

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

В І С Н И К

**СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

№ 6 (100)

Частина 2

ЛУГАНСЬК 2006

ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 6 (100) 2006

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ
ВИХІД З ДРУКУ - ДВАНАДЦЯТЬ
РАЗІВ НА РІК

Засновник
Східноукраїнський національний уні-
верситет імені Володимира Даля

**Журнал зареєстровано
Міністерством України у справах
преси та інформації.**

Свідоцтво про державну реєстрацію
серія КВ № 2411 від 19.12.96 р.

VISNIK

OF THE VOLODYMYR DAL EAST
UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

№ 6 (100) 2006

THE SCIENTIFIC JOURNAL
WAS FOUNDED IN 1996
IT IS ISSUED TWELVE TIMES A YEAR

Founder
of the Volodymyr Dal East Ukrainian Na-
tional University

**Registered by the Ministry of Ukraine
For Press and Information**

Registration Certificate
KB № 2411 dated 19.12.96

Журнал включено до Переліків наукових видань ВАК України № 2 (Бюл. ВАК № 5 (13) 1999 р.), № 3 (Бюл. ВАК № 6 (14) 1999 р.) та № 4 (Бюл. ВАК № 2 (16) 2000 р.), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з *технічних, історичних та економічних наук* відповідно.

Головна редакційна колегія: Голубенко О.Л., докт. техн. наук (головний редактор), Осенін Ю.І. (відповідальний секретар), Андрющук А.О., канд. техн. наук, Бузько І.Р., докт. екон. наук, Голубничий П.І., докт. фіз.-мат. наук (заступник головного редактора), Гончаров В.М., докт. екон. наук, Грібанов В.М., докт. техн. наук, Дорошко В.І., докт. техн. наук, Загірняк М.В., докт. техн. наук, Козаченко Г.В., докт. екон. наук, Лазор Л.І., докт. юр. наук, Лещинський В.М., докт. техн. наук (Ізраїль), Литвиненко В.Ф., докт. істор. наук, Ляпін З.Ф., канд. екон. наук (Ізраїль), Нагорний Б.Г., докт. соціол. наук, Рач В.А., докт. техн. наук (перший заступник головного редактора), Решетникова І.Л., докт. екон. наук, Смирний М.Ф., докт. техн. наук (заступник головного редактора), Суханцева В.К., докт. філос. наук, Третьяченко В.В., докт. психол. наук, Тюпало М.Ф., докт. хім. наук, Уваров Є.П., канд. техн. наук, Ульшин В.О., докт. техн. наук, Шаповалов В.І., докт. техн. наук, Шевченко Г.П., член-кор. Академії педагогічних наук України, докт. пед. наук.

Відповідальний за випуск: Рей Р.І.

Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 7 від 31.03.06 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2006

© East Ukrainian National University of the Volodymyr Dal, 2006

ЗМІСТ

CONTENTS

Технічні та економічні науки

Покинтелица Н.И. Николаенко А.П. Волков И.В.	К вопросу повышения эксплуатационных свойств деталей методом вибрационного упрочнения на ВиО станках	6
Гедрович А.И. Жидков А.Б. Паненко Р.Н.	Роль гармоник высокого порядка в снижении остаточных напряжений при виброобработке сварных конструкций	13
Гутько Ю.И. Шалевская И.А.	Исследование вопроса повышения износостойкости литых деталей углеобогатительного оборудования	20
Нахайчук О.В.	Выбор критериев разрушения для оценки деформируемости заготовок	24
Касьянов Н.А. Рыбальченко А.А.	Состояние и проблемы использования систем управления охраной труда на малых авторемонтных предприятиях	28
Шведчикова И.А.	Технические параметры магнитных сепараторов	35
Чередниченко С.П.	Аналитический расчет энергетических затрат и отношения выделившейся энергии к затраченной при полувцикле процесса полиморфного превращения β -олова при переходе в α -олово	39
Алабьев В.Р.	Аналитическое решение задачи тепломассообмена при транспортировке метановоздушной смеси в трубопроводах в зимний период года	43
Цыркин А.Т. Плахотная С.П.	Исследование влияния некоторых факторов на процесс спекания порошковой меди	52
Рябичев В.Д. Косоногова Л.Г. Чесноков А.В.	Определение величины неравномерности вращения ведущего звена грохота	56
Басов Г.Г. Гедрович А.И. Ткаченко С.А. Ткаченко А.Н.	Перспективы сварки элементов кузовов вагонов электро- и дизельпоездов из разнородных сталей на ОАО ХК "Лугансктепловоз"	62
Жданов С.А. Жданова М.Н.	Исследование химической стойкости и износостойкости покрытия на основе полистирола	69
Юдин В.И. Парфенова И.Н.	Информационная поддержка оценки финансового положения предприятия при предоставлении ему банковского кредита	74
Касьянов Н.А. Симонова Ю.Ю. Медяник В.А. Левчук И.Ю.	Особенности использования инфракрасного излучения для отопления производственных помещений	79

Гедрович А.И. Друзь О.Н.	Теплопередача и формирование активной зоны при сварке в защитных газах	82
Александров Д.В. Александров В.Е. Кожин В.Н.	Определение оптимального угла подачи струи порошкового огнетушащего состава в зону пламени	87
Бидаш В.И. Сеногонова Л.И.	Структурные аномалии в низкоуглеродистой холоднокатаной стали	89
Мединцева Ю.В. Балицкая Т.Ю. Сташкевич А.В. Хмеловский Т.Г.	Компьютерное твердотельное моделирование геометрии высоконагруженной гипоидной зубчатой передачи	93
Кобанець Л. О. Овчаренко Т. Л.	Розвиток інноваційних напрямів у рекреаційній діяльності	99
Михайлов Д.В.	Компьютерное моделирование пожара как средство совершенствования пожарной безопасности различных объектов	104
Гречка В.А. Воробьев С.Г.	Результаты измерений радиационной активности отходов угледобывающих предприятий и тепловых электростанций	109
Касьянов Н.А. Басов Г.Г. Мычко А.А. Пительгузов Н.А. Малов В.А.	Основные направления снижения шумовой нагрузки на пассажирском подвижном составе	112
Пологович І.А.	Підвищення ресурсу роботи здрібнюючих деталей кінцевих віброінерційних подрібнювачів технологічними методами	117
Корсунов К.А. Гаврыш В.С. Ашихмина Е.А.	Применение защитных покрытий на лопатках авиационных двигателей	120
Фізико-математичні науки		
Денищик Ю.С. Мурга В.В.	Автоматизация астрономических наблюдений	126
Бранспиз Ю.А.	О проблеме физических основ теоретической электротехники	129
Денищик Ю.С. Мурга В.В. Мурга Е.В.	Коллективные явления в лазерных средах	135
Голубничий П.И. Крутов Ю.М. Решетняк Д.В.	Динамика парогазовой полости в жидкости в поле короткого биполярного акустического импульса	139
Краснякова Т.В. Митченко С.А. Жихарев И.В.	Рентгеновские исследования влияния механоактивации в различных средах на структурные свойства K_2PtCl_4	145

