения таблиц в программе Microsoft Access

ностей и использования рассредоточенных серверов специальных приложений. Comsol multiphysics. Если рассматривается, например, конструкция машины, то можно увидеть и улучшенные программные элементы управления или конструктивные схемы. В каждом таком узле машину можно рассматривать в обновленной топологии превышающей 3d, которая продолжает конструкцию в её взаимодействии с рабочей средой и с другими узлами, позволяя рассматривать и управлять статическими и динамическими процессами. Для создания инфологической модели базы (логически и рационально связанной - информационной модели рассматриваемого процесса) необходимо создания таблиц и их, соединений. Таблицы стандартных полей строим методом многомерных классификаций [1], по правилам иерархического подчинения независимых элементов объекта по горизонтали (измерения) и по уровням. Соединение таблиц по правилу соединения одинаковых кодовых полей последнего в вышележащего с первым нижележащей таблицы. Заметим, что построение многомерной классификации требует детального знания конструкции машины и особенностей работы, правил и возможностей управления узлами и деталями от узла к узлу, но позволяет организовать и систему её диагностирования, рис. 3. В данном случае таблицы для редуктора уже расширены после создания скелетной части от 5 столбцов до 8 и введены поля: «надёжность», «расчёт на прочность» и «чертёж». Структура таблиц уточнена так, что в базе нет таблиц вне логики инфологической модели. Так, при расчёте надёжности «ТРедуктор» будет уточнена и надёжность корпуса редуктора, а в таблицах «1 вал» учтена надёжность вала и установленных на нём левого и правого подшипников и шестерни. Структура базы учитывает, что эти детали установлены на валу 1. Правильно отраженная функциональность узлов и деталей позволяет соответственно, и организовать расчётные части машины. Соответственно, в таблицах задействованы пакеты CAD/CAM/CAE. Справа представлена заготовка таблицы «1 вал» для автоматизированной системы. Т.е. обновлённая таблица, где теперь легко и логично ввести поля «датчик левой

опоры» и «датчик правой опоры», которые фиксируют амплитуду и частоту давления при вращении вала. Легко понять, что эти параметры во многом способны идентифицировать возникший вибропроцесс от неточностей изготовления зубчатого зацепления, выкрошивания зубьев, разбалансировки одного из подшипников и т.п., если перед эксплуатацией редуктора были осуществлены тестовые записи его амплитудно-частотных характеристик под опорами подшипников. Организация записей датчиков в БД - хорошо известная

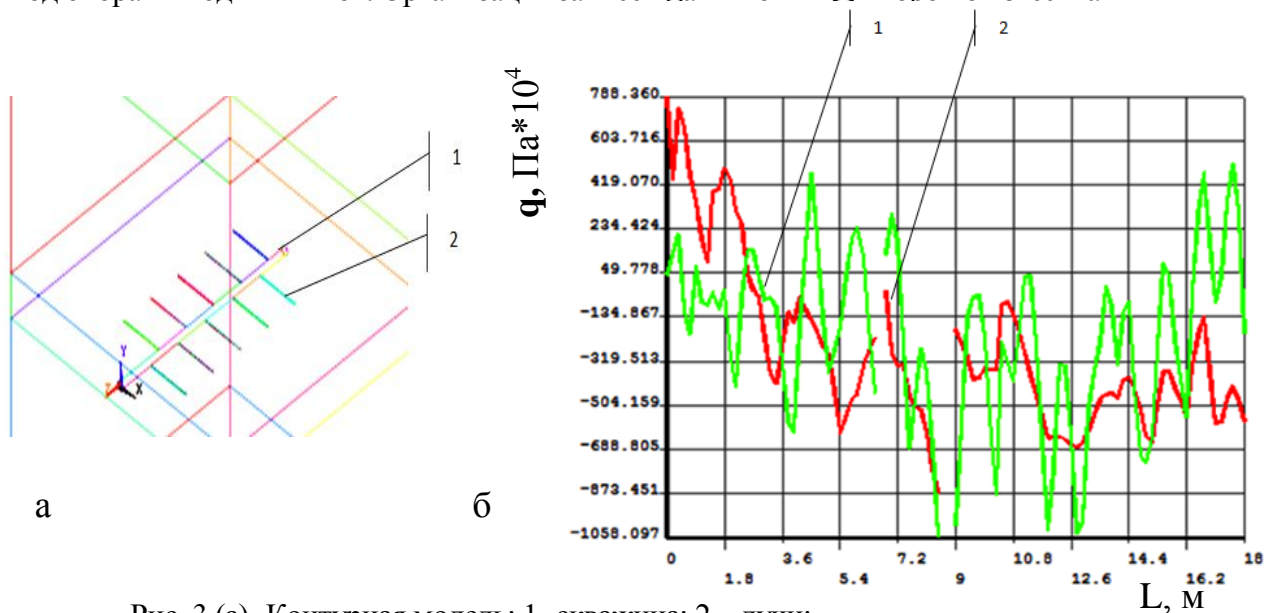


Рис. 3 (а)- Контурная модель: 1 -скважина; 2 – лучи;
(б) напряжения вблизи фронта лучей: 1 - σ_x ; 2 – σ_y

процедура, но затруднения имеются в их идентификации и алгоритмах хранения (какие данные следует сохранить или стереть). Поле «Идентификация вибраций» содержит результаты анализа полученных данных, и, в частности, могут содержать следующие данные, идентификация которых относительно не сложна: нормальный режим; износ на левом подшипнике; отказ на левом подшипнике; выкрошивание зубьев; поломка зубьев.

Идентификация осуществляется в специальной программе обычно встраиваемой в базах в систему запросов, а лучше в блок «модули» (для базы Access). Для этого полученные амплитудно-частотные характеристики с учетом скорости вращения вала сравниваются с табличными. А в случае, если данных для анализа не хватает, процессор базы рассылает срочные сообщения экспертам через Интернет. Заметим, что в лучшем случае данные датчиков должны накапливаться в специальном хранилище, которое периодически просматривают эксперты оборудования без прямых прав их изменения.

Система управления разрабатывается для скважинной обработки пластов с проведением от основной скважины в перпендикулярном направлении инициирующих лучей, например, за счет пескоструйных технологий. Воздействуя на пластовое давлением образование полостей, дисковых трещин, давлением жидкости или тепла подаваемого в лучи. Модель такой системы разработана в пакете Ansys, и включает все основные элементы МТС и рабочей среды до земной поверхности. Получены картины контурной модели и напряжений вдоль скважины у зон лучей, (рис. 3 а, б).

Список литературы: 1.Бейсембаев К.М., Дёмин В.Ф., Жолдыбаева Г.С., Малыбаев Н.С., Шманов М.Н. Автопроектирование горных машин в 3d: проектно-модельный подход Караганда, 2016, изд-во КарГТУ, 208с.

УДК 622.232.72

**АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ВЫЕМОЧНЫХ КОМБАЙНОВ,
РАБОТАЮЩИХ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ
ДЕЙСТВУЮЩИХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДНР, И НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНЫЕ
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИХ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Лысенко Н.М. (доцент каф.ГМ, ДонНТУ), Пустовит Д.С. (студент ДонНТУ)

Общеизвестно, что одним из главных направлений повышения эффективности работы угольных шахт является концентрация горных работ и интенсификация производственных процессов на основе создания и использование новой высокопроизводительной, надежной и безопасной горной техники.

Вместе с тем как следует из анализа технико-экономических показателей работы угольной промышленности Украины, где добыча угля производится в основном подземным способом, по состоянию на 2007г, характеризующийся за всю предыдущую историю украинской угольной промышленности самым высоким уровнем добычи из комплексно-механизированных очистных забоев (КМЗ), уровень комплексно механизированных забоев оснащенных современной новой высокопроизводительной, надежной и безопасной горной техникой составил всего лишь 31,6% от общего среднедействующего количества КМЗ на данный период [1]. Очевидно, можно полагать, что сложившееся положение с КМЗ несмотря на разработанный на тот период и поставленный на серийное производство целый ряд отечественной новой очистной техники высокого технического уровня [2], явилось наряду с другими негативными моментами одной из основных причин не достижения объема добычи угля в размере 100 млн. тонн., намеченного на 2011г проектом концепции развития угольной промышленности Украины.

В силу целого ряда объективных причин в основном политического характера, обусловленных настоящим статусом Донецкой народной республики, еще более сложное положение сложилось с комплексной механизацией работающих в настоящее время очистных забоев на угольных шахтах министерства угольной промышленности ДНР. Из всего перечня машин, входящих в состав очистного механизированного комплекса, более подробно проанализируем эксплуатируемый на сегодняшний день на действующих шахтах республики парк выемочных машин. Согласно имеющихся статистических данных по минуглепрому ДНР в данный парк выемочных машин, например, по состоянию на первое полугодие 2019г входило 29 очистных комбайнов (ОК) различных наименований. При этом абсолютное большинство (19 машин) данного парка составляли ОК типа 1К101У.

Превалирующее количество ОК типа 1К101У, работающих в комплексно механизированных забоях на всех действующих шахтах минуглепрома ДНР, несмотря на весьма низкий их технический уровень объясняется тем, что данный комбайн на протяжении более 60 лет состоял в номенклатуре выпуска Горловского машиностроительного завода им. С.М. Кирова (в последнее время ЗАО «Горловский машиностроитель»), причем с устойчивым годовым объемом серийного производства около 1000 машин в год, львиная доля которых поступала на шахты Донбасса, разрабатываемых тонкие пологонаклонные угольные пласты, в силу чего на протяжении последних ряда лет комбайн 1К101У являлся одним из самых массовых ОК, находящихся в эксплуатации [2]. Поэтому на момент восстановления (2014-2015гг) работы отдельных лав на ряде шахт ДНР в первую очередь использовалась та горная техника (после проведения минимально необходимого ее ремонта силами мехцеха самой шахты), которой располагала каж-

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

дая возобновляющая работу шахта или же комплектование возобновляемых работу лав осуществлялось минуглепромом ДНР за счет горной техники заимствованной на других шахтах или ремонтных специали-зированных предприятиях, входящих в состав данного министерства.

Бесспорно, ОК типа 1К101У существенно или даже можно сказать кардинально проигрывает по своему техническому уровню целому ряду современных очистных машин высокого технического уровня, в том числе и мехатронного класса, предназначенных для выемки тонких пологонаклонных угольных пластов, которые на рубеже 2000г были разработаны ГП «Донгипроулемаш» (ныне ГП «Донуглемаш») и запущенные в массовое серийное производство (ОК типа УКД200-250) или изготовленные в виде ограниченных опытных партий (ОК типа УКД 200-400, УКД200-500, УКД300 и УКД400). Однако в силу сложившихся объективных причин можно констатировать, что в ближайшей обозримой перспективе на действующих шахтах ДНР парк используемых очистных машин по прежнему в основном будет состоять из комбайнов типа 1К101У.

Следует отметить, что с учетом указанной перспективы в настоящее время силами министерства угольной промышленности ДНР, конструкторов института ГП «Донуглемаш» и других заинтересованных организаций удалось наладить на Горловском машиностроительном заводе, входящем в состав научно-производственного объединения (НПО) «Прогресс» государственного комитета по науке и технике ДНР, капитальный ремонт комбайнов 1К101У, причем с гарантированным повышением ресурса режущей части комбайна, одного из самых аварийных узлов машины. Вместе с тем, с одной стороны в настоящее время перейти к плановому массовому капитальному ремонту всех требуемых такого ремонта очистных комбайнов 1К101У, находящихся в эксплуатации на действующих шахтах ДНР, не представляется возможным в первую очередь из-за низкой платежеспособности указанных шахт, а с другой стороны капитальный ремонт данных комбайнов, выполненный даже на специализированном машиностроительном заводе не устраняет следующие принципиального характера недостатки этих машин, заложенные еще на стадии разработки (в начале пятидесятих годов прошлого столетия) их непосредственного аналога очистного комбайна 1К101:

- низкий уровень энерговооруженности (номинальная мощность приводного электродвигателя составляет всего 120 кВт, причем в режиме S4) и как следствие регламентируемая теоретическая производительность комбайна находится в пределах(1,8-3,0) т/мин , а максимальная величина сопротивления угля резанию не должна быть выше 300 кН/м;

- односторонняя схема расположения исполнительных органов (ИО) требует выполнения в лаве хотя бы одной ниши сравнительно больших размеров, что существенно повышает трудоемкость и усложняет технологию выполнения очистных работ;

- встроенный механизм подачи комбайна типа Г405 обладает не достаточно высокими тягово-скоростными параметрами (максимальное тяговое усилие 250 кН, а максимальная скорость подачи комбайна 4,4 м/мин) и кроме того имеет цепной тяговый орган, что способствует повышению травматизма горнорабочих в случае его порыва, а также вследствие недостаточно высокой жесткости последнего перемещение комбайна вдоль забоя как правило носит неравномерный характер, что в конечном итоге приводит к формированию достаточно высоких динамических нагрузок во всех основных силовых подсистемах комбайна и преждевременному выходу из строя их ответственных узлов и деталей.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Все вышеперечисленные недостатки в конечном итоге отрицательно влияют на технико-экономические показатели работы всего добычного участка и шахты в целом. Поэтому весьма актуальным является поиск возможных путей и способов повышения эффективности работы морально устаревших ОК типа 1К101У, широко используемых во многих КМЗ действующих на сегодняшний день и планируемых в ближайшее время к вводу в действие угольных предприятий ДНР. При этом особо следует отметить, что при решении указанной задачи обязательно необходимо учитывать весьма жестко ограниченные материальные возможности практически всех действующих шахт ДНР и всей угольной отрасли республики в целом.

Задачу повышения производительности рассматриваемых ОК типа 1К101У при отсутствии возможности повышения уровня их энерговооруженности концептуально следует решать путем эффективного использования имеющейся установленной мощности их приводных электродвигателей. Смысл сформулированного тезиса состоит в том, что определенное повышение производительности любого ОК, причем без всяких дополнительных затрат, может быть достигнуто если будет обеспечена работа машины в рациональном режиме, прежде всего с позиции разрушения угольного массива с минимальными удельными энергозатратами.

Как известно, уровень удельных энергозатрат, характеризующих процесс разрушения угольного массива, определяется с одной стороны физико-механическими свойствами разрабатываемого пласта, а с другой стороны зависит от размера сечения стружки, которую режущий инструмент ИО отделяет от угольного массива.

Для шнековых ИО рациональная величина сечения стружки, при которой удельные энергозатраты будут находиться в оптимальной зоне, в зависимости от хрупко-пластических свойств разрушаемого угольного пласта, составляет 15-30 см². Если учесть, что физико-механические свойства угля в общей массе разрабатываемых шахтопластов могут иметь большой разброс (прежде всего сопротивляемость угля резанию и показатель способности угля к измельчению являются случайными величинами), то для реализации рациональной величины сечения стружки при заданной характеристике приводного двигателя комбайна и конкретных параметрах схемы набора режущего инструмента на его ИО в общем случае необходимо иметь возможность одновременно варьировать, как минимум, двумя режимными параметрами комбайна - скоростью подачи вдоль забоя и частотой вращения его ИО.