Голубничий П.И. Громенко В.М. Семиохина Т.С. Снижко А.П.	Спектры послеразрядной плазмы в воде и их анализ	147
Свиридов В.В. Радкевич Н.А. Романченко С.П.	Цифровое детектирование в сканирующей эллипсометрии	151
Левко Д.С. Поневчинский В.В. Лысиков Ю.И.	Исследование волн, распространяющихся по поверхности океана	155
Денищик Ю.С. Денищенко С.Б. Мурга В.В.	Проведение экологического мониторинга на базе GPS – и лазерно-локационных наблюдений	158
Левко Д.С. Лысиков Ю.И.	Применение метода потенциалов Баргмана к трехсолитонному взаимодействию	161
Бухтиярова С.В. Жихарев И.В. Лаптева Т.В. Прун А.Ф.	Спин-переориентационные фазовые переходы в ферромагнитных нанослоях с конкурирующими анизотропиями	165
Левко Д.С. Лысиков Ю.И.	Решение возмущенного нелинейного уравнения Шредингера	168
Драгунов И.Е. Бухтиярова С.В. Жихарев И.В.	Спин-переориентационные переходы и доменные состояния в ферромагнитных наноструктурах	173
Чурсин Н.Н.	Эпистемологические уроки квантового принципа	181
Киселев Н.С. Драгунов И.Е. Понявин М.Н. Жихарев И.В.	Исследование равновесных состояний полосовой доменной структуры ферритов	185
Денищик Ю.С.	Об оптимальном построении спутниковых лазерных локационных станций	190
Пашенко В.П. Сильчева А.Г. Жихарев И.В.	Температурные зависимости параметров решетки и дефектность структуры нестехиометрических манганит-лантановых перовскитов $La_{0,6}A_{0,2}Mn_{1,2}O_{3\pm\delta}$ (A^{2+} : Ca^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+})	196
Денищик Ю.С. Нагай И.В.	Улучшение энергетических характеристик лазеров для ЛЛС космического назначения	200

Н.И.Покинтелица, А.П.Николаенко, И.В.Волков

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ВИБРАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ВиО СТАНКАХ

В статье проведен анализ литературных источников по экспериментальным и теоретическим исследованиям, посвященный решению задачи повышения эксплуатационных свойств деталей в первую очередь сложной пространственной формы из различных материалов. Сформулированы причины существующих противоречивых результатов и задачи, необходимые для решения по их устранению. Рис. 1. Ист. 21.

В современном машиностроении по-прежнему остаётся актуальной проблема повышения качества изделий из высокопрочных материалов, в том числе и стали, для повышения надежности и долговечности машин при одновременном снижении их металлоемкости. Работоспособность деталей, узлов и машин в целом существенно зависит от качества поверхностного слоя, получаемого при изготовлении деталей. При этом остро стоит вопрос повышения экономических показателей металлообработки, что выдвигает на первый план нетрадиционные методы обработки, в том числе вибрационные.

Наиболее эффективным средством обеспечения требуемого качества поверхностного слоя деталей являются процессы виброударной обработки. Упрочняющая виброобработка улучшает эксплуатационные свойства деталей, повышая износостойкость и усталостную прочность за счет повышения микротвердости и создания сжимающих напряжений в поверхностном слое. Достижимый уровень свойств материала деформированных деталей связан с изменением макро- и микроструктуры. Установлено, что структура материала деталей, подвергнутых вибрационному нагружению, в зоне обработки более равномерная и мелкозернистая. Упрочнение обрабатываемой поверхности при вибрационной обработке способствует снижению величины износа в 1,13 – 2,0 раза [1].

Вибрационная обработка в зависимости от характера применяемой рабочей среды представляет собой механический или химико-механический процесс съема мельчайших частиц металла с обрабатываемой поверхности, а также сглаживание микронеровностей путем их пластического деформирования. Процесс сопровождается последовательным нанесением на обрабатываемую поверхность большого числа микроударов, вызванных действием направленных вибраций (колебаний), которые подаются к детали через рабочий инструмент. Обрабатывающая рабочая среда-инструмент состоит из множества твердых частиц в виде стальных шариков или абразивных гранул и жидкости, которые под действием интенсивных колебаний приобретают свойство равномерно сопрягаться с произвольно сложной поверхностью обрабатываемой детали, в результате чего происходит упруго-пластическое деформирование, обеспечивающее равномерную обработку и упрочнение поверхностного слоя.

Процессы виброударного упрочнения применяются на финишных операциях, после формообразующей механической обработки и достижения необходимой точности размеров, в качестве окончательной отделочно-упрочняющей обработки, для достижения требуемого качества поверхностного слоя деталей сложной формы, в ряде случаев в дополнение к методам химико-термического

упрочнения; деталей, изготовленных из высокопрочных материалов, работающих в условиях интенсивной знакопеременной и контактной силовых нагрузок, коррозионного воздействия.

Применяемое при вибрационной обработке оборудование в большинстве классификаций в первую очередь рассматривается по характеру колебаний контейнера. Так, все ВиО-станки можно разделить на две большие группы [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]:

- с плоской вибрацией контейнера с горизонтальным валом вибровозбудителя;
- с объемной вибрацией контейнера с вертикальным валом вибровозбудителя.

ВиО-станки первой группы обычно имеют вибровозбудитель, на валу которого расположены симметрично несбалансированные грузы, которые при вращении создают возмущающее усилие, изменяющее свое направление в плоскости по круговой траектории [9]. Под воздействием этого усилия контейнер совершает колебания. Форма траектории колебаний представляет собой эллипс или окружность, за исключением станков, у которых имеются специальные вибровозбудители, создающие двух-компонентные и более составляющие траектории.