Это обуславливает необходимость иметь регулируемый привод в заданных границах, выполненный, например, на базе силовых регулируемых электрических или гидравлических механизмов. Однако, такое решение имеет свои характерные недостатки, вследствие чего как в отечественной, так и в мировой практике угольного комбайностроения не нашло применения.

Поэтому, поскольку режим работы комбайна будет оставаться практически рациональным и при изменении сечения стружки в некоторых границах, задачу по реализации непрерывно изменяемого передаточного числа редуктора, можно упростить и ограничиться набором конечного количества его дискретных значений, которые обеспечат работу машины в рациональном или близком к нему режиме в заданных горно-геологических условиях [4].

Практическое решение такого подхода может быть осуществлено, если в редукторе привода ИО ОК дополнительно конструктивно ввести механизм оперативного переключения как минимум двух скоростей резания. Такое решение позволит даже без предварительного знания физико-механических свойств угольного пласта обеспечить работу ОК в рациональном режиме в заданных горно-геологических условиях конкрет-

ной шахты или лавы.

Возможный вариант встройки механизма оперативного переключения двух скоростей резания в блок привода ИО очистного комбайна 1К101У представлен на рисунке в виде соответствующей кинематической схемы данного блока.

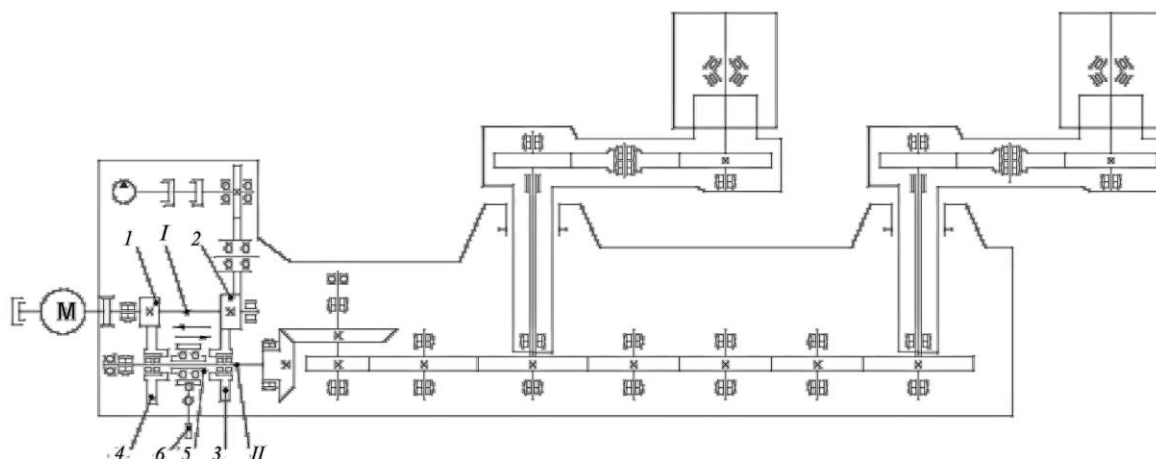


Рис. 1. Кинематическая схема двухскоростного блока привода ИО очистного комбайна 1К101У

Рассматриваемая кинематическая схема двухскоростного блока привода ИО очистного комбайна 1К101У принципиально отличается от аналогичной кинематической схемы блока привода ИО серийного комбайна конструктивно-компоновочным решением только первого (I) и второго (II) валов редуктора. Суть данного отличия состоит в том, что на первом (входном) валу редуктора, связанным посредством зубчатой муфты с ротором приводного электродвигателя, кроме шестерни 2 дополнительно устанавливается еще и шестерня 1 (в случае конструктивного исполнения I вала в виде валшестерни эта валшестерня соответственно будет иметь два зубчатых венца). На II валу кроме серийного зубчатого колеса 3, установленного на данном валу на подшипниках качения дополнительно таким же образом устанавливается зубчатое колесо 4 в результате чего образуется две параллельно работающие зубчатые передачи соответственно 2-3 и 1-4, причем с различными передаточными числами. Кроме этого на II валу устанавливается блок-шестерня 5, которая может перемещаться вдоль этого вала по прямобочным шлицам с помощью рукоятки переключения 6, располагающейся за пределами корпуса редуктора с завальной его стороны, причем с обязательной возможностью ее гарантированной жесткой фиксации в трех положениях (соответственно в крайнем левом, среднем и крайнем правом). Вся остальная кинематическая цепочка на 100% соответствует серийному комбайну 1К101У.

При этом среднее зафиксированное положение рукоятки переключения 6 будет соответствовать такому расположению блок-шестерни 5 на II валу, при котором оба ее зубчатых венца не будут кинематически связаны к колесами 3 и 4, то есть последние при этом будут свободно вращаться на этом валу на своих подшипниках, что будет соответствовать кинематическому отключению приводного электродвигателя комбайна от его ИО, находящихся при этом в неподвижном положении. Данная необходимость кинематического отключения приводного электродвигателя ОК от его ИО строго регламентирована правилами техники безопасности и в обязательном порядке контроли-

руется инситутом МАКНИИ при согласовании Технического задания на разработку любого ОК. Правое или же левое зафиксированное положение рукоятки переключения 6 буде соответствовать включению разных скоростей резания большей или меньшей, поскольку при перемещении рукоятки в одно из крайних положений блок шестерня 5 будет тоже перемещаться вдоль II вала так же вправо или влево, входя при этом в кинематическую связь с внутренним венцом соответственно зубчатого колеса 3 или 4, что в конечном итоге приведет к изменению общего передаточного числа всего редуктора и как следствие реализации двух различных скоростей вращения ИО комбайна.

Таким образом, для практического решения предлагаемого пути повышения технико-экономических показателей работы ОК типа 1К101У должны быть поставлены и решенные следующие основные задачи:

1. Установить представительные условия эксплуатации (в первую очередь возможный разброс величины сопротивляемости угля резанию по всем очистным забоям, эксплуатируемым ОК типа 1К101У на действующих шахтах ДНР).

2. Применительно к установленным горно-геологическим условиям определить для модернизируемого ОК типа 1К101У рациональное значение возможных двух передаточных чисел редуктора привода ИО на основании методики, разработанной на кафедре „Горные машины” ДонНТУ [4].

3. Разработать работоспособную и надежную конструкцию редуктора привода ИО с механизмом оперативного переключением двух скоростей резания применительно к модернизируемому ОК типа 1К101У.

При этом следует отметить, что вследствие расположения механизма оперативного переключения двух скоростей резания в начале кинематической цепи редуктора можно сделать однозначный вывод о сравнительно невысокой нагруженности его основных деталей (валов, зубчатых колес, подшипников и др.). Исходя из этого, при конструктивной разработке данного механизма следует стремиться к допустимой по прочностным соображениям минимизации габаритных размеров соответствующих его деталей (в первую очередь ширин всех зубчатых колес), что может позволить конструктивно вписать его в корпус серийного комбайна и как следствие рассматриваемую модернизацию редуктора осуществлять на стадии капитального ремонта всего комбайна в условиях Горловского машиностроительного завода с незначительным увеличением стоимости данного ремонта по сравнению со стоимостью капитального ремонта серийного комбайна. Удорожание при этом будет обусловлено только стоимостью изготовления дополнительных деталей (см. рисунок), входящих в состав механизма оперативного переключения двух фиксированных скоростей резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: 1. В.В. Косарев Новая горная техника ГП «Донгипроуглемаш» для подземной добычи угля // Сб. научных трудов ГП «Донгипроуглемаш». - Донецк: АСТРО, 2008.- С.37-61. 2. Украинская техника для угольных шахт: Каталог./ В.В. Косарев, Н.И. Стадник, С.С. Гребенкин, и др.; Под. общ. ред. В.В. Косарева – Донецк: АСТРО, 2008, 321с. 3. Провести анализ современного состояния выемки пластов мощ-ностью 0,8-1,1м: Отчет/ГУ«Донуглемаш»; Руководитель А.В. Мезников.- Донецк, 2016.-64с. 4. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: Учебник для вузов/ Малеев Г.В., Гуляев В.Г., Бойко Н.Г., Горбатов П.А., Межаков В.А.-М.: Недра, 1989.- 368с.

УДК 519.6: 628.9

**РАЗРУШЕНИЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ:
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ****Фомич М. В., Яценко О.В.** (кафедра ПМ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)**Цымбалов Д.С.** (кафедра ЭиЭ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Аннотация: Рассмотрены процессы разрушения электрических спиралей накаливания при штатной эксплуатации и в экстремальных условиях. Сконструированы и исследованы соответствующие математические модели. Показано, что щадящая эксплуатация ламп накаливания существенно продлевает срок их службы. Реалистичным механизмом разрушения является самоускоренное истончение изначально более тонких участков спирали. Результаты работы полезны для оценок ресурса электротехнических изделий, могут также использоваться в учебных целях.

Ключевые слова: спираль накаливания, электронагрев, испарение, разрушение, режим эксплуатации, ресурс, математическое моделирование..

Поскольку создание и эксплуатация ламп накаливания (ЛН) и электронагревателей (ЭН) сопряжены с множеством противоречивых требований, поиск оптимальных конструкторско-технологических решений является сложной инженерной задачей [1-3]. Сопутствующие проектированию множественные технические эксперименты повышают стоимость и увеличивают сроки проектирования. Поэтому на современном этапе развития техники и технологий большую роль в проектировании разнородных ЛН и ЭН играет математическое моделирование с привлечением компьютера [4].

В соответствии с представленными выше аргументами целью данной работы ставится реализация и исследование информационных моделей тепловой, а при необходимости и сопряженной механической, динамики нитей ЛН и ЭН применительно к процессам их разрушения при штатной эксплуатации, а также в экстремальных режимах.

Ее реализация осуществляется посредством решения следующих задач:

- углубленного изучения известных моделей тепловой динамики ЛН и ЭН в условиях, ведущих к их разрушению;
- выбора процессов, определяющих разрушение нагревательных элементов ЛН и ЭН в различных обстоятельствах, и конструирование адекватных информационных моделей;
- разработки эффективных алгоритмов анализа моделей термического разрушения нагревательных элементов с использованием современных пакетов компьютерной математики;
- интерпретации результатов компьютерных экспериментов с моделями и выработка практических рекомендаций для производителей и потребителей соответствующей продукции;
- обозначение приоритетных направлений совершенствования разработки.

Термомеханическое разрушение спиралей может происходить по различным причинам: 1) неправильно рассчитанный рабочий режим; 2) питание от источника электрической энергии с несоответствующими параметрами; 3) «старческое» или износное разрушение – пришло время, и ресурс выработан, 4) экстремальные условия эксплуатации – недопустимые внешние механические и/или термические воздействия.

Соответствующие перечисленным сценариям информационные модели имеют различную вербальную формулировку. В частности, если питающее напряжение пре-

вышено настолько, что спираль нагревается до температуры плавления, затем расплавляется и течет под действием гравитации. Поскольку нас интересует качественная картина, для числовых показателей в моделях будем использовать характерные значения.

Если пренебречь зависимостью теплоемкости металла (спирали) от температуры, а также температурой окружающей среды по сравнению с рабочей для спирали, модель разогрева имеет вид:

$$\frac{dT(t)}{dt} = A \cdot \frac{U(t)^2}{(1+T(t)/300)} - B \cdot T(t)^4, \quad (1)$$

где $T(t)$ – температура, t – время, $U(t)$ – напряжение питания; A и B – параметры модели. Соотношение параметров A и B , характеризующих соответственно скорость подвода и отвода тепла определяет при $U(t) = \text{const}$ установившуюся (при $t \rightarrow \infty$) рабочую температуру. Например, для бытовой ЛН

$$B = \frac{220^2}{2700^4 \cdot (1+2700/300)} \cdot A \approx 9.1 \cdot 10^{-11} \cdot A.$$

Абсолютные значения этих величин определяют характерное время установления теплового равновесия τ . Для рассматриваемого объекта его величина составляет ~ 0.1 с.

Оценим величины A и B . Первый способ состоит в отбрасывании второго слагаемого в правой части (1) и интегрировании редуцированного уравнения:

$$\frac{dT(t)}{dt} = A \cdot \frac{U(t)^2}{(1+T(t)/300)} \quad (2)$$

от 0 до τ . Разрешая результат относительно A , получаем:

$$A = \frac{1}{U^2 \tau} \cdot (T + \frac{T^2}{600}) \Big|_0^{2700} \approx 3.07, \quad B \approx 2.8 \cdot 10^{-10}. \quad (3)$$

Второй способ состоит в отбрасывании первого слагаемого в правой части (1), интегрировании другого упрощенного уравнения и нахождения:

$$B = \frac{1}{4 \cdot T^3 \tau} \approx 1.27 \cdot 10^{-10}, \quad A \approx 1.39. \quad (4)$$

Уточнить результат, можно, используя среднегеометрические значения из приведенных вариантов:

$$A \approx 2.07, \quad B \approx 1.6 \cdot 10^{-10}. \quad (5)$$

Эти значения будут опорными при проведении численного анализа моделей.

Для термического разрушения спирали ЛН при умеренном превышении напряжения над номинальным (в выбранном примере 220 В) необходимо выполнить два условия: 1) разогреть спираль до температуры плавления $T_{\text{пл}} = 3422$ °С и 2) дополнительно закачать в нее энергию $\Delta H_{\text{пл}} = 52$ кДж/моль, чтобы осуществить фазовый переход. Отметим, что энергии фазового перехода достаточно для нагрева твердого вольфрама примерно на 2000 градусов. В модели это можно учесть, введя дополнительную динамическую переменную $\xi(t)$ ($0 \leq \xi(t) \leq 1$), характеризующую степень расплавления металла. Фактически она служит счетчиком тепла, закачанного в спираль после нагрева ее до $T_{\text{пл}}$:

$$\xi(t) = \frac{T(t) - T_{\text{пл}}}{2000}. \quad (6)$$

Сходная с (1) модель отвечает штатному или близкому к таковому функционированию ЭН. Однако отвод тепла от спирали осуществляется, главным образом, за счет

вынужденной конвекции, а сама спираль поддерживается в сравнительно холодном состоянии. Этим особенностям отвечает модель:

$$\frac{dT(t)}{dt} = C \cdot U(t)^2 - D \cdot T(t) \quad , \quad (7)$$

в которой интенсивность электрического нагрева и вынужденного конвективного охлаждения характеризуется коэффициентам C и D .

Экстремальным вариантом подобного разрушения спирали ЛН (из-за существенного перенапряжения) является ее разогрев до температуры испарения. В этом случае после нагрева спирали до температуры испарения (5555 К) требуется подвести к ней дополнительно энергию достаточную для нагрева вольфрама на 35 кК.

Принципиально, что закачать в спираль тепловую энергию – плавления или испарения следует за время падения спирали в гравитационном поле на величину Δx порядка толщины спирали ($\Delta x \sim 50$ мкм). Оценка соответствующего времени в рамках ньютоновской механики дает $\tau_{\text{эктр}} \sim 3$ мс. Эта величина в 30 раз меньше, чем время выхода спирали на рабочий режим.

Практический интерес представляет ответ на вопрос, во сколько раз больше номинального должно быть экстремальное напряжение, чтобы вызвать: расплавление или испарение спирали.

Последовательно рассмотрим различные механизмы перегорания спиралей – «от старости», вследствие некачественной электросети (небольшое перенапряжение) и в нештатной ситуации, когда электропитание многократно превышает номинальное.

При сильном нагревании металла происходит его испарение со скоростью пропорциональной $e^{-\Theta/T}$, где Θ – т.н. характерная температура сублимации. Эту распространенную в молекулярной физике температурную зависимость удобно аппроксимировать степенными функциями T^n , $n > 1$. Обозначив исходную толщину спирали $X(t)$ получаем модель испарения вещества с поверхности спирали

$$dX(t)/dt = -\alpha \cdot [T(t)]^n \quad , \quad (8)$$

где α – параметр, определяющий скорость испарения, $T(t)$ – текущая температура спирали.

Для температуры спирали в предположении, что напряжение постоянно справедливо следующее эволюционное уравнение:

$$dT(t)/dt = \beta - \gamma \cdot [T(t)]^4 / X(t) \quad , \quad (9)$$

в котором параметры β и γ отвечают соответственно за подвод тепла электричеством и отвод излучением. Строго говоря, модель эксплуатационного разрушения спиралей (8), (9) соответствует только ЛН. Для ЭН уравнение (9) следует заменить на похожее:

$$dT(t)/dt = \beta - \varphi \cdot [T(t)] / X(t) \quad , \quad (10)$$

где φ – параметр интенсивности для конвективного теплообмена. Однако здесь мы исследуем только модель старения спирали ЛН.

Найти аналитическое решение (8)-(9) или не получится вследствие существенно нелинейности системы. Однако найти приближенное решение позволяет следующий прием. При $t \rightarrow \infty$ обе величины $X(t)$ и $T(t)$ стремятся к нулю. Кроме того, логично предположить, что в этой системе $T(t)$ является быстрой переменной. Эти соображения позволяют заменить эволюционное уравнение (9) алгебраическим стационарным соотношением:

$$\beta - \gamma \cdot [T(t)]^4 / X(t) = 0. \quad (11)$$

После подстановки (11) в (9) последнее легко интегрируется. С учетом начальных условий $X(0) = X_0$, $T(0) = T_0$ это приближенное решение имеет вид:

$$X(t) = \left(X_0^{\frac{4-n}{4}} - \frac{4-n}{4} \cdot \alpha \cdot \left(\frac{\beta}{\gamma} \right)^{n/4} \cdot t \right)^{\frac{4}{4-n}}. \quad (12)$$

Особенность этого решения (его вид представлен на рис. 1, а справедливость оно приобретает через некоторое время, когда температура подстраивается под текущую толщину спирали) такова, что при $n < 4$ спираль истончается за конечный период, в то время как при $n \geq 4$ она сохраняет конечную толщину сколь угодно долго. Нижние четыре кривые – ветви парабол, три верхние – гипербол, а разделяющая семейства экспонента (соответствует $n = 4$) не приведена.

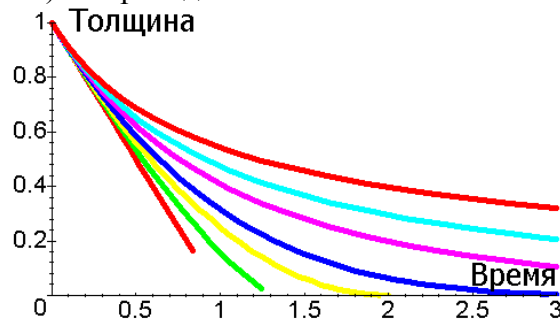


Рис. 1. Зависимость скорости истончения спирали ЛН от параметра n в модели (8), (11). Линии (снизу – вверх) соответствуют $n = 0.01, 1, 2, 3, 5, 7$ и 10 . Прочие параметры модели выбраны равными единице: $\alpha = \beta = \gamma = X_0 = 1$

На рис. 2 показана соответствующая данным рис. 2 динамика температуры.

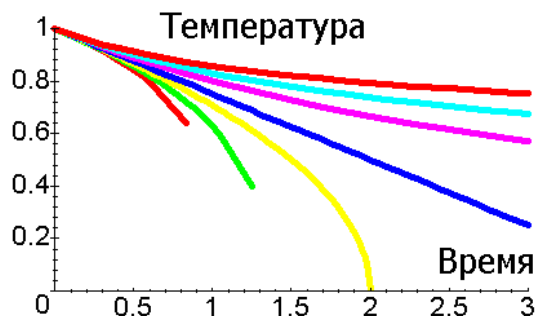


Рис. 2. Зависимость температуры спирали ЛН от параметра n в модели (8), (11). Линии (снизу – вверх) соответствуют $n = 0.01, 1, 2, 3, 5, 7$ и 10 . Прочие параметры модели выбраны равными единице: $\alpha = \beta = \gamma = X_0 = 1$

Результаты проведенного эксперимента имеют следующее практическое толкование. При низких по сравнению с Θ температурах аррениусовский сигмоид адекватно приближается степенной функцией с большим чем 4 показателем степени. Соответствующая оценка получается, если безразмерную температуру T/Θ обозначить y , ее рабочему значению приписать значение y_0 и потребовать совпадения в точке y_0 как аррениусовского сигмоида $e^{-1/y}$, так и его производной соответствующим значениям аппроксимирующей степенной функции $A y^B$. Решив полученную систему уравнений, получаем следующий результат:

$$B = \frac{1}{y_0}, \quad A = (e \cdot y_0)^{-1/y_0}. \quad (13)$$

При рабочей температуре спирали ЛН показатель B составляет ~ 10 , что соответствует бесконечной продолжительности работы спирали вдали от Θ . По мере интенсификации нагрева может складываться ситуация $n < 4$, соответствующая конечному ресурсу изделия. Таким образом, если режим работы ЛН щадящий, она вечна в рамках рассмотренного механизма.

Все выводы справедливы и в отношении ЭН. Единственное отличие состоит в том, что динамика толщины спирали и ее температуры в такой системе прямо пропорциональны.

Поскольку же реальные ЛН и спирали ЭН отказывают программно часто, рассмотрим более сложный механизм, приводящий к перегоранию через ускоренное истончение спирали. Этот механизм основан на положительной обратной связи между локальным истончением спирали и ужесточением теплового режима соответствующего участка. Если обозначить величиной $X(t)$ толщину спирали в зоне дефекта, где она по каким-то причинам меньше, чем в соседних местах, модель самоускоренного истончения в этой точке принимает вид:

$$\frac{dX(t)}{dt} = -\alpha \cdot T(t)^n, \quad \frac{dT(t)}{dt} = \frac{\beta}{X(t)^2}, \quad (14)$$

где α и β – отвечают за интенсивность испарения вольфрама и степень роста локального тепловыделения при утончении спирали. Соответствующее начальным условиям $X(0) = X_0$ и $T(0) = T_0$ частное решение $T(X)$ имеет вид:

$$T(X) = \left(T_0^{n+1} - \frac{n+1}{\alpha} \cdot \beta \cdot \frac{1}{X_0} + \frac{n+1}{\alpha} \cdot \beta \cdot \frac{1}{X} \right)^{\frac{1}{n+1}}, \quad (15)$$

а его характер $T(X)$ показан на рис. 3.

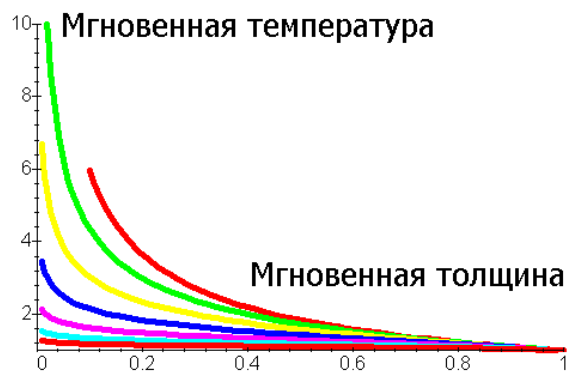


Рис. 3. Аналитическое решение задачи (14) средствами Maple при различных значениях параметра модели n : $n = 0.5$ (верхняя красная линия), 1 (зеленая), 2 (желтая) и т.д.

Характер приведенного на рис. 3 решения свидетельствует, что чем в более напряженном режиме находится участок спирали (т.е. параметр n в этой модели меньше по величине), тем интенсивней он утончается. Т.е., чем значительней первичный дефект, тем быстрее он прогрессирует.

Знание первого интеграла (15) системы позволяет путем численного интегрирования первого из уравнений (14) с подстановкой (15) определить время разрушения спи-

рали для любых фактических параметров модели. В выбранном примере такое интегрирование уравнения

$$\frac{dX(t)}{dt} = -\alpha \cdot \left(T_0^{n+1} - \frac{n+1}{\alpha} \cdot \beta \cdot \frac{1}{X_0} + \frac{n+1}{\alpha} \cdot \beta \cdot \frac{1}{X} \right)^{\frac{n}{n+1}} \quad (16)$$

показано на рис. 4.

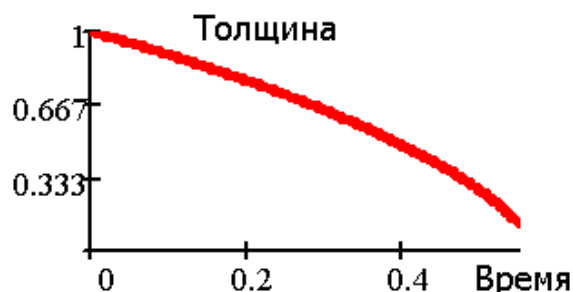


Рис. 4. Динамика испарения спирали ЛН вследствие тепловой неустойчивости согласно (15) и (16) средствами MathCAD при $n = 1$

Очевидно, при больших n это уравнение можно проинтегрировать приближенно, заменив на близкое при ($n \rightarrow \infty$):

$$\frac{dX(t)}{dt} = \frac{n \cdot \beta}{X_0} - \alpha \cdot T_0^n - \frac{n \cdot \beta}{X(t)}, \quad X(0) = X_0. \quad (17)$$

Его общее решение выражается трансцендентной функцией $t(X)$, а ей обратная представима посредством функции Ламберта. Это решение (рис. 5), в частности, определяет предельный срок службы ЛН – при очень щадящей эксплуатации:

$$\tau \rightarrow 1, \quad (18)$$

если числовыми параметрами модели выбраны $\alpha = \beta = X_0 = T_0 = 1$.

Динамика истончения спирали ЛН:

$$t(X, n) := \frac{1 - X}{1 - n} + \frac{n}{(1 - n)^2} \cdot \ln[X \cdot (1 - n) + n]$$

$X := 1, 0.99..0$

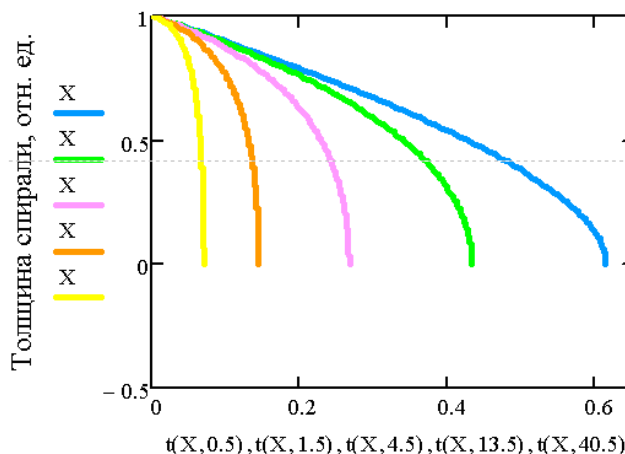


Рис. 5. Частное решение $X(t, n)$ задачи (17), полученное средствами Maple: $n = 0.5$ (синяя линия), 1.5 (зеленая), 4.5 (фиолетовая), 13.5 (красная) и 40.5 (желтая)

Зависимость $\tau(n)$ представляется критичной для практики поскольку связывает срок службы ЛН с напряженностью ее эксплуатации, определяемой однозначно величиной параметра n . Ее вид показан на рис. 6. Отметим, что поскольку в данной модели мы «заморозили» ряд параметров ($\alpha = \beta = X_0 = T_0 = 1$) параметр n оставлен единствен-

ной мерой интенсивности накала спирали: чем больше значение n , тем напряженней условия функционирования.

Долговечность ЛН в зависимости от напряженности работы:

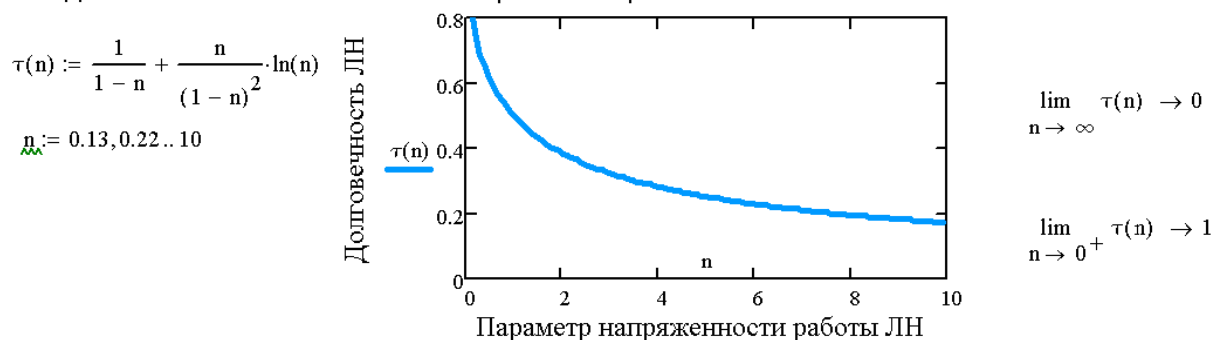


Рис. 6. Зависимость долговечности спирали накаливания τ от теплонапряженности рабочего режима n , вычисленная в MathCAD

Для описания экстремального разрушения спиралей можно воспользоваться следующей моделью. Предположим, что радиационный теплоотвод от экстремально раскаленной спирали изначально равен предельной величине – при температуре плавления металла. При взрывном термическом разрушении и быстром расплавлении величина этого теплоотвода значительно меньше подводимого джоулевого тепла. Поэтому динамика закачанной в спираль внутренней энергии $E(t)$ дается уравнением:

$$\frac{dE(t)}{dt} = Q, \quad (19)$$

где Q – электрическая мощность. Очевидно, быстрое расплавление произойдет при:

$$Q \cdot \tau \geq m (c T_{\text{пл}} + H_{\text{пл}}), \quad (20)$$

где $\tau \approx 30$ мс – время, необходимое для смещения спирали в гравитационном поле, c – теплоемкость материала спирали, m – ее масса, $T_{\text{пл}}$ и $H_{\text{пл}}$ – соответственно температура плавления и теплота фазового перехода. Таким образом, данная модель является тривиальной и не заслуживает более подробного рассмотрения.