ВиО-станки второй группы в большинстве случаев снабжены контейнером кольцевого типа, который опирается на пружины, расположенные по окружности основания вибрационного станка. В средней части кольцевого контейнера расположен вибровозбудитель, ось которого расположена вертикально, с двумя дебалансными грузами. Путем регулирования верхнего и нижнего грузов достигается изменение амплитуды соответственно в горизонтальном и вертикальном направлениях. Во время работы станка верхний несбалансированный груз вызывает горизонтальное перемещение рабочей среды по окружности, тогда как более тяжелый нижний груз создает вертикальные колебания. В результате возникает пространственное движение, под действием которого частицы рабочей среды и обрабатываемые детали перемещаются по непрерывной спиральной траектории вокруг оси кольца контейнера [10].

Условное разделение вибрационных станков можно также охарактеризовать расположением вала вибровозбудителя по отношению к контейнеру: с горизонтальным валом и с вертикальным. ВиО-станки первой группы обычно имеют контейнер прямоугольный в плане и U-образный в сечении, а второй группы - тороидальный или тороидально-винтовой. По мнению авторов [6] станки первой группы при всех прочих равных технологических параметрах обладают преимуществом по съему металла с единицы обрабатываемой поверхности.

Вибрационные методы обработки получили за последнее время в разных сферах народного хозяйства достаточно широкое применение. Малая энергоемкость систем виброобработки, относительно низкая стоимость технологического оборудования и простота его обслуживания позволяют эффективно применять виброобработку не только на крупных предприятиях, но и в условиях мелких и средних производств [11]. В [12] показано преимущество вибрационного шлифования гильз цилиндров двигателей, что повышает качество их обработки и увеличивает производительность труда. При вибрационном притирании клапанов значительно повышается их износостойкость за счет упрочнения их поверхностей [13].

При виброударном упрочнении повышается коррозионно-усталостная долговечность: для стали 30ХГСНА в 1,5 – 2 раза, для Д16Т – в 3,5 раза. При анодировании образцов из Д16Т и последующем виброударном упрочнении коррозионно-усталостная долговечность возрастает в 1,2 – 1,5 раза; в то время как анодирование без упрочнения снижает ее в 1,7 – 2,3 раза.

Контактная прочность при виброударном упрочнении возрастает до 1,5 – 2 и более раз, микротвердость повышается до 1,25 – 1,8 раза, радиус выступов микронеровностей увеличивается в 3 – 5 раз. В этой связи износостойкость виброупрочненных деталей на этапе проработки возрастает, например, для стали Х12Ф1 с исходной шероховатостью Ra 1,25 – 0,8 мкм в 1,3-1,8 раза, в сравнении со шлифованной поверхностью [14].

Установлено, что виброударное упрочнение деталей типа лопаток турбин, изготовленных из титановых сплавов типа ОТ4, существенно ограничивает развитие ползучести формы и размеров в условиях напряженного температурного и силового воздействия, главным образом, из-за положительного влияния технологических сжимающих остаточных напряжений и нейтрализации вредного воздействия эксплуатационных напряжений и концентраторов [15].

Основными параметрами, определяющими качество обрабатываемого материала, являются: амплитуда и частота колебаний; форма траектории колебаний камеры; угловая скорость вращения детали; размер гранул и состав технологической жидкости; объем загрузки и её поджатие; продолжительность времени упрочнения. При этом наибольший положительный эффект достигается, если режимы обработки и параметры качества поверхностного слоя деталей формируются с учетом последующих условий эксплуатации изделий [14]. Однако в литературных источниках наблюдаются противоречивые данные о роли тех или иных параметров процесса вибрационной обработки, влияющих на структуру поверхностного слоя виброобрабатываемых деталей [14, 16, 17]. Наиболее интенсивно влияющие на качество и производительность виброударного упрочнения ударные и динамические процессы оказались наименее изученными [14, 16].

Из анализа работ по вибрационному упрочнению твердосплавных изделий видно, что существующие методики по выбору режимов упрочнения носят приближенный и полуэмпирический характер. Рекомендуемые большинством исследователей режимы упрочнения получены опытным путем и оказываются в основном пригодными только для того оборудования, на котором производились испытания. Одной из основных причин расхождений в оценке эффективности вибрационной обработки является отсутствие обоснованных критериев по выбору расчета режимов станка для вибрационного упрочнения [1, 14].

В целях более эффективного применения вибрационной обработки необходимо более углубленное изучение механизма воздействия вибраций на структуру материала деталей и последующую разработку рекомендаций по выбору оптимальных режимов технологического процесса, что совпадает с целями, поставленными в [12].

Авторы [17], например, считают, что скорость деформирования, т.е. скорость хода рабочего инструмента, оказывает значительное влияние на скорость деформации. И.А. Мишиным [18] было установлено, что упрочнение металлов тем больше, чем выше скорость деформирования. В свою очередь увеличение скорости деформирования вызывает повышение скорости деформации поверхностного слоя детали и сопротивление пластическому деформированию в нем. При этом сопротивление пластическому деформированию описывается уравнением:

$$\sigma_u = \sigma_0 \cdot \varepsilon^{\frac{b-a}{\omega}}, \quad (1)$$

где σ_0 – условный предел текучести;

b – величина, зависящая от материала, в среднем $b = 0,48$;

a – величина, зависящая от материала и температуры;

$\varepsilon = d_0 / d$ – относительная деформация;
 d_0 и d – начальный и текущий диаметр образца;
 ω – скорость деформации, равная:

$$\omega = \left(\frac{d_0 - d}{d} \right) \frac{100}{t}, \quad (2)$$

где t – время.

В то же время, по мнению авторов [20, 21], сопротивление деформации определяется следующим образом:

$$\sigma_\omega = \sigma_0 + \eta\omega, \quad (3)$$

$$\sigma_\omega = \sigma_0 + m\omega^n, \quad (4)$$

$$\sigma_\omega = \sigma_0 + m \ln \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right), \quad (5)$$

где σ_ω – сопротивление деформации при скорости ω ;

σ_0 – тоже при статическом испытании;

η – коэффициент вязкости;

m и n – коэффициенты, зависящие от материала.

В указанных зависимостях имеющиеся коэффициенты зависят от свойств металла, и это вынуждает к проведению значительных экспериментальных исследований.

В это же время автор [14] указывает, что из-за ограниченных скоростных возможностей процесса и отсутствия кинематической связи между станком и деталью стремление добиться высоких технологических результатов лишь за счет повышения интенсивности колебаний не дает желаемых результатов, при этом снижаются ресурс и надежность вибростанков, повышается энергоемкость процесса. Для эффективной обработки, по его мнению, необходима более точная настройка динамических параметров системы на оптимальные значения.

Как указывалось выше, большую роль в эксплуатационных характеристиках деталей играет их износостойкость. Изучению данного вопроса посвящено незначительное количество работ. Авторы [19] указывают, что износостойкость обработанных вибрационным деформированием поверхностей деталей в значительной степени определяется глубиной упрочненного слоя. В литературе нет конкретных рекомендаций по определению ее величины. Некоторые авторы [20] предлагают определять значения глубины упрочнения (наклепа) по следующей зависимости:

$$a_H = k_1 a \left(1,54 - \frac{HB}{1000} \right), \quad (6)$$

где k_1 – поправочный коэффициент;

$a = 1,5d$ – глубина наклепанного слоя при однократном динамическом надавливании;

d – диаметр пластического отпечатка;

HB – твердость обрабатываемого материала.

Авторы отмечают, что значительную сложность определения глубины упрочнения по данной зависимости представляет нахождение коэффициента k_1 .

Приводятся рекомендации подсчета глубины наклепа по формуле:

$$a_n = \sqrt{\frac{P_D}{2k_2\sigma_S}}, \quad (7)$$

где P_D – необходимая сила деформирования;

k_2 – поправочный коэффициент;

σ_S – граница текучести при растягивании обрабатываемого материала.

Автор [1] предлагает прогнозировать прочность конструкций из твердых сплавов при эксплуатационных условиях, а также уточнить механизм упрочнения определением эффективной поверхностной энергии $\gamma_{эфф}$ независимым путем для каждого вида обработок. Эффективная поверхностная энергия означает работу создания единицы площади новой поверхности разрушения. Величина $\gamma_{эфф}$ складывается в основном из истинной поверхностной энергии вещества γ и работы P пластической деформации малого объема образца, прилегающего к вершине движущейся трещины

$$\gamma_{эфф} = \gamma + P. \quad (8)$$

Автор [1], ссылаясь на методику [21], приводит перечень способов определения $\gamma_{эфф}$: аналитическим методом; методом «податливости», методом работы разгрузки. Также приводятся данные по экспериментальному определению $\gamma_{эфф}$ и влиянию этих методов упрочняющей технологии на величину эффективной поверхностной энергии $\gamma_{эфф}$.

В работе [11] предлагается выбирать режимы виброобработки при помощи диаграммы усталости. Рассмотрен механизм релаксации остаточных напряжений при виброобработке с использованием обобщенной диаграммы усталости (рис. 1).

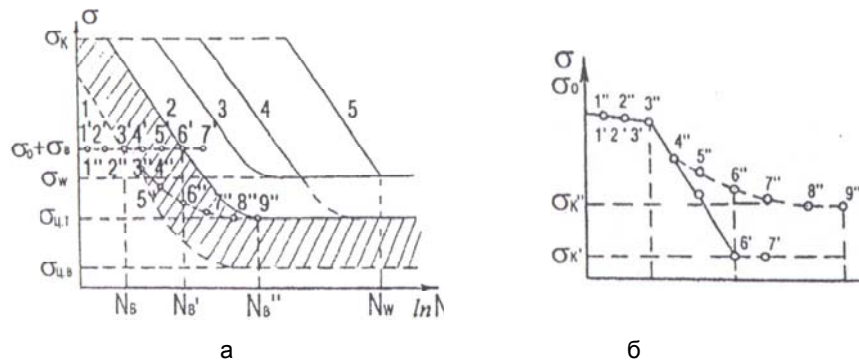


Рис. 1. Схема обобщенной диаграммы усталости (а) и кинетика уменьшения остаточных напряжений (б):

- 1 – начало микроскопического течения; 2 – макроскопическое течение;
- 3 – линия окончания макроскопического течения; 4 – линия начала субмикроскопических трещин; 5 – кривая усталостного разрушения; σ_k – критическое напряжение усталости;
- $\sigma_{ц.т.}$ – предел усталости; σ – циклический предел усталости

При виброобработке на стадии циклической микротекучести до линии 2 (рис. 1, а) обычные механические свойства (предел текучести, микротвердость и др.) не изменяются и к ее окончанию; при циклическом напряжении, равном пределу усталости, все сечение материала претерпевает небольшую деформацию. Экспериментально установлено, что при длительности N виброобработки не более 10^4 циклов фиксируется относительная деформация порядка 10^{-6} – 10^{-4} .

Начало интенсивного микропластического течения устанавливается по изменению характеристики внутреннего трения и обозначено на рис. 1, а линией 1; области микротекучести разграничены линией 2; линии 3, 4 и 5 отражают соответственно стадии циклического упрочнения, образования субмикроскопических трещин и усталостного разрушения.

Например, в малоуглеродистой стали стадия циклического течения связана с протеканием по всему объему материала макроскопической пластической деформации, характеризуемой резким увеличением плотности дислокаций по границам зерен в перлите и вокруг включений, протеканием поперечного скольжения и началом формирования ячеистой дислокационной структуры. Кроме того, изменяются некоторые физико-механические свойства: повышается микротвердость, снижается предел пропорциональности, происходит изменение характеристик внутреннего трения и др. Процесс уменьшения остаточных напряжений в поле суммарных остаточных и вибрационных напряжений начинается с линии 1 (начало микроскопического течения) и заканчивается линией 2 (начало макроскопического течения). Суммарные значения остаточных и вибрационных напряжений ($\sigma_o + \sigma_v$) должны быть меньше критических напряжений усталости σ_k .

Наличие построенных для определенного материала линий 1, 2 и 3 на диаграмме усталости позволяет обоснованно выбирать режимы виброобработки. Однако выбрать только для определенного материала.

Наиболее ярко преимущества процессов виброударного упрочнения проявляются при финишной обработке деталей сложной формы, изготовленных с ограничением массы из высокопрочных сплавов, чувствительных к концентраторам напряжений, работающих в условиях интенсивного динамического, силового, химического и температурного воздействия, когда применение других методов обработки ППД затруднительно или невозможно.

Анализ работ [1, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 20], выполненных в области упрочнения и отделочно-зачистной обработки, виброударного упрочнения и виброабразивной обработки, показывает, что технологические процессы виброударного упрочнения являются эффективным средством снижения высотных параметров шероховатости, улучшения структуры микронеровностей, формирования в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений и наклепа в деталях сложной формы, в том числе с недоступным расположением поверхностей для закрепленного инструмента.