Если же подводимая мощность столь велика, что достаточна для испарения спирали, к критериальной модели типа (20) следует добавить модель разлета цилиндрического облака паров с характерной температурой 5555 °С. Скорость разлета таких паров в вакуумированной колбе составляет ~ 700 м/с.

В данной работе сконструированы и проанализированы модели разрушения спиралей ЛН и ЭН как при нормальной эксплуатации, так и в экстремальных условиях. Результаты анализа и практические выводы полностью соответствуют опыту.

Разработка предлагается к внедрению в учебный процесс университета для ряда технических специальностей бакалавриата и магистратуры. Привязка к конкретным электроприборам и условиям их эксплуатации позволяет развивать дипломные проекты по рациональному проектированию и эксплуатации подобных устройств.

Список литературы: 1 Лампа накаливания: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лампа_накаливания. 2. Бареттер: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бареттер>. 3. Электрические нагревательные элементы, ТЭНы, виды, конструкции, подключение и проверка: <http://electrik.info/main/school/851-elektricheskie-nagrevatelnye-elementy.html>. 4. Амелькин В.В. Дифференциальные уравнения в приложениях. М.: Наука, 1987. 160 с.

УДК 621.433: 629.735.45

**АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Огренич Д.В., Лозовой А.А., Михайлов Д.А., Шейко Е.А., Пичко А.П.,
Михайлов А.Н.** (кафедра ТМ, кафедра МД, ДонНТУ, АГЗ МЧС ДНР, г. Донецк, ДНР)
Тел./Факс: +38 (071) 3060879; E-mail: tm@fimm.donntu.org

***Аннотация.** В представленной статье выполнен анализ структуры и особенностей работы газотурбинных установок нефтегазовой промышленности. Приведены структурные схемы этих установок и представлено выражение по определению структуры. А также в работе даны перспективные варианты структурных схем многокаскадных установок с выходным валом назад, вперед и со свободной турбиной.*

***Ключевые слова:** анализ, структура, варианты структурных схем, особенности работы, газотурбинные установки.*

1. Введение

В нефтегазовой промышленности широко используются газотурбинные установки (ГТУ) для выполнения различных технологических задач. В настоящее время они применяются в производстве электроэнергии совместно с газовой и паровой турбинами и совместном производстве тепла и электроэнергии, а также для обеспечения работы различного технологического оборудования компрессорных и насосных станций [1] (рис. 1 и рис. 2). В ряде случаев, для обеспечения работы технологического оборудования насосных и



Рис.1. Общий вид газотурбинной установки SGT 300 Tempest 7,9 МВт

компрессорных станций применяют авиационные [2], в том числе турбовальные [3], газотурбинные двигатели. При этом для рационального использования добываемых ресурсов, для ГТУ могут использоваться попутные нефтяные газы [4]. Это позволяет одновременно обеспечивать решение вопросов обеспечения энергетических проблем технологического оборудования и утилизации вредных выбросов газов.

Можно отметить, что в целом ГТУ состоит из множества функциональных

элементов, в том числе лопаток, предназначенных для выполнения эксплуатационных функций. При этом в ГТУ, в различных подсистемах, например, компрессоре или в зоне турбин, действуют различные эксплуатационные функции. К этим функциям можно отнести следующие: абразивно-эрозионные, коррозионные, температурные, химические и другие. Различные воздействия в подсистемах ГТУ приводят к возникновению в различных подсистемах своих особенностей разрушения лопаток. Например, в компрессоре преобладает абразивно-эрозионный износ лопаток, турбинные лопатки

испытывают химико-термические и абразивно-эрозионные разрушения, в камере сгорания действует другой комплекс эксплуатационных разрушений. Таким образом, в ГТУ по подсистемам реализуется своя интенсивность воздействий и действует определенная структура воздействий и разрушений.

Кроме того, наряду с неравномерностями действия эксплуатационных воздействий и разрушений по подсистемам ГТУ, происходит неравномерное воздействие и разрушение элементов каждой лопатки. Неравномерность действия эксплуатационных функций по элементам лопатки обусловлено пространственной формой пера лопатки, его пространственным расположением, кинематикой движения лопатки, особенностями движения газоздушного потока по тракту ГТУ, температурными воздействиями и наличием в потоке различных веществ, абразива, солей, кислот и тому подобного.

Таким образом, ГТУ представляет собой сложную систему, которая структурирована по подсистемам, а именно: компрессор, камера сгорания, турбина компрессора, сво-



Рис.2. Элементы газотурбинной установки SGT 300 Tempest

бодная турбина, турбокомпрессор, газогенератор. Представленная сложность структуры ГТУ и сложность действия эксплуатационных функций по подсистемам ГТУ приводит к неравномерному разрушению лопаток по подсистемам ГТУ. Это приводит к снижению структурной надежности ГТУ и его ресурса.

Целью данной работы является выполнение анализа и исследование структуры существующих и перспективных вариантов ГТУ для последующего решения вопросов обеспечения заданных

параметров надежности этих установок на этапе их проектирования и эксплуатации.

В соответствии с поставленной целью в работе определены следующие задачи: выполнить анализ особенностей работы ГТУ в нефтегазовой промышленности; исследовать существующие и перспективные структурные варианты ГТУ; предложить математические выражения по определению структуры этих установок.

2. Основное содержание и результаты работы

В целом, ГТУ представляет собой двигатель внутреннего сгорания (рис. 2), работающий в соответствии с идеальным термодинамическим циклом Брайтона [3]. На практике, этот идеальный термодинамический цикл, конечно, отличается от реального термодинамического цикла работы ГТУ. Конструкция ГТУ состоит из трех основных частей (рис. 3):

- компрессора a_1 ,
- камеры сгорания a_2 ,
- турбины компрессора a_3 .

При запуске ГТУ воздух всасывается в компрессор через воздухозаборник с помощью системы пуска и передается в камеру сгорания, где он смешивается с топливом. Затем, после зажигания смеси высоковольтной искрой, происходит быстрый рост температуры в камере сгорания, что обеспечивает значительное увеличение объема и ско-

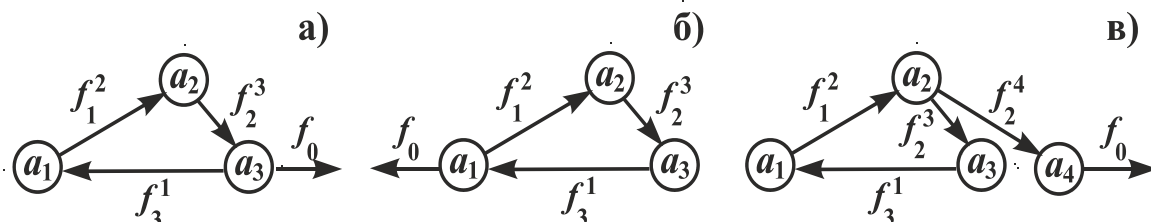


Рис.3. Структурные схемы ГТУ: а) с выходным валом назад; б) с выходным валом вперед; в) со свободной турбиной

рости газозвдушного потока в тракте установки. За счет турбины компрессора выполняется вращение ротора компрессора, который создает необходимое давление в камере сгорания, в зоне турбины компрессора и в зоне рабочей (свободной) турбины, с помощью которой реализуется крутящий момент на ведущем валу ГТУ. Газозвдушная смесь, в зоне турбин, расширяется, отбирается из нее тепло и передается в устройство выхлопа.

Отбор мощности в ГТУ выполняется по трем схемам (рис. 3):

- с выходным валом назад (рис. 3, а);
- с выходным валом вперед (рис. 3, б);
- со свободной турбиной (рис. 3, в).

Между элементами структуры (рис. 3) действуют связи f_i^j . В целом структуру ГТУ можно представить следующим выражением:

$$Str_{ГТУ} = \{A, F\}, \quad (1)$$

где $Str_{ГТУ}$ – структура ГТУ;

A – множество подсистем структуры ГТУ;

F – множество связей между подсистемами ГТУ.

В выражении (1) множества состоят из следующих подмножеств:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots\};$$

$$F = \{f_1^2, f_2^3, f_3^1, \dots\},$$

где a_i – любой i -й структурный элемент множества A ;

f_i^j – связь между подсистемами структуры, а именно a_i -й подсистемы действующей на a_j -ю подсистему.

На рис. 3 представлены однокаскадные ГТУ, при этом на практике используются и двухкаскадные ГТУ. В этом случае, турбокомпрессор выполняется в виде двух каскадов лопаток турбины и компрессора. На рис. 4 представлены возможные варианты структурных схем многокаскадных ГТУ. Здесь показано: на рис. 4, а – с выходным валом назад, на рис. 4, б – с выходным валом вперед, на рис. 4, в – со свободной турбиной.

Можно отметить, что многокаскадные компрессоры обеспечивают степень сжатия более, чем 30:1. Компрессоры в ГТУ могут быть двух типов, центробежные и/или осевые. Обычно, центробежные компрессоры применяются для небольших ГТУ для

обеспечения их компактности и жесткости. Они создают степень сжатия до 10:1 на одной ступени (для одного каскада). Центробежные компрессоры ГТУ дешевле и проще в

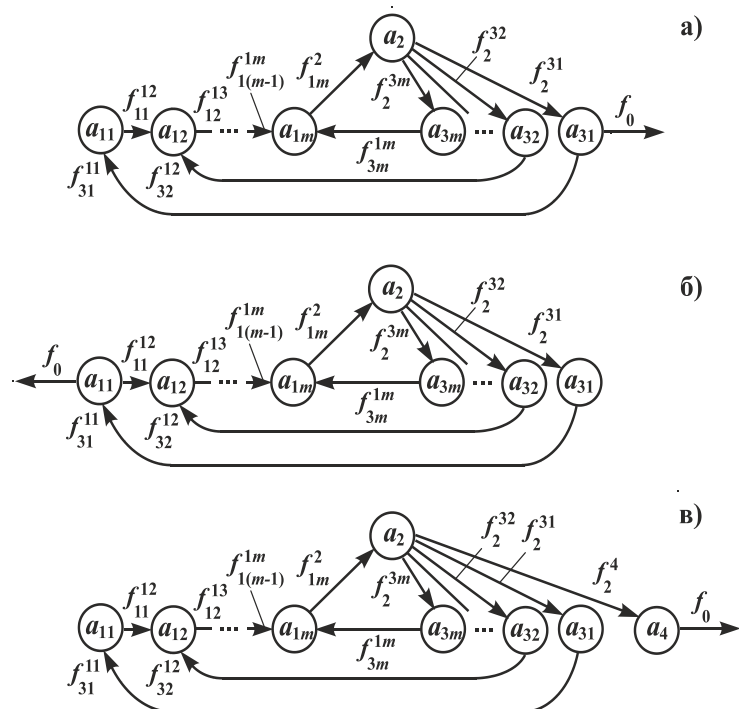


Рис. 4. Варианты структурных схем многокаскадных ГТУ: а – с выходным валом назад, б – с выходным валом вперед, в – со свободной турбиной

При этом выходные валы отбора мощности в ГТУ могут монтироваться назад (рис. 4, а) и вперед (рис. 4, б). Структурный вариант ГТУ со свободной турбиной (рис. 4, в) применяется в тех случаях, когда ГТУ имеют большой пусковой момент, динамические нагрузки и другие сложные параметры эксплуатации.

В целом газогенератор обеспечивает работу ГТУ в соответствии с идеальным термодинамическим циклом Брайтона (рис. 5).

На рис. 5 показана диаграмма идеального цикла Брайтона [5, 6]. Здесь, приведены данные для степени повышения давления $\pi_{сж} = p_b/p_a = 12$, максимальной температуры цикла $T_c = 1600$ К и температуры начала сжатия T_a и степени повышения температуры $\theta_{ц} = 1,73$. Получаемая при этом работа $L_{уд}$ является удельной, поскольку цикл рассматривается для 1 кг массы рабочего тела. Она соответствует выделенной темным цветом площади рис. 5, которая равна разности работ в турбине (турбинах) и сжатия в компрессоре.

На основании диаграммы рис. 5, для осевого компрессора важнейшим является обеспечение параметров сжатия газозвдушного потока проточной части в соответствии с кривой А-В. Однако, на практике идеальный цикл всегда отличается от реального термодинамического цикла. На это оказывает влияние целый комплекс различных параметров. Важнейшие из них это постоянно увеличивающиеся зазоры между лопатками ротора и статора, лопатками ротора и корпусом компрессора и лопатками статора и ротором. С увеличением зазоров проточной части компрессора снижаются все пара-

а) изготовлении, у них более простая балансировка ротора, а также они обеспечивают возможность создания высоких частот вращения ротора (до 100000 об/мин). Осевые компрессоры способны обеспечивать степень сжатия 30:1 и более. При этом повышение рабочих характеристик компрессоров приводит к усложнению управления воздушным потоком, причем с увеличением степени сжатия повышается вероятность срыва потока и помпажа. Для исключения этих явлений дополнительно вводятся специальные устройства для управления потоком воздуха по тракту ГТУ и для обеспечения его устойчивой работы. Особенно это необходимо во время пуска ГТУ и ее работы на нештатных режимах.