Вместе с этим эффективность процессов виброударного упрочнения не отвечает в полной мере требованиям современного производства и своим потенциальным возможностям, главным образом, из-за неполного использования динамических и скоростных возможностей процесса; несовершенства оборудования. Технологические возможности виброударного упрочнения используются не полностью, масштабы применения неоправданно малы. Это обусловлено рядом объективных причин: отсутствием надежного серийно выпускаемого оборудования; недооценкой разработчиками новой техники технологических возможностей процесса; недостаточной точностью методов проектирования технологических процессов; отсутствием надежных методов расчета и конструирования оборудования.

Трудность успешной реализации процесса виброударного упрочнения состоит в ограниченных скоростных возможностях процесса и отсутствии кинематической связи инструмента со станком и деталью; избирательном характере влияния динамических режимов обработки на технологические параметры процесса.

Вопросам формирования поверхностного слоя при виброударном упрочнении посвящено сравнительно мало работ.

Из анализа рассмотренных работ можно сделать вывод, что несмотря на кажущуюся простоту вибрационной обработки, теоретическое рассмотрение характера контактирования частиц рабочей среды с обрабатываемой поверхностью представляет значительные трудности. Это прежде всего объясняется неопределенностью их положения в пространстве и дискретным характером контакта, множеством факторов, определяющих результаты обработки. Для оценки эффективности использования процессов вибрационной обработки разные авторы предлагают использовать различные, часто противоречивые методы. Нет четких методик определения качества виброобработанного поверхностного слоя. Не разработано определения зависимости качества поверхностного слоя от параметров виброобработки.

Зависимость технологических характеристик процесса, качества поверхностного слоя и производительности обработки от амплитуды и частоты колебаний обуславливает необходимость управления процессом, которая может быть эффективно реализована при независимом управлении динамическими и обрабатываемыми свойствами рабочей среды-инструмента, и скоростью периодических соударений ее с обрабатываемой поверхностью детали, за счет регулирования амплитуды и траектории колебаний.

Литература

1. Берник П.С. Влияние термоокислительного и вибрационного методов упрочнения на сопротивление твердых сплавов разрушению / П.С.Берник // Вибрации в технике и технологиях – 2000. – №2. – С. 41-44.
2. Санков Н.Н. Механизация и автоматизация абразивной обработки отливок / Н.Н.Санков, А.Н.Зибенберг – М.: Машиностроение, 1972. – 208с.
3. Бабичев А.П. Вибрационные станки для обработки деталей / А.П.Бабичев, В.Б.Трунин, Ю.М.Самодумский, В.П.Устинов – М.: Машиностроение, 1984. – 168 с.
4. Берник П.С. Вибрационные технологические машины с пространственными колебаниями рабочих органов / П.С.Берник, Л.В.Ярошенко– Винница, 1998. – 116 с.
5. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / И.Н.Карташов, М.Е.Шаинский, В.А.Власов, Б.П.Румянцев и др. – К.: Высшая школа, 1975. – 179 с.
6. Повидайло В.А. Принципы создания вибрационных устройств и машин для автоматизированных производств / В.А.Повидайло // Вибрации в технике и технологиях – 1994. - №1. – С. 18-27.
7. Погребщиков Ю.Б. Выбор технологического оборудования для реализации многооперационных технологических процессов вибрационной обработки / Ю.Б.Погребщиков, В.Б.Трунин, Ю.М.Самодумский, В.Г.Кравчик // Вопросы вибрационной технологии. – 1999. – С. 11-19.
8. Сердюк Л.И. Управляемые вибрационные машины с дебалансными вибровозбудителями колебаний / Л.И.Сердюк // Вибрации в технике и технологиях. – 1994. - №1. – С. 31-35.
9. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей / А.П.Бабичев – М.: Машиностроение, 1974, – 136с.
10. Кузнецова М.П. Новые методы применения вибрации в ремонте сельскохозяйственной техники / М.П.Кузнецова – Ставрополь, 1972. – 38с.
11. Лащенко Г.И. Вибрационная обработка сварных конструкций / Г.И.Лащенко – К.: «Эко-технологія», 2001. – 56с.

12. Опальчук А.С. Теоретичні та технологічні основи підвищення контактної втомлювальної міцності сталей / А.С.Опальчук, О.Є.Семеновський // Вібрації в техніці та технологіях. – 2004. – №3. – С. 31 – 34.
13. Горбенко А.В. Вибрационная обработка и ее значение / А.В.Горбенко, А.Г.Пасюта Ю.В.Чубенко, И.А.Дудников // Вібрації в техніці та технологіях. – 2004. – №3. – С.4 – 55.
14. Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение: Монография. / Ю.Р.Копылов; Воронежский институт МВД России - Воронеж, 1999. – 386с. – Табл. 12. Ил. 130
15. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора вентилятора. Часть I. Монография / Богуслаев В.А., Муравченко Ф.И., Жеманюк П.Д. и др. – Запорожье: изд-во ООО «Мотор Сич», 2003. – 396с.
16. Пасюта А.Г. К вопросу оптимизации методов и режимов обработки деталей машин давлением / А.Г.Пасюта, А.В.Горбенко, А.А.Дудников, И.А.Дудников // Вібрації в техніці та технологіях. – 2004. – №3. – С. 43 - 46
17. Горбенко А.В. Влияние режимов обработки на процесс вибрационного деформирования / А.В.Горбенко // Вибрации в технике и технологиях. – 2000. - №2. – С. 24 - 26
18. Мишин И.А. Долговечность двигателей / И.А.Мишин – М: Машиностроение, 1976. – 178с.
19. Гончаревич Н.Ф. Теория вибрационной техники и технологии / Н.Ф.Гончаревич, К.В.Фролов – М.: Наука, 1981. – 320с.
20. Горбунко О.В. Сутність і призначення процесу вібраційної обробки / О.В.Горбунко, О.І.Біловод, А.А.Дудніков // Вібрації в техніці та технологіях. – 2006. – №1. – С.17-18.
21. Туманов В.И. Эффективная поверхностная энергия и прочность хрупких сплавов WC-Co / В.И.Туманов, Л.А.Конюхова, Г.С.Креймер – Физика металлов и металловедение. Т. 41, 1976, вып.5. - С. 1083-1086.

УДК 621.9.048: 621.791 – 442.2

А.И.Гедрович, А.Б.Жидков, Р.Н.Паненко

РОЛЬ ГАРМОНИК ВЫСОКОГО ПОРЯДКА В СНИЖЕНИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ВИБРООБРАБОТКЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Обоснована гипотеза о низкочастотной вибрационной обработке сварных конструкций как о процессе, при котором совместно действуют низкочастотные и высокочастотные вибрации, являющиеся гармониками возмущающего воздействия. Определены направления дальнейшего развития технологического процесса вибрационной обработки сварных конструкций. Рис. 4. Ист. 16.

Целью данной работы является обоснование гипотезы, объясняющей взаимодействие колебаний низкой частоты при виброобработке (ВО) с элементами сварной конструкции, имеющей неравномерное поле остаточных напряжений (ОН), а также разработка методов повышения эффективности ВО, основанная на данной гипотезе.

Снижение энергоемкости при производстве сварных конструкций является актуальной задачей, поскольку большие затраты энергии на изготовление продукции в условиях удорожания энергоносителей делают ее неконкурентоспособной. Одним из основных факторов, который определяет работоспособность сварных конструкций, является их точность, геометрическая стабильность и стойкость к разрушению, которые в большой степени зависят от уровня и распределения ОН. Поэтому мероприятиям по снижению и благоприятному перераспределению ОН уделяют пристальное внимание. Часто рациональное конструирование и оптимизация технологического процесса изготовления не позволяют достичь требуемого уровня и распределения ОН в конструкции. В этом

случае используют послесварочную обработку, которая в основном сводится к общей или местной термообработке конструкции. При изготовлении реальных сложных конструкций может потребоваться неоднократная стабилизация и снижение ОН перед отдельными технологическими переходами и на операции по регулированию ОН может приходиться до 50 % всех затрат на изготовление конструкции и до 80 % затрат энергии. В связи с вышеизложенным, важной проблемой является разработка и совершенствование методов обработки конструкций с целью регулирования ОН, не требующих значительных затрат энергии. Одним из перспективных направлений является обработка сварных конструкций с использованием энергии вынужденных механических колебаний, также называемая вибрационной обработкой. Данный метод требует значительно меньших затрат энергии и более привлекателен с точки зрения внедрения в производство по сравнению с другими [1, 2].

Проблеме усовершенствования процессов и оборудования для ВО посвящено множество публикаций, начиная с 60-х годов прошлого века и по настоящее время. Авторами было проанализировано более 80 публикаций на данную тему и выявлен ряд закономерностей. Многие публикации противоречат друг другу как в оценке эффективности снижения ОН после ВО. Авторы [3, 4, 5] отмечают значительное снижение общего уровня ОН после ВО; [6] говорят только о снижении напряжений 2-го рода; [7, 8] отмечают, что после ВО произошло лишь перераспределение ОН и уменьшение их концентрации без снижения общего уровня; [9] указывают, что произошла размерная стабилизация и повысилась стойкость конструкции к трещинообразованию. При определении механизмов снижения напряжений некоторые авторы считают, что ОН снижаются за счет локальной пластической деформации при превышении предела текучести суммарных (остаточных и вибрационных) напряжений [7, 10], другие указывают на важную роль виброползучести в перемещении дислокаций и изменении ОН [6, 11]. Относительно параметров обработки конструкций также нет общего мнения. Неясны принципы выбора частот обработки из всего спектра резонансных частот изделия, нет единой методики по определению схем закрепления и мест установки вибратора и пр.

По мнению авторов статьи, подобная ситуация сложилась потому, что практически все исследования процессов ВО проводили на отдельных, совершенно различных изделиях. В основном разработки носили прикладной характер. Измерения ОН до и после обработки производили косвенными ненадежными методами, и только в отдельных точках конструкции, что не позволяет на основе этих экспериментальных данных создать модель процесса ВО.

При определении области использования и рациональных режимов ВО сварных изделий основная проблема заключается в том, что на сегодняшний день не существует единой гипотезы, которая бы удовлетворительно объясняла процессы, происходящие в конструкции с неравномерным распределением ОН при ее ВО. Например, совершенно непонятным остается механизм взаимодействия дислокаций с волнами низкой частоты (10 – 200 Гц), которые возникают при ВО. Если считать перемещение дислокаций основным механизмом снижения ОН при ВО, что подтверждается результатами экспериментов [3, 12], то необходимо признать невозможность непосредственного влияния на них волн, длина которых на несколько порядков превышает длину дислокации. В то же время при ВО даже в случае, когда суммарные напряжения не превышают предел выносливости, происходит перераспределение ОН. Подобная же картина имеет место при обработке на нескольких частотах, при которой на каждой частоте ВО проводят до стабилизации уровня ОН, а затем обработка на следующей резонансной частоте инициирует процесс локальной пластической деформации

и снижения ОН вновь. При длине волн сравнимых или больших длины изделия такой процесс необъясним. Также необъяснимым является и указанный некоторыми авторами [13] «эффективный радиус действия вибратора» (термин предложен авторами данной статьи) который значительно меньше длины волны им инициируемой.

Известно, что для эффективного взаимодействия с объектом волны должны иметь длину, сравнимую с размером объекта. Например, размеры зерен в стали Ст 3 могут колебаться в пределе 10^{-4} - 10^{-7} м. При ВО на частотах 10-200 Гц длина волны имеет порядок $10^3 - 10^4$ м, а для эффективного воздействия на зерна металла или дислокации длина волн должна составлять величины $10^{-5} - 10^{-6}$ м. Также известно, что при поглощении ультразвуковых колебаний дислокации получают дополнительную энергию и их подвижность значительно увеличивается (акустопластический эффект), причем увеличение подвижности дислокаций сохраняется некоторое время после обработки. Т.е. при меньших напряжениях дислокации способны к преодолению большего пути, и пластическая деформация металла происходит в большей степени и при меньших напряжениях. К тому же при колебательных процессах степень пластической деформации дополнительно усиливается за счет эффекта Баушингера. Поскольку в сварных конструкциях ОН имеют значительную величину (в активной зоне – близки к пределу текучести), то при увеличении подвижности дислокаций происходит их сдвиг и, как следствие, перераспределение ОН. Если считать, что при ВО на структурные составляющие металла конструкции воздействуют ультразвуковые волны, то становится понятным положительное влияние ВО на массивные жесткие изделия, в которых даже при колебаниях на резонансных режимах уровень напряжений не достигает предела, необходимого для протекания пластической деформации [7]. Предположение о воздействии на структуру металла коротких волн, также может объяснить целесообразность ВО в несколько этапов, которую рекомендуют многие авторы для массивных конструкций. Подобную обработку можно представить себе, как двухстадийный процесс, при котором на первой стадии идет накачка энергией дислокаций, а на втором (при вылеживании изделия в паузах между ВО) происходит массовое перемещение дислокаций и снижение уровня ОН. Кроме того, объясняется сходство результатов, полученных при обработке низкими частотами и ультразвуковой обработке сварных конструкций.