метры термодинамического цикла. Увеличение зазоров между лопатками и элементами проточной части компрессора происходит в основном из-за эрозионно-абразивного их

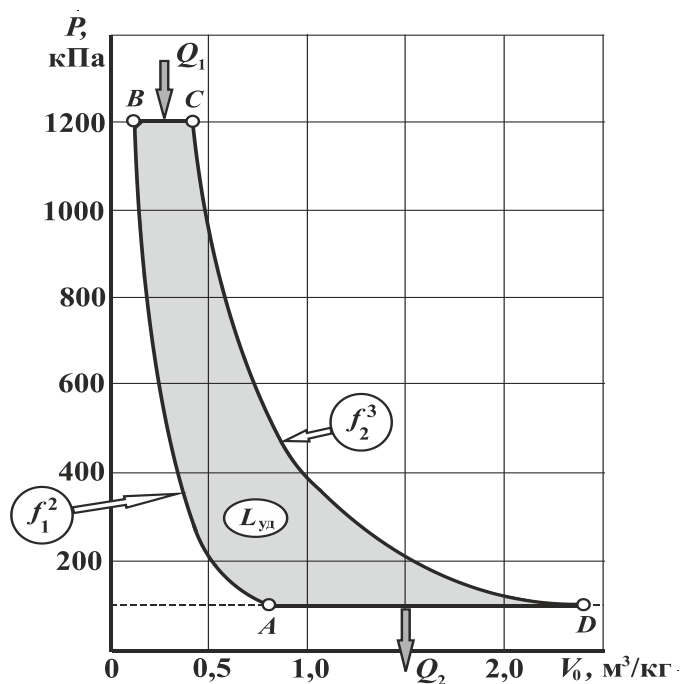


Рис.5. Диаграмма идеального цикла Брайтона для ГТУ

ют возможность в перспективе установить закономерности этих связей и вести управление ими для достижения необходимых параметров структурной надежности на этапах проектирования и выполнения процессов восстановления работоспособности ГТУ при эксплуатации и ремонтах.

Список литературы: 1. Корж, В. В. Эксплуатация и ремонт оборудования насосных и компрессорных станций: учеб. пособие [Текст] / В. В. Корж, А. В. Сальников. – Ухта: УГТУ, 2010. – 184 с. 2. Авиационформ / Ежемесячный информационно-аналитический журнал [Текст]. – М.: Международная ассоциация «Союз авиационного двигателестроения», 2016. - Вып. № 4 (145). – 182 с. 3. Григорьев, В. А. Вертолетные газотурбинные двигатели. / В. А. Григорьев [и др.]. – М.: Машиностроение, 2007. – 491 с. 4. Рыбаков, Б. А. Особенности сжигания попутного нефтяного газа в газотурбинных установках [Электронный ресурс] / Б. А. Рыбаков [и др.] // Турбины и дизели. – Май-июнь 2008. – С. 2-8. Режим доступа: www.turbine-diesel.ru. 5. Михайлов, Д. А. Технологическое обеспечение повышения работоспособности лопаток компрессора газотурбинного двигателя на основе функционально-ориентированного подхода. Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Д. А. Михайлов. - Донецк, 2016. - 22 с. 6. Пичко, А. П. К определению структурной надежности газотурбинных установок нефтегазовой промышленности / А. П. Пичко [и др.] // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. - Вып. 2 (61). - С. 64 - 74.

износа и действия целого комплекса других эксплуатационных воздействий. При этом увеличение зазоров между лопатками турбины ротора и лопатками статора происходит из-за эрозионно-абразивного их износа, термохимических процессов и других явлений.

3. Заключение

В заключение можно отметить, что в представленной работе рассмотрены вопросы анализа особенностей работы ГТУ в нефтегазовой промышленности. Приведены существующие и перспективные структурные варианты ГТУ, что позволяет установить состав элементов, подсистем установок и определить связи между ними. А также в работе предложены математические выражения по определению структуры этих установок.

Полученные результаты да-

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНОГО МОДУЛЯ “МЯГКОЙ”
ЭКЗОСКЕЛЕТОННОЙ АССИСТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Шахазизян Б.Г., Акопян Н.Г., Арутюнян М. Г. (НПУА, Ереван, Армения)
Тел.: +374(93)998840; E- mail: mharut@seua.am

***Введение.** В статье представлена “мягкая” экзоскелетонная ассистирующая система, которая по необходимости может иметь как гибкое, так и жесткое состояния, тем самым поддерживать и стимулировать деятельность мышц тела человека. Действие экзоскелетона основано на применении электроактивных полимерметаллических актуаторов, управляемых с помощью контроллера. В жестком состоянии экзоскелетон может защищать организм человека и поддерживать работу мышц. При этом существенно упрощены конструкция и система управления известных экзоскелетонов с гидро- или пневмоприводами [1], уменьшена масса и понижена стоимость, а также облегчены сборка и производство, повышены скорость и эффективность их действия. В то же время, в активном режиме функционирования обеспечиваются необходимые прочность, жесткость и развиваемые усилия, мышечные нагрузки и контроль их стимуляции. Представлена методика расчета электроактивных полимерметаллических модулей предложенной экзоскелетонной ассистирующей системы.*

Структура экзоскелетонной ассистирующей системы. Экзоскелетонная система (рис. 1) состоит из одеваемых на человека сегментов, на которые прикреплены активные модули 1, 2, представляющие собой закрепленные в коже сплетенные электроактивные полимерметаллические актуаторы, с возможностью управляемого удлинения и укорочения [2]. Последние могут приклепляться к бедренному и голennому сегментам пользователя, работают синхронно движениям ног, а также защищают их от внешних механических воздействий. Надеваемые сегменты экзоскелетона могут включать вспомогательные части, информационный блок, а также сегменты для ступни 3 с датчиками давления.

При этом существенно расширяются и улучшаются возможности управления экзоскелетонной системы, поскольку используемые в ней электроактивные полимерметаллические актуаторы приводятся в действие непосредственным воздействием электрических импульсов от источника питания, задаваемых контроллером. Благодаря их безинерционности модули непосредственно и мгновенно реагируют на управляющие электрические импульсы от контроллера. При этом, достигаются требуемые жесткость и развиваемые усилия на любом участке одеваемых сегментов экзоскелетона, что расширяет его возможности и повышает эффективность действия.

В новом техническом решении существенно упрощается конструкция, благодаря чему удается избежать известных сложностей и недостатков, присущих конструкции и эксплуатации гидро - и пневмосистем.

Теоретические аспекты расчета электроактивных полимерметаллических актуаторов. Расчеты основываются на электромеханической модели сокращающихся электроактивных полимерметаллических актуаторов [3-6]. Используемый в активных модулях актуатор 1 состоит из связки полимерметаллических композитных нитей 2

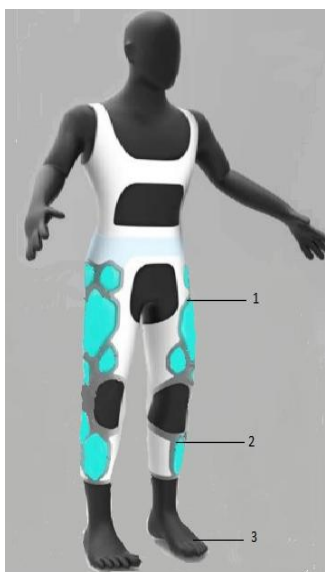


Рис.1. ‘‘Мягкая’’
экзоскелетонная система

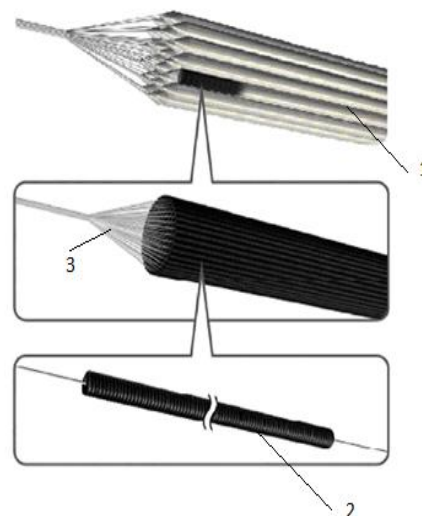


Рис. 2. Возможная структура
электроактивного актуатора

(рис. 2), которые в свою очередь находятся в электролитной закрытой системе 3 и приводится в действие воздействием электрического поля. Для желаемого воздействия на мышцы нужно задать значения необходимого электрического напряжения и законы их изменения для соответствующей активации и управления актуатором. Своим строением и принципом работы электроактивные полимерметаллические актуаторы аналогичны мышцам, с той лишь разницей, что мышечная система работает благодаря поочередным сокращениям пар мышц: агонистов и антагонистов, тогда как каждый полимерметаллический актуатор имеет возможность работать в двойном режиме – как сокращения, так и удлинения.

Из экспериментально полученных зависимостей, в нашем исследовании, наиболее целесообразно использование зависимости между продольной деформацией актуатора и электрическим напряжением, приложенным к нему [4, 6].

$$\varepsilon_k = \frac{(1-2\nu) c U_k^2}{2E} + \frac{\sigma_k}{E},$$

(1)

где $k = 1, \dots, n$, n - число актуаторов активного модуля, ε_k - продольная деформация, ν - коэффициент Пуассона, E - модуль Юнга, c - электрическая емкость, σ_k - механическое напряжение в актуаторе, U_k - электрическое напряжение, приложенное к актуатору. Соотношение между силой и механическим напряжением в актуаторе выражается следующей формулой [3]:

$$F_k = \left(\frac{(1-2\nu) q^2}{4cV_k^2} + \sigma_k \right) S_k, \quad (2)$$

где F_k - сила, развиваемая актуатором, q - электрический заряд, V_k и S_k - объем и площадь поперечного сечения электроактивного актуатора.

Методика моделирования активного модуля. В описанной выше системе активный модуль, состоящий из скрепленных в коже электроактивных

полимерметаллических актуаторов предлагается моделировать изотропной оболочкой и для нее применить безмоментную теорию тонкостенных оболочек, напряженное состояние которой описывается уравнением Лапласа [8]:

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} = \frac{p}{\delta}. \quad (3)$$

Здесь σ_m и σ_t - меридиональные и окружные механические напряжения в оболочке, ρ_m и ρ_t - соответствующие им меридиональные и окружные радиусы кривизны оболочки, p - давление на поверхности оболочки, δ - толщина оболочки. В нашем случае представляют интерес следующие две задачи: прямая - а) определение давления на мышцы со стороны активного модуля экзоскелетона, когда заданы законы изменения управляющего электрического напряжения и обратная - б) определение законов изменения управляющих электрических напряжений для обеспечения требуемого давления на мышцы.

Определение давления на мышцы со стороны активного модуля экзоскелетона. Расчет проводится при следующих данных [6]: $\nu = 0,426$, $E = 0,8 \cdot 10^9 \text{ Па}$, $c = 1,8 \cdot 10^8 \text{ Ф}$, $q^2 = 1,167 \text{ К}^2 [42]$.

Диаметр используемых в модуле полимерметаллических актуаторов: $d_k = 1,8 \text{ мм}$. Он в состоянии развивать следующие величины сил сжатия и растяжения соответственно:

$$F_k^c = 4,12 \text{ Н и } F_k^p = 2,26 \text{ Н, } U_k = 2 \text{ В.}$$

Напряжения и деформации в оболочке активного модуля рассчитываются учитывая площадь поперечного сечения использованных актуаторов: $S_k = 2,54 \text{ мм}^2$. При этом механические напряжения в актуаторе составляют:

$$\sigma_k^c = \frac{4,12 \cdot 10^6}{2,54} = 1,62 \cdot 10^6 \text{ (Па)}, \quad \sigma_k^p = \frac{2,26 \cdot 10^6}{2,54} = 0,89 \cdot 10^6 \text{ (Па)}.$$

Для определения деформаций актуатора используется формула (1).

Они соответствуют расчетным величинам напряжений сжатия и растяжения актуатора:

$$\varepsilon_k^c = 0,06 + 0,02025 = 0,062025, \quad \varepsilon_k^p = 0,06 + 0,0011 = 0,0611.$$

Определяются σ_m и σ_t - соответственно меридиональные и окружные механические напряжения в оболочке: $\sigma_m = \sigma_t = E \varepsilon_k = 0,048 \cdot 10^9 \text{ (Па)}$. Толщина δ тонкостенной оболочки активного модуля экзоскелетона определяется диаметром d_k волокна актуатора: $\delta = d_k = 1,8 \text{ (мм)}$. При воздействии приложенного к актуаторам электрического напряжения, по формуле (3) определяется давление, которое воздействует на мышцу со стороны активного модуля. Давление существенно зависит от величин ρ_m и ρ_t - меридионального и окружного радиусов кривизны оболочки активного модуля экзоскелетона, определяемых в каждом конкретном случае индивидуально для каждого пациента, исходя из кривизны контактирующей с областью активного модуля поверхности тела. В иллюстрационном примере принято: $\rho_m = 250 \text{ мм}$, $\rho_t = 750 \text{ мм}$.

В результате расчета получаем давление активного модуля на мышцы: $p = 461 \text{ кПа}$. Уместно заметить, что воздействие на мышцы не ограничивается нормальным

давлением: в динамическом режиме благодаря трению сегмента экзоскелетона с поверхностью тела оно сопровождается касательными усилиями, также стимулирующими сокращения мышц. При нулевой кривизне, но достаточно тесном прилегании экзоскелетона к контактирующему участку тела могут возникать только касательные усилия.

Выводы. В статье определено давление на мышцу человека активным модулем «мягкой» экзоскелетонной системы, под воздействием приложенного к актуатору электрического напряжения. Пример расчета показывает, что полимерметаллический актуатор, электромеханические свойства которого заданы, а диаметр составляет $1,8$ мм при приложении к нему электрического напряжения величиной в 2 В развивает усилия: в $4,12$ Н – при его сжатии и $2,26$ Н - при растяжении. При этом, в актуаторе возникают механические напряжения величиной, равной $1,62$ МПа - при сжатии и $0,89$ МПа - при растяжении, а также имеют место соответствующие им линейные деформации: в $6,2\%$ - укорочения и $6,1\%$ - удлинения. При меридиональном и окружном радиусах кривизны, равных соответственно 250 мм и 750 мм активный модуль создает 461 кПа статического давления на мышцу, которое примерно в 5 раз превышает атмосферное давление, что вполне достаточно для ее стимуляции. Преимуществами концепции разработанного проекта являются широкие возможности подбора структуры экзоскелетонной ассистирующей системы и эффективность управления полимерметаллическими актуаторами благодаря их безинерционности, а также осуществление стимуляции мышечной активности механически воздействующими импульсами высокой частоты.

Список литературы: 1. Patent KR101815640B1, South Korea, 2017, Dong Chan. Soft exoskeleton apparatus. 2. Bay L., West K., Sommer-Larsen P., Skaarup S. and Benslimane M. A conducting polymer artificial muscle with 12% linear strain: Adv. Mater., 2003, vol. 15, p. 310–313. 3. Bowers T. Modeling, Simulation, and Control of a Polypyrrole-Based Conducting Polymer Actuator: submitted for the Degree of Master of Science at the Massachusetts Institute of Technology, 2004. 4. Madden J., Vandesteeg N., Anquetil P., Madden P., Takshi A., Pytel R., Lafontaine S., Paul A. Wieringa P. and Hunter I. Artificial Muscle Technology: Physical Principles and Naval Prospects: IEEE Journal of Oceanic Engineering, July 2004, Vol. 29, No. 3, p. 706. 5. Inzelt G. Conducting Polymers: A New Era in Electrochemistry, Springer, 2008. 6. Carpi F., Smela E. Biomedical Applications of Electroactive Polymer Actuators: John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 978-0-470-77305-5, 2009. 7. Sargsyan S. Dynamics of a lower limb exoskeleton with conductive polymer-metal actuators // Proceedings of State Engineering University of Armenia (SEUA). - 2013. -I.16, № 1.- pp. 59-66. 8. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. – М.: Изд-во МГТУ, 2010, 590 с.

LA CONCENTRATION DU LACTOSERUM AU VID AVEC RECTIFICATION
PAR LA DISTILLATION PAR ETAPES DES ACIDES ORGANIQUES

Solonari S.T., Vutcariova I.I., Rusu M.I. *, Balan G.K.

(Institut de Physique Appliquée, Chisinau, République de Moldova)

* (Institut de Chimie, Chisinau, République de Moldova)

Tél. +373 (022) 731744; E-mail: solonari@phys.asm.md

Abstract: *In the report the results of experimental research of whey concentration with gradual rectification of organic acids are presented. The experimental stand was developed and assembled. The FT-IR diagrams are presented; the experimental parameters of the process of concentration in incomplete vacuum and gradual distillation were obtained.*

Keywords: *whey, concentration, rectifying by step distillation, organic acids.*

Dans le développement scientifique, la recherche du procédé d'obtention d'acides organiques par fractionnement par distillation était considérée comme une méthode de traitement moderne.

Dans la plupart des cas, la distillation est utilisée pour traiter des liquides (en les séparant des composants moins volatils) ou pour séparer des mélanges de liquides ayant des points d'ébullition différents. Dans notre cas, nous obtenons les solutions d'acide lactique nécessaires, le mélange d'acide lactique et d'acide acétique.

Cette méthode est relativement peu coûteuse.

Dans les conditions du procédé de distillation en solution, il existe trois manières : à la pression atmosphérique (distillation fractionnée simple); sous pression réduite (distillation sous vide) ; avec de la vapeur [1].

Un appareil simple (figure 1) de distillation comprend un récipient de distillation, un condenseur de vapeur (condensation de la vapeur) et un récepteur distillé [2]. Le récipient de distillation, en fonction du point d'ébullition des substances distillées, est chauffé dans un bain avec de l'eau, de l'huile, de l'air ou du sable. Pour garantir le débit requis, la température dans le bain de distillation doit être supérieure de 30 degrés à la température de la vapeur. Le banc d'expérimentation est équipé de deux instruments de mesure de pression : le manomètre (figures 1, 4) indique la pression de travail de l'agent de travail avant l'éjecteur (pompe à eau en verre, fig.1, 8), le manomètre à vide (fig.1, 5.) de la solution traitée (lactosérum).

Lors du processus d'évaporation, trois phases de l'effervescence du lactosérum ont été observées. Ce qui permet de séparer trois composants environnementaux. Alors que le premier composant est distillé du mélange, la température de distillation reste constante. L'augmentation soudaine de la température indique le début de la distillation du composant suivant avec une température d'ébullition plus élevée. Par conséquent, le peuplement a été modifié pour le fractionnement par condensation par distillation progressive jusqu'à la concentration en lactosérum en scellant le peuplement expérimental à l'aide de deux vannes du récipient collecteur de condensat (figures 1, 7).

Les paramètres technologiques qui déterminent le processus de condensation des produits laitiers liquides sont la température et la durée. Du point de vue de la préservation des propriétés natives du composant de lactosérum, il est souhaitable d'avoir la température de condensation minimale, qui est principalement déterminée par une pression incomplète de la chambre à vide [3].

Dans le traitement du lait, le lactosérum d'acide lactique, un sous-produit liquide à haute teneur en précieuses protéines biologiques, minéraux et vitamines, qui jusqu'à présent ne sont

pas utilisés par les humains, est formé. La solution pour le traitement du lactosérum est nécessaire pour traiter plus complètement et utiliser le lactosérum pour produire des denrées alimentaires et des aliments pour animaux à l'avenir.

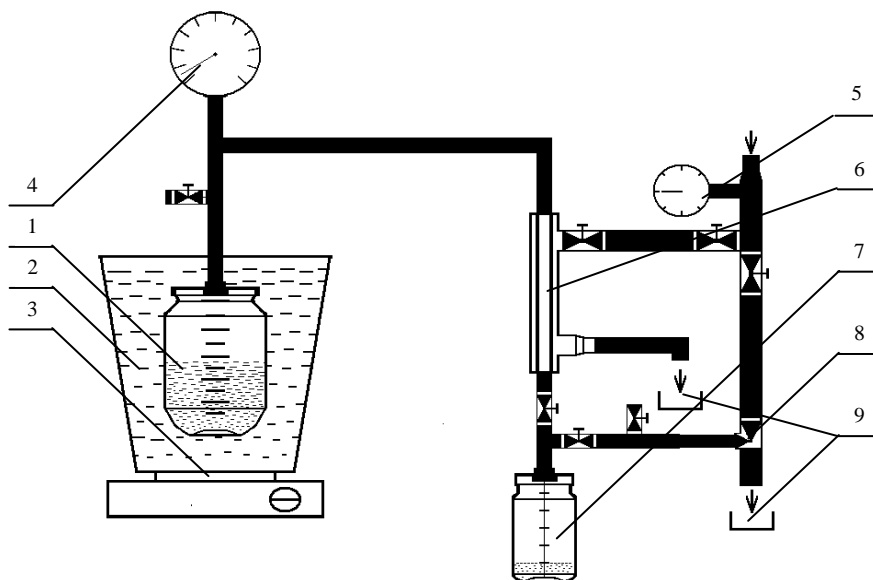


Fig. 1. Schéma du support expérimental: 1 - Cuve d'évaporation ; 2 - bain à remous; 3 - chauffage électrique ; 4 - manomètre à vide ; 5 - manomètre ; 6 - refroidisseur (échangeur de chaleur de type tuyau dans le tuyau); 7 - récipient de récupération des condensats; 8 - éjecteur (pompe à eau en verre); 9 – drainage

Le support expérimental comprend les composants suivants (Figure 1.) : un récipient d'évaporateur de 1 litre (1), un bain d'eau chaude de 6 litres (2), 200, 400, 800 W et 1 kW appareil de chauffage (3) ; manomètre à vide OBV1-100; manomètre DM-06063 (5) ; refroidisseur (échangeur de chaleur dans la conduite) (6) ; récipient de récupération des condensats, volume 250 ml (7).

Étapes pour préparer les expériences : vérifier l'étanchéité du contour sous vide jusqu'à 4 kPa. Une pression de vide incomplète est maintenue entre 4 et 14 kPa pendant 24 heures; remplir la solution traitée dans un récipient d'évaporation ; réduire la pression du système ; remplir le bain chaud avec de l'eau ; le début de l'ébullition. L'aspect des premières gouttes de condensat dans le collecteur de condensat dénote l'évacuation de l'air de l'installation ; arrêter l'éjecteur.

Comme objet de recherche, du lactosérum fermenté contenant 7% de matière sèche a été prélevé (Figure 2.). Lors du processus de condensation, on obtient le lactosérum plus concentré avec une teneur en matière sèche de 12% (Figure 3.). Le processus de condensation a révélé la formation de gaz qui ont révélé la présence insignifiante d'acide carbonique qui s'est décomposé en augmentant la température en eau et en dioxyde de carbone, ce qui a entraîné une augmentation de la pression dans le récipient d'évaporation jusqu'à 14 kPa. Dans le processus de condensation avec le broyage du lactosérum fermenté dans un volume de 500 ml lors de la première étape, on a obtenu 100 ml d'acide acétique à 4% (figure 4.) et le second distillé à 1% (figure 5.), tout l'acide acétique (jusqu'à 5%), qui y était contenu avant le traitement thermique, a été séparé du lactosérum par fractionnement.

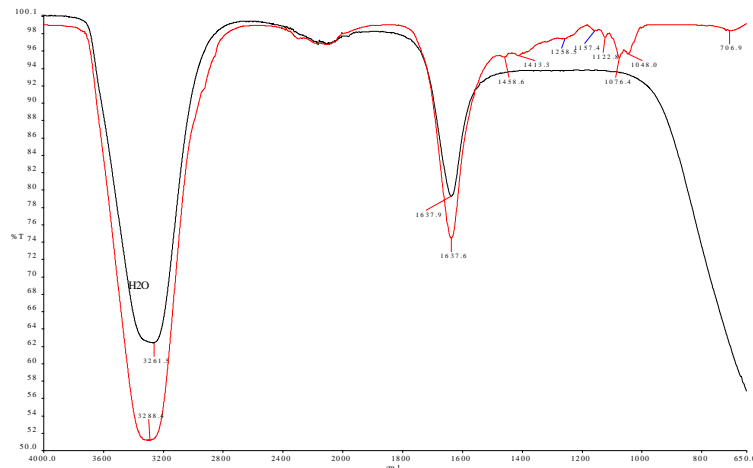


Fig. 2. Spectrogrammes FT-IR: **le lactosérum initial**; H₂O

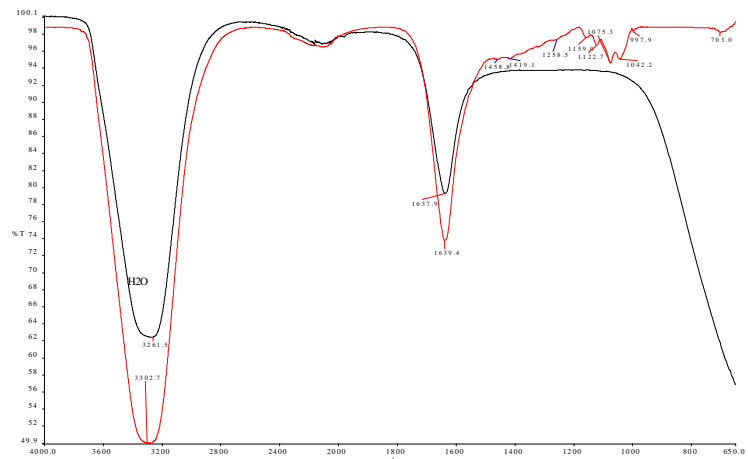


Fig. 3. Spectrogrammes FT-IR: **lactosérum concentré**; H₂O

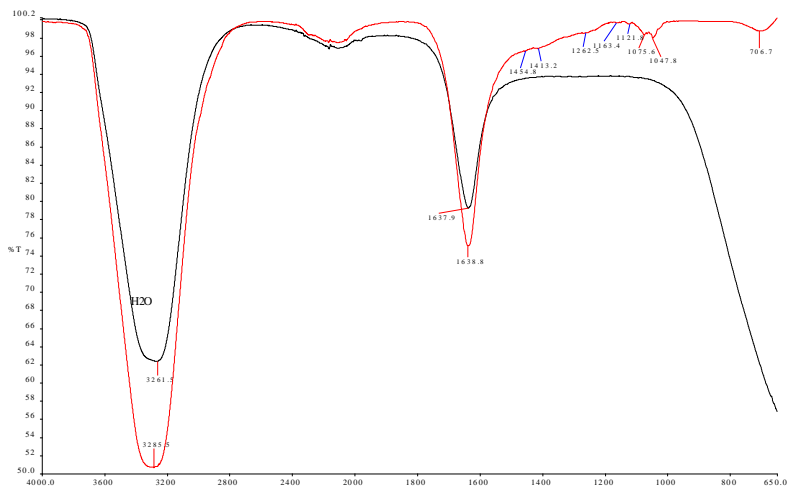


Fig. 4. Spectrogrammes FT-IR: **le premier lactosérum distillé**; H₂O

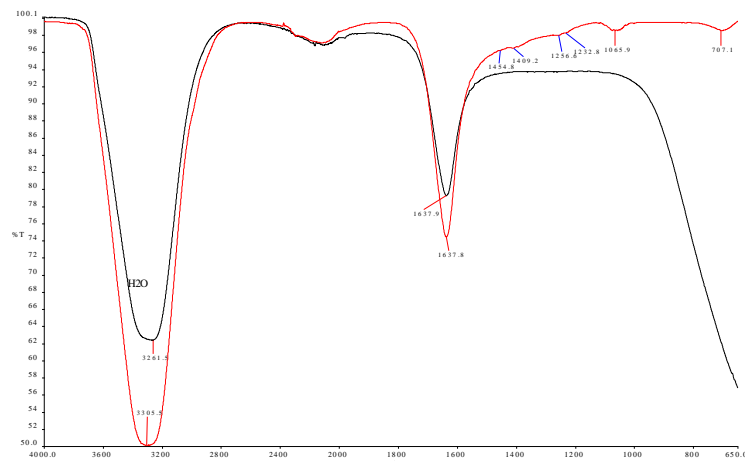


Fig. 5. Spectrogrammes FT-IR: **le deuxième distillat de lactosérum**; H₂O

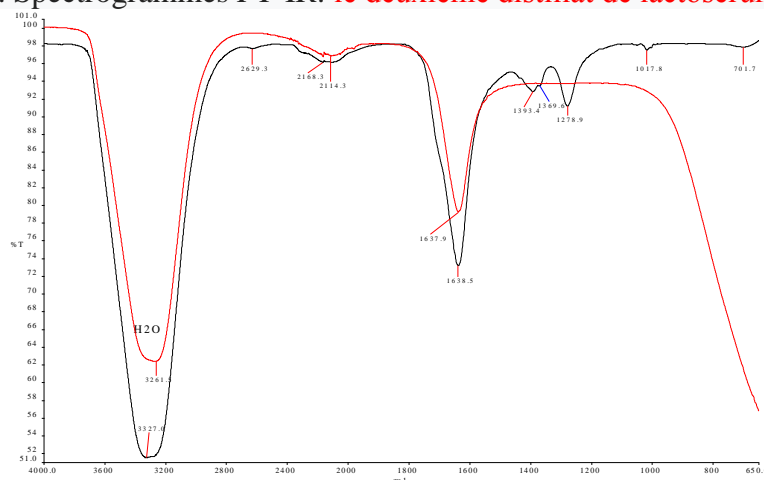


Fig. 6. Spectrogrammes FT-IR: 6% de vinaigre; H₂O

L'étude du processus de condensation du lactosérum avec distillation par étapes présente un intérêt pour la possibilité d'augmenter la teneur en acide lactique de la composition de lactosérum fermenté avec élimination de l'acide acétique. Détermination de l'influence des paramètres d'évaporation sur l'efficacité du procédé de rectification à l'acide lactique et à l'acide acétique, détermination des régimes de concentration et de rectification. Les résultats sont intéressants du point de vue du fractionnement des acides organiques lors de la condensation du lactosérum. Le procédé de distillation après distillation fractionnée est une des pistes prometteuses (figures 4. et 5.) Ce qui permettra d'obtenir des acides organiques rectifiés par distillation à la vapeur, composants importants des matières premières laitières.