Основным вопросом, который возникает, если принять предположение о наличии в изделии волн высокой частоты при низкочастотной ВО является вопрос об источнике этих высокочастотных колебаний. Ответом на данный вопрос может стать природа волновых процессов. Как известно, гармонические колебания подчиняются уравнению вида (1).

$$x = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

где A – амплитуда колебаний, ω - круговая частота, φ - начальная фаза.

Энергетическое воздействие волнового процесса из низкочастотного переходит в высокочастотную часть спектра за счет разложения колебаний вибратора в ряд Фурье [14]. Полигармонические колебания слагаются из нескольких гармонических колебаний. Если периоды всех слагаемых колебаний соизмеримы, то общее движение в конечном счете будет периодическим, если эти периоды несоизмеримы, то движение будет почти периодическим. Каждая из отдельных слагающих гармонических колебаний называется гармоникой. Совокупность частот всех гармоник, входящих в суммарное движение, называется спектром частот процесса. В зависимости от характера возбуждения спектр может быть

дискретным, т. е. состоящим из одной или нескольких отдельных, расположенных в некотором интервале друг от друга частот, или непрерывным, т. е. сплошным (рис. 1, а), или полосовым (рис. 1, б), при бесконечном числе гармоник. Сложения двух гармонических колебаний с близкими периодами называется биением (рис. 2). Если предположить, что амплитуды и начальные фазы этих колебаний одинаковы, а частоты ω_1 и ω_2 близки друг к другу, то получим (5):

$$x = A \sin \omega_1 t + A \sin \omega_2 t = A \sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t, \quad (5)$$

Движение приобретет вид синусоидального, но с частотой $\omega = (\omega_1 + \omega_2)/2$ и амплитудой, меняющейся с частотой $(\omega_1 - \omega_2)/2$, или с периодом, равным $4\pi/(\omega_1 - \omega_2)$, т. е. с большим периодом по сравнению с периодом основного движения. Вообще термин «гармоники» во всех изученных авторами литературных источниках встречается только 2 раза [4, 7]. Это свидетельствует, что изучением гармоник при ВО никто серьезно не занимался. При разложении колебаний вибратора в ряд Фурье частоты гармоник оказываются различными, и не все из них могут эффективно взаимодействовать со структурными составляющими и дислокационным полем металла. Однако часть из них будет совпадать с собственными частотами колебаний фазовых составляющих и дислокаций металла. Именно эти эффективные гармоники высокого порядка (ЭГВП) и приводят к процессам пластической деформации и снижения ОН.

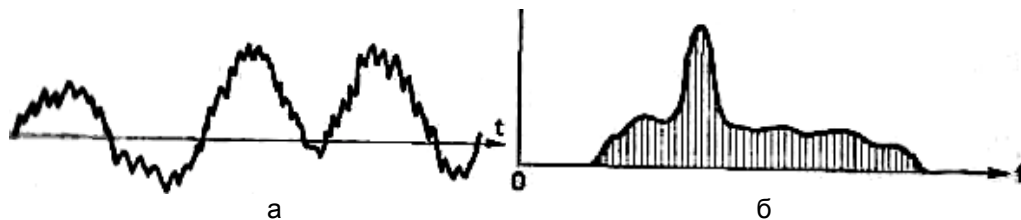


Рис.1. Частотные спектры: а – сплошной, б - полосовой

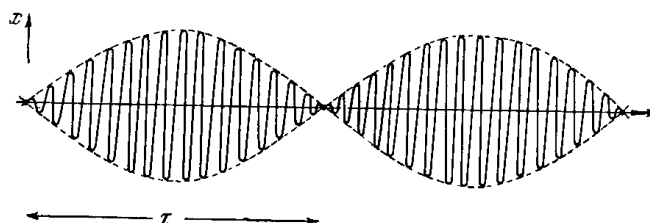


Рис. 2. Биение

Суммарный эффект от действия полигармонической силы будет выражаться суммой местных эффектов от каждой гармоники спектра.

$$P(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t)), \quad (6)$$

где $\omega_n = n * \omega$ - частота гармоник;

$\omega = 2\pi/T$ - частота первой гармоники;

A_n, B_n - начальные амплитуды гармоник.

Наличие гармоник при ВО в отдельных случаях фиксировалось датчиками [7]. Датчики вибрации были размещены на изделии в продольном и поперечном направлении относительно приложения виброн нагружения (ВН). На (рис. 3, а) отчетливо видно осциллограмму, полученную с датчика поперечного силового воздействия вибратора на изделие, причем измеренная частота равна частоте ВН. Совершенно иная картина на датчике продольного ВН (рис. 3, б). Неравномерно возрастающая и убывающая синусоида - это не что иное, как сплошной, непрерывный спектр с бесконечным числом гармоник (рис 1, а). На осциллограмме поперечного датчика этого эффекта не наблюдается из-за доминирующей частоты воздействия вибратора на изделие. Частотный состав спектра трудно прогнозировать из-за того, что изделия зачастую имеют сложную форму. Многократное отражение от границ изделия, дефектов и изменение макроструктуры металла в процессе обработки вызывает появление новых гармоник в спектре и соответственно новых резонансов. Исходя из вышесказанного, можно предположить, что ЭГВП более интенсивно проявляются в направлениях колебаний изделия, отличных от основного (задаваемого вибратором).