Références : 1. E. I. Mouratova, O. V. Ziouzina, O.B. Chouniaïeva, Biotekhnologuia organitcheskikh kislot i belkovykh preparatov - Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo Gossouarstvennogo Tekhnicheskogo Ouniversiteta, 2007, 80 s. ISBN 978-5-8265-0655-4. 2. V.A. Yermolaïev, N.A. Komarova, M.G. Kourbanova Intensifikatsia protsessa vakououmnogo obezvoivania molotchno-belkovykh produkty, / Khranenie i pererabotka sel'khozsyria, №2, 2012 S.8-11, ISSN 2072-9669. 3. V.A. Yermolaïev, O.N. Ivanenko, M.V. Oniouchev, Razrabotka temperatournykh rejimov vakououmnogo kontsentrirovania moloka, // Vestnik krasnoïarskogo gossouarstvennogo agrarnogo ouniversiteta: Krasnoïarski Gossouarstvenny Agrarny Ouniversitet (Krasnoïarsk), №9, 2016, s. 121-127, ISSN: 1819-4036.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОНКОГО
ТОЧЕНИЯ ЧУГУНА ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Андреева А. А., Епишева М.А., Ивченко Т.Г.

(каф. ТМ, ДонНТУ, Донецк, ДНР)

***Аннотация:** Представлены результаты расчетов оптимальных режимов резания при тонком точении серых и износостойких чугунов инструментами из сверхтвердых материалов по критерию максимальной производительности.*

***Ключевые слова:** тонкое точение, чугун, температура резания, производительность.*

В современном машиностроительном производстве обработка деталей из чугуна занимает весьма важное место, в связи с чем, актуальны задачи по совершенствованию процессов резания этих материалов. Одним из резервов повышения эффективности обработки чугунов является использование современных сверхтвердых инструментальных материалов (СТМ) [1], для которых весьма актуально обоснование оптимальных режимов резания, обеспечивающих для заданных условий обработки и требований к качеству поверхностей максимальную производительность.

В настоящее время достаточно распространенным методом оптимизации является метод линейного программирования (МЛП) [2], позволяющий осуществлять одновременную оптимизацию скорости резания и подачи с учетом действующих при резании ограничений по критерию максимальной производительности. В известных работах, посвященных оптимизации режимов тонкого точения инструментами из СТМ [3, 4], основное внимание уделяется обработке сталей. Известный в настоящее время опыт применения композитов при точении чугунных прокатных валков свидетельствует о достаточном распространении этого метода обработки [5]. Установленные взаимосвязи стойкости, сил и температур резания, шероховатости обработанной поверхности с параметрами обработки при тонком точении чугунов могут быть широко использованы для оптимизации режимов резания. Представляет интерес дальнейшее развитие МЛП применительно к оптимизации режимов резания при обработке деталей из чугуна.

Цель работы – разработать методику определения оптимальных режимов резания, обеспечивающих максимальную производительность тонкого точения деталей из чугуна инструментами из СТМ.

При оптимизации режимов резания и качестве целевой функции рассматривается производительность обработки, максимум которой достигается при максимуме произведения частоты вращения n и подачи S : $n \cdot S \rightarrow \max$. При тонком точении рассматриваются ограничения: по возможностям режущего инструмента, по температуре резания Θ , по шероховатости обработанной поверхности R_a , по допустимым диапазонам частоты вращения n и подачи S .

Математическая модель процесса тонкого точения:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 + y_V X_2 \leq b_1, \\ z_r X_1 + y_r X_2 \leq b_2 \\ z_t X_1 + y_t X_2 \leq b_3, \\ X_1 \geq b_4, X_1 \leq b_5, \\ X_2 \geq b_6, X_2 \leq b_7, \\ (X_1 + X_2) \rightarrow \max, \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} b_1 = \ln(1000 C_V K_V / \pi D T^m); \\ b_2 = \ln(1000^{z_r} R_a / C_R (\pi D)^{z_r}); \\ b_3 = \ln(1000^{z_t} \Theta / \tilde{N}_\Theta (\pi D)^{z_t}); \\ b_4 = \ln S_{\min}; b_5 = \ln S_{\max}; \\ b_6 = \ln n_{\min}; b_7 = \ln n_{\max}; \\ X_1 = \ln n; X_2 = \ln S, \end{array} \right. \quad (1)$$

где D – диаметр обработки; T – стойкость инструмента; C_V, K_V, x_v, y_v, m – коэффициенты и показатели, характеризующие степень влияния глубины, подачи и стойкости на скорость резания; C_R, y_r, z_r – коэффициент и показатели, характеризующие степень влияния подачи и скорости на шероховатость обработанной поверхности R_a ; C_Θ, x_t, y_t, z_t – коэффициент и показатели, характеризующие степень влияния глубины, подачи и скорости на температуру резания Θ .

Для расчетов оптимальных подач S_o и скоростей резания V_o в зависимости от параметров обработки установлены следующие аналитические выражения:

$$S_o = \begin{cases} \left[\frac{\Theta(C_R)^{z_t/z_r}}{C_\Theta R_a^{z_t/z_r}} \right]^{z_r/(y_t z_r - z_t y_r)} & , \text{при } \Theta < \Theta_o; \\ \left[\frac{R_a T^{m z_r} z_r^{x_v}}{C_R (C_V K_V)^{z_r}} \right]^{1/(y_r - y_v z_r)} & ; \end{cases} \quad V_o = \begin{cases} \left[\frac{R_a}{C_R S_o^{y_r}} \right]^{1/z_r} & , \text{при } \Theta < \Theta_o; \\ \frac{C_V K_V}{T^{m x_v} S_o^{y_v}} & , \end{cases} \quad (2)$$

где Θ_o – граничное значение температуры резания, для которого необходимо учитывать температурное ограничение:

$$\Theta_o = C_\Theta \left[R_a T^{m z_r} / C_R (C_V K_V)^{z_r} \right]^{y_t - y_v z_t} / (y_r - y_v z_r) \left(C_V K_V / T^{m x_v} \right)^{z_t}.$$

Учет температурных ограничений весьма важен при расчете оптимальных режимов тонкого точения инструментами из СТМ, так как обработка осуществляется на высоких скоростях резания, обуславливающих высокие температуры резания.

Схемы определения оптимальных режимов резания при тонком точении различных чугунов представлены на рис. 1.

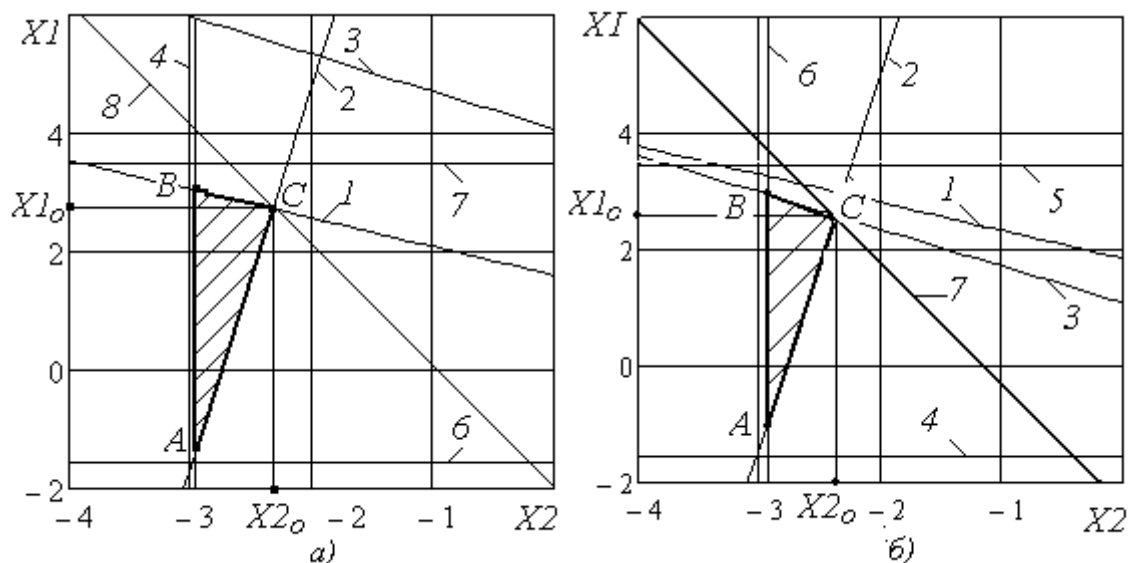


Рис. 1. Схемы определения оптимальных режимов резания при тонком точении серого чугуна СЧ20 (HB 220) – а), износостойкого чугуна (HB 600) – б)

Примеры определения оптимальных режимов резания представлены для тонкого точения деталей из серого чугуна СЧ20 (НВ 220) и износостойкого чугуна (НВ600) резцами, оснащенными киборитом. Геометрические параметры инструмента: передний угол $\gamma = -10^\circ$, радиус при вершине $r = 1\text{ мм}$; стойкость $T = 100\text{ мин.}$, глубина резания $t = 1\text{ мм}$; шероховатость обработанной поверхности $R_a = 1\text{ мкм}$; допустимая температура резания $\Theta = 800^\circ\text{C}$. Для расчетов приняты следующие значения коэффициентов и показателей степени [5]:

для серого чугуна СЧ20 (НВ 220): $C_t = 53,33 \cdot 10^3$; $K_V = 0,539$; $x_v = 0,194$; $y_v = 0,848$; $m_v = 0,645$; $C_R = 19,83$; $y_r = 1,15$; $z_r = -0,18$; $C_t = 481$; $x_t = 0,1$; $y_t = 0,19$; $z_t = 0,3$;

для износостойкого чугуна (НВ600) $C_V = 8,92$; $x_v = 0,194$; $y_v = 0,484$; $m_v = 0,645$; $C_R = 15,3$; $y_r = 1,15$; $z_r = -0,18$; $C_\Theta = 1269$; $x_t = 0,1$; $y_t = 0,19$; $z_t = 0,3$.

При обработке серого чугуна СЧ20 (НВ 220) (рис. 1а) точка C в многоугольнике ABC , который представляет собой область возможных решений, является точкой пересечения ограничений по предельно допустимой шероховатости (2) и по режущим возможностям инструмента (1). Температура резания $\Theta_p = 450^\circ\text{C}$ не превышает допустимого уровня, температурное ограничение (3) не учитывается при расчете оптимальных режимов.

Рассчитанные оптимальные режимы тонкого точения серого чугуна СЧ20: скорость резания $V_o = 1,1\text{ м/с}$, подача $S_o = 0,1\text{ мм/об}$;

При обработке износостойкого чугуна (НВ600) (рис.1б) точка C в многоугольнике ABC , который представляет собой область возможных решений, является точкой пересечения ограничений по предельно допустимой шероховатости (2) и по температуре резания (3). Температура резания $\Theta_p = 950^\circ\text{C}$ превышает допустимый уровень, температурное ограничение (3) учтено при расчете оптимальных режимов.

Рассчитанные оптимальные режимы тонкого точения износостойкого чугуна: скорость резания $V_o = 0,97\text{ м/с}$, подача $S_o = 0,09\text{ мм/об}$; при снятии температурных ограничений (обработка с использованием СОТС) - $V_{ol} = 1,1\text{ м/с}$, подача $S_{ol} = 0,11\text{ мм/об}$. Снятие температурных ограничений позволяет повысить оптимальные режимы резания, а, следовательно, и производительность обработки.

На основании разработанной методики возможны расчеты оптимальных режимов резания для тонкого точения деталей из чугуна инструментами из СТМ, обеспечивающих максимальную производительность, в любых условиях механической обработки.

Список литературы: 1. Новиков, Н.В. Инструменты из сверхтвердых материалов / Н.В. Новиков и др. – М.: Машиностроение, 2005. -555с. 2. Кроль, О.С. Оптимизация и управление процессом резания / О.С. Кроль, Г.Л. Хмеловский. – К.: УМК ВО, 1991. – 140с. 3. Ивченко, Т.Г. Повышение эффективности тонкого точения закаленных сталей за счет оптимизации режимов резания / Т.Г. Ивченко, Е.О. Лыхманюк // Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2014. Вып. (50). – С.107-112. 4. Ивченко Т.Г. Повышение эффективности использования инструментов из сверхтвердых материалов при точении закаленных сталей / Т.Г. Ивченко, Е.О. Лыхманюк, А.А. Андреева // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XXVI международной конференции в г. Севастополе 23-28 сентября 2019г. - Донецк: ДонНТУ, 2019. Том 1.- С.289-292. 5. Мелешик, В.А. Опыт применения композитов при точении чугунных прокатных валков / В.А. Мелешик, Ю.Г. Кравченко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. Вып. 1. – С.81-84.

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ
В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Бондаренко Д.В., Ивченко Т.Г.
(каф. ТМ, ДонНТУ, Донецк, ДНР)

Аннотация: Выполнена сравнительная оценка возможностей лезвийной, алмазно-абразивной и отделочно-упрочняющей обработок по обеспечению эксплуатационных свойств деталей машин. Установлена возможность повышения износостойкости и прочности при использовании методов поверхностно-пластического деформирования.
Ключевые слова: точение, шлифование, обкатывание, прочность, износостойкость.

Обеспечение высокого уровня эксплуатационных свойств деталей машин является важнейшей задачей современного производства. Основные эксплуатационные свойства – износостойкость и прочность в значительной мере зависят от состояния поверхностного слоя деталей машин, формируемого в процессе механической обработки. В связи с этим весьма актуальной задачей является оценка возможностей различных методов обработки в повышении эксплуатационных свойств деталей машин.

В настоящее время имеется достаточное количество информации по технологическому обеспечению параметров состояния поверхностного слоя деталей машин [1, 2]. Однако сведения о достигаемом при этом уровне эксплуатационных свойств практически отсутствуют, что затрудняет обоснованный выбор методов окончательной обработки деталей с их учетом. Анализ возможностей повышения эксплуатационных свойств, выполненный в работах [3, 4], представлен для комбинированных методов обработки совместным точением и обкатыванием или алмазным выглаживанием.

Целью настоящей работы является количественная оценка возможностей методов лезвийной, алмазно-абразивной и отделочно-упрочняющей обработок в обеспечении износостойкости и прочности деталей машин.

В качестве основных показателей эксплуатационных свойств – износостойкости и прочности в настоящей работе приняты соответственно: интенсивность изнашивания I и теоретический коэффициент концентрации напряжений α_σ , которые в зависимости от параметров поверхностного слоя могут быть представлены следующим образом [1]:

$$I = \frac{1,2\pi p^{7/6}}{n\lambda t_m^{3/2} (H_\mu)^{2/3}} \cdot \sqrt{\frac{30(1-\mu^2)(2\pi R_a W_z H_{max})^{1/3}}{ES_m}}; \quad (1)$$

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{200}{t_m S_m} [2\gamma R_{max} (R_{max} - R_p)]^{0.5}; \quad (2)$$

где p - давление на площадке контакта; n - число циклов воздействия, которое приводит к разрушению; μ , E - коэффициент Пуассона и модуль упругости материала; λ - коэффициент, учитывающий изменение данного числа циклов в связи с поверхностными остаточными напряжениями; t_m - относительная опорная длина профиля на уровне средней линии; H_μ - поверхностная микротвердость; R_a - среднее арифметическое отклонение профиля; S_m - средний шаг неровностей; W_z - параметр волнистости; H_{max} - максимальное макроотклонение; γ - коэффициент, принимаемый для механических методов обработки $\gamma = 1$; R_{max} - максимальная высота профиля; R_p - высота сглаживания.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Расчет абсолютных значений указанных показателей на стадии изготовления деталей весьма затруднителен, так как для его выполнения наряду с известными параметрами поверхностного слоя требуются сведения об условиях эксплуатации деталей машин. В связи с этим целесообразно ввести критерии относительного изменения эксплуатационных свойств, представляющие собой отношение абсолютных значений показателей оцениваемых свойств к некоторым значениям, принятым за базу [4]. В настоящей работе для сравнительного анализа методов лезвийной, алмазно-абразивной и отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием в качестве базы принимаются значения показателей эксплуатационных свойств и параметров поверхностного слоя, достигаемых при лезвийной обработке.

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

$$K_\alpha = \left(1 + \frac{200 R_{an}}{t_m S_m}\right) / \left(1 + \frac{200 R_{a\bar{o}} n_{\bar{o}}}{t_{m\bar{o}} S_{m\bar{o}}}\right); \quad (4)$$

где $R_{oa} = R_a/R_{a\bar{o}}$; $W_{oz} = W_z/W_{z\bar{o}}$; $H_{o\max} = H_{\max}/H_{\max\bar{o}}$; $\lambda_o = \lambda/\lambda_{\bar{o}}$; $t_{om} = t_m/t_{m\bar{o}}$; $S_{om} = S_m/S_{m\bar{o}}$; $H_{o\mu} = H_\mu/H_{\mu\bar{o}}$ - относительные показатели параметров поверхностного слоя, определенные в сравнении с базовыми.

Коэффициенты относительного изменения эксплуатационных свойств рассчитываются на основании сопоставления достижимых параметров поверхностного слоя сравниваемых методов обработки, достаточно широко представленных в справочно-нормативной литературе [1, 2].

В настоящей работе осуществляется анализ методов лезвийной, алмазно-абразивной и отделочно-упрочняющей обработок наружных поверхностей вращения. Показатели параметров поверхностного слоя для этих методов обработки представлены в табл. 1. При расчетах относительных параметров за базу для сравнения приняты параметры поверхностного слоя при точении (средние значения из указанных в табл. 1 параметров).

Таблица 1. Параметры поверхностного слоя при различных методах обработки наружных поверхностей вращения

Метод обработки	Параметры поверхностного слоя							n
	R_a , мкм	W_z , мкм	H_{\max} , мкм	H_μ	t_m , %	S_m , мм	λ	
Точение	0.8-2.5	1.6-4.0	40-100	20-40	45	0.08-0.16	1	6
Шлифование	0.2-1.25	0.5-4.0	10-40	10-30	50	0.025-0.1	0.9	7
Обкатывание	0.05-1.0	0.4-2.5	6-40	20-70	60	0.025-0.2	1.1	5

На рис. 1 представлены графики двухпараметрических зависимостей коэффициентов относительного изменения износостойкости K_I и прочности K_α от относительных в сравнении с точением показателей параметров шероховатости – относительного среднего арифметического отклонения профиля R_{ao} и относительного среднего шага неровностей S_{mo} при шлифовании и обкатывании.

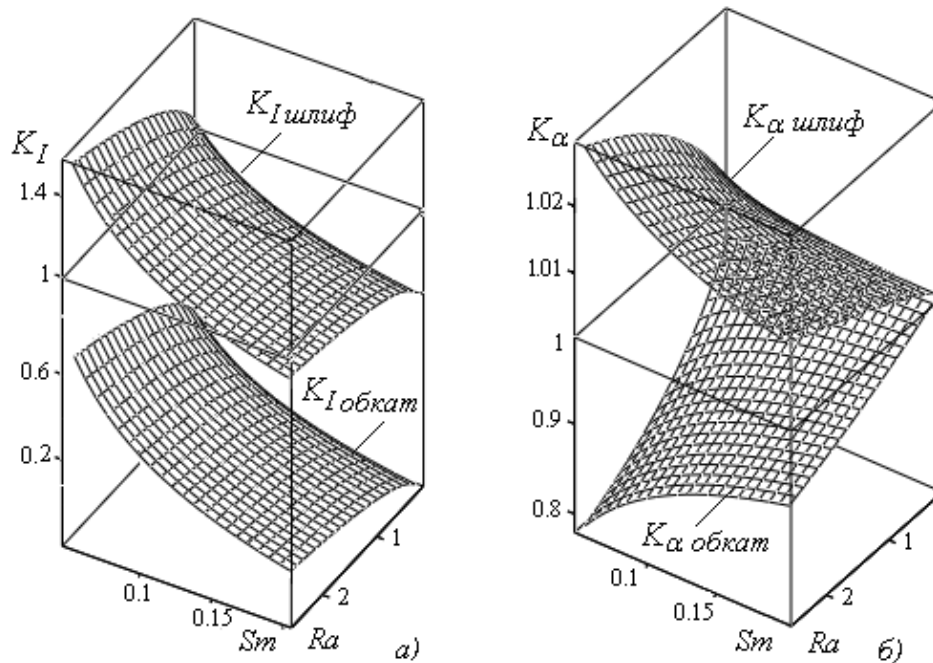


Рис. 1. Графики двухпараметрических зависимостей коэффициентов относительного изменения износостойкости K_I - а) и прочности K_α - б) от среднего арифметического отклонения профиля R_a и среднего шага неровностей S_m

Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии параметров шероховатости R_a и S_m на износостойкость деталей машин. При использовании шлифования в качестве окончательного метода обработки практически во всем диапазоне изменения параметров шероховатости коэффициент $K_{I \text{ шлиф}} \geq 1$, то есть износостойкость деталей до 1,5 раз ниже, чем при обработке их чистовым точением. Использование же отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием – обкатывания позволяет повысить износостойкость деталей в сравнении с чистой лезвийной обработкой в 2-5 раз.

На основании результатов исследований может регламентироваться выбор рациональных методов обработки и параметров шероховатости, обеспечивающих заданный уровень повышения износостойкости и прочности деталей машин.

Список литературы: 1. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов. - М.: Машиностроение, 2000. - 320с. 2. Качество машин: Справочник. В 2 т. Т.1 / А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. - М.: Машиностроение, 1995.-256с. 3. Брадулов, П. Р. Анализ возможностей повышения износостойкости деталей машин комбинированными методами обработки / П. Р. Брадулов, Т. Г. Ивченко // ИНЖЕНЕР: студенческий научно-технический журнал / Донецк : ДонНТУ, 2014, № 1(17) - №2(18). – С. 98 - 101. 4. Кисиленко, И. В. Повышение эксплуатационных свойств деталей машин при совместной обработке точением и обкатыванием / И. В. Кисиленко, Т. Г. Ивченко // ИНЖЕНЕР: Студенческий научно – технический журнал / Донецк: ДонНТУ, 2018, № 1(25) - 2(26). - С.50-52.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ИНСТРУМЕНТ

Бутенко В.И., Давиденко К.В. КРИТЕРИИ ВЫБОРА ВИДА И СПОСОБА ПРИМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ	3
---	---

Дьяченко О.В., Кардаполова М.А., Николаенко В.Л. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ АЛЮМИНИЯ	6
--	---

ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

Андрейченко Е.П., Скорикова А.О. ПОСТРОЕНИЕ ОДНИМ ЦИРКУЛЕМ.....	10
---	----

Березовский А. Е., Катькалова Е.А. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ЦИЛИНДРА И СЖАТОГО ЭЛЛИПСОИДА ВРАЩЕНИЯ.....	14
---	----

Катькалова Е.А., Головин А. И. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ НАКЛОННОГО ЦИЛИНДРА И ЭЛЛИПСОИДА.....	16
---	----

Масленников Д.А. Барбашов Б. А. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ CFD В МАШИНОСТРОЕНИИ	18
--	----

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Бахадиров Г.А., Цой Г.Н., Набиев А.М. МАШИНА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОЖЕВЕННОГО ПОЛУФАБРИКАТА	20
---	----

Бутенко В.И., Давиденко К.В., Сосницкая Т.С. УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛИ	24
---	----

Ладоша Е.Н., Фомич М. В., Цымбалов Д.С. РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ В СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	29
--	----

Ибраева Н.Р., Бейсембаев К.М., Нокина Ж.Н. НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ В БАЗАХ МНОГОМЕРНЫХ КЛАС- СИФИКАЦИЙ ГОРНЫХ МАШИН	36
Лысенко Н.М., Пустовит Д.С. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ВЫЕМОЧНЫХ КОМБАЙНОВ, РАБО- ТАЮЩИХ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ ДЕЙСТВУЮ- ЩИХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДНР, И НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ПО- ВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИХ ФУНКЦИ- ОНИРОВАНИЯ.....	40
Фомич М. В., Яценко О.В., Цымбалов Д.С. РАЗРУШЕНИЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ: МАТЕМАТИ- ЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ	45
Огренич Д.В., Лозовой А.А., Михайлов Д.А., Шейко Е.А., Пичко А.П., Михайлов А.Н. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	52
Шахазизян Б.Г., Акопян Н.Г., Арутюнян М. Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНОГО МОДУЛЯ “МЯГКОЙ” ЭКЗОСКЕЛЕТОННОЙ АССИСТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ.....	57
Solonari S.T., Vutcariova I.I., Rusu M.I., Balan G.K. LA CONCENTRATION DU LACTOSERUM AU VID AVEC RECTIFICATION PAR LA DISTILLATION PAR ETAPES DES ACIDES ORGA- NIQUES.....	61
Андреева А. А., Епишева М.А., Ивченко Т.Г. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОНКОГО ТОЧЕНИЯ ЧУГУНА ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ	65
Бондаренко Д.В., Ивченко Т.Г. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	68

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

1. Текст рукописи статьи до 3 страниц формата А4 (210x297 мм) с полями: **верхнее и нижнее 30 мм, левое и правое 25 мм.** Рукопись статьи оформить с применением редактора WinWord шрифтом Times New Roman размером 12ю распечатать в двух экземплярах с высоким качеством печати

2. Порядок оформления. Материалы должны отвечать следующей структурной схеме: УДК, название, фамилии и инициалы авторов, сокращенное название кафедры и организации, города, страны, основной текст, выводы, список литературы. Название печатать прописными (жирными) буквами, без переносов, центрировать. Через 1 пустую строку строчными буквами – фамилии и инициалы авторов (жирными), рядом в круглых скобках курсивом – сокращенное название кафедры и организации, города, страны (строку центрировать). Через 1 пустую строку – материалы статьи (язык изложения – по выбору авторов), межстрочный интервал 1, **с переносом слов.** См. образец оформления материалов.

3. Формулы и математические знаки должны быть понятны. Показатели, степени и индексы должны быть меньше основных знаков и выполняться в соответствии с редактором формул Microsoft Equation. Формулы нумеруются (справа в круглых скобках, не отступая от правого поля) только в том случае, если на них в тексте имеются ссылки. Между крайними знаками формулы и текстом должен выполняться один интервал. Формулы выполняются курсивом.

Размер Формул Для Microsoft Equation

Full (обычный).....	12 pt
Subscript/Superscript (крупный индекс).....	10 pt
Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс).....	8 pt
Symbol (крупный символ).....	12 pt
Sub-Symbol (мелкий символ).....	10 pt

4. Графический материал (рисунки, графики, схемы) следует выполнять размерами не менее 60x60 мм внедренными объектами (по ходу материалов). Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте. Позиции на рисунке должны располагаться по часовой стрелке. Под каждым рисунком указывается его номер и название, например: «Рис. 3. Схема устройства.» Рисунки отделяются от основного текста интервалом.

5. Таблицы должны иметь названия и порядковый номер и располагаться после упоминания по тексту, например: «Таблица 2. Классификация муфт.» Таблицы отделяются от основного текста интервалом.

6. Список литературы должен быть приведен в конце статьи в соответствии с образцом. Перечень ссылок должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки.

7. Материалы, не отвечающие перечисленным требованиям, а также поступившие в редакционную коллегию с опозданием, опубликованы не будут.

Образец оформления материалов:

УДК 621.01(06)

ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

(пустая строка)

Иванов И.И., Петров П.П. (гр. ИТМ-14, кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

(пустая строка)

Аннотация. В статье приведены данные по структурному синтезу сборочных уравнений описывающих процесс сборки изделий. (курсив, 6 ...8 строк)

Ключевые слова: структура технологии, синтез, процесс, сборка. (курсив, 5 слов)

(пустая строка)

1. Введение

Во введении необходимо представить литературный обзор современного состояния вопроса исследования, показать актуальность работы, поставить цель и определить задачи исследований (0,5 страницы).

(пустая строка)

2. Основное содержание и результаты работы

Для сборки изделий широко применяются технологические системы [1]

.....
..... информационные и другие потоки (рис. 5) могут быть описаны

(пустая строка)

3. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

..... отличительной особенностью данной методики.

(пустая строка)

Список литературы: 1. Ким И. П. Исследование эффективности роторных машин / И.П. Ким. – К.: КПИ, 1985. – 123 с. 2. Устюгов А. В. Надежность технологических машин / А. В. Устюгов. – Донецк: ДонНТУ, 1998. – 425 с.

АДРЕС РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Редакционная коллегия журнала «Инженер», кафедра «Технология машиностроения», ДонНТУ, ул. Артема, 58, г. Донецк, 283001, ДНР.

Тел. (+38 062) 305-01-04, (+38 062) 301-08-05; факс - (+38 062) 305-01-04;

E-mail: tm@fimm.donntu.org или mntk21@mail.ru http: // <http://tm.donntu.org>

Председатель редакционной коллегии – А. Н. Михайлов, тел. (+38 062) 305-01-04.

Зам. председателя – А. В. Байков, тел. (+38 062) 301-08-05.

Ученый секретарь – И.А. Петряева, тел. (+38 062) 301-08-05.