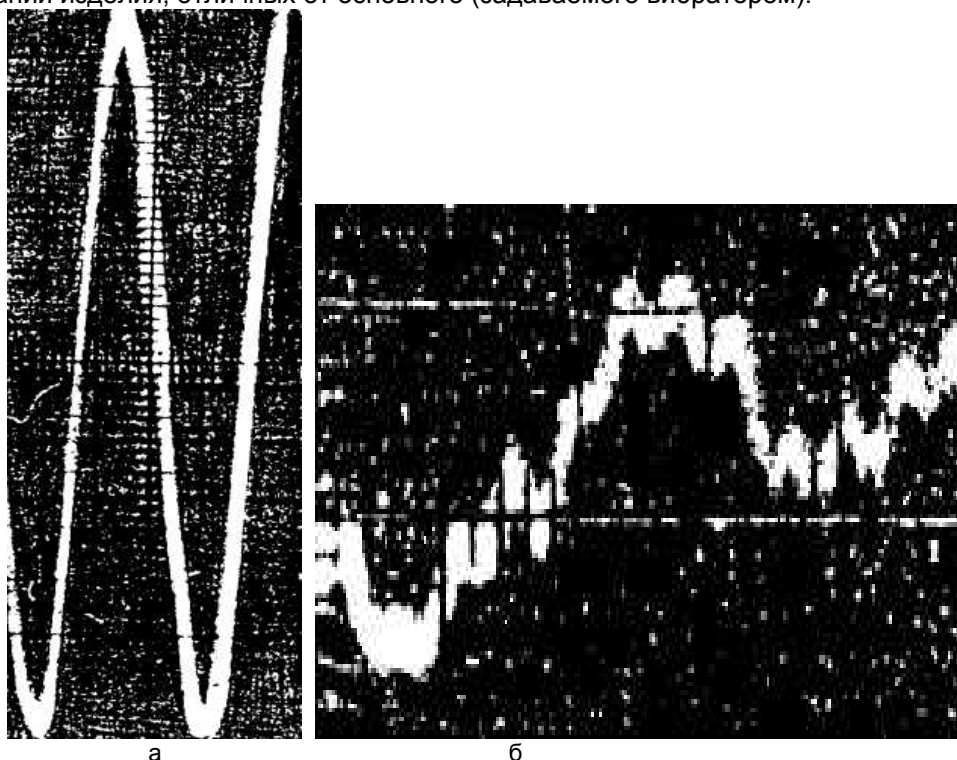


Рис. 3. Осциллограммы режимов колебаний:
а - датчик поперечного ВН, б - датчик продольного ВН

Проанализировать спектр по всем частотам, включая ультразвуковые, сложно, поскольку датчики вибраций в стандартных установках не рассчитаны на регистрацию колебаний высокой частоты, и они этих гармоник, как правило, не регистрируют. В основном оборудование для виброобработки комплектуется пьезоэлектрическим датчиком с максимальной частотой измерения 1000Гц, которым можно промерять менее 1% спектра резонансных частот изделия.

В литературе описан пример обработки зубчатого колеса (изготовленного из стали 45, диаметр колеса – 210 мм, высота зуба 15 мм, толщина – 20 мм) закрепленного на массивной плите [7]. Резонансная частота при такой обработке

определяется для системы образец-плита в целом и естественно подобная частота не соотносится с собственными частотами образца, а, следовательно, не вызывает в нем высоких вибрационных напряжений. Однако, ЭГВП свободно распространяясь в теле образца, способны снижать уровень ОН в нем. Гармонические колебания в изделии возбуждаются во всем спектре. При этом создавать прогибы изделия не обязательно. Этот вывод согласуется с теорией затухания колебаний, по которой максимум на кривой затухания наблюдается в области максимального поглощения энергии колебаний кристаллитами согласно выражению (7) [15].

$$\lambda \approx d, \quad (7)$$

где λ - длина волны вынужденных колебаний; d - средний диаметр кристаллитов.

Так как высокочастотные колебания затухают на сравнительно небольшом расстоянии от источника, то этим можно объяснить понятие «радиус эффективного действия вибратора», который зависит от способности материала поглощать энергию колебаний (для низколегированных и углеродистых сталей – 3 м, для аустенитных - не более 1,5) [13]. О перераспределении энергии можно судить по выравниванию амплитуд спектра резонансных колебаний системы. Из литературных источников известно, что при обработке сварных изделий вибрацией происходят структурные изменения сварного шва и зоны термического влияния. Всплески амплитуд гармоник показывают на превращения, проходящие в этих зонах (рис. 4) [7].

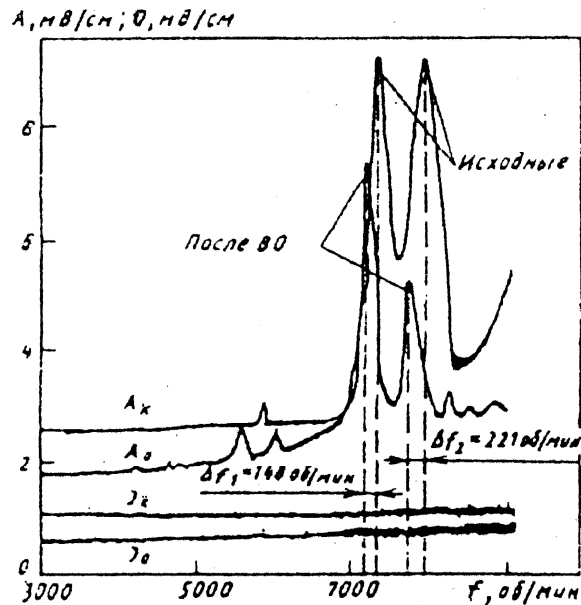


Рис. 4. Амплитудочастотные характеристики (АЧХ) при ВО изделия

Для обработки изделия гармоническими колебаниями, необходимо из всех частот спектра выбрать частоты с максимальными амплитудами и вычислить среднюю частоту вынужденных колебаний вибратора, удовлетворяющую выражению (6). Используя понятие «радиус эффективного действия вибратора», можно говорить о более эффективной обработке изделий с высокой жесткостью.

Просчитав наиболее жесткие места в конструкции и устанавливая вибратор как можно ближе к ним, можно достичь максимальной плотности ЭГВП в этой зоне. Таким образом, снижение ОН достигается с минимальными прогибами конструкции при низком уровне вибрационных напряжений [16]. Можно предположить, что максимальная амплитуда вынужденных колебаний изделия будет меньше, чем при обработке на первых гармониках, а время обработки возрастет. Но при таких режимах обработки гарантировано выполнится условие релаксации остаточных напряжений по всей площади изделия. Низкочастотную ВО можно представить как совместное действие вибраций низкой частоты, которые вызывают появление макронапряжений, определяемых величиной возмущающей силы и жесткостью конструкции, а также ЭГВП, которые увеличивают подвижность дислокаций и изменение структуры металла и тем самым повышают эффективность ВО. При этом низкочастотная составляющая воздействует на изделие целиком, а ЭГВП на зерна, фазовые составляющие и дислокационные поля в металле.

Выводы. С целью подтверждения данной гипотезы необходимо провести исследования колебаний с использованием датчиков, которые позволяют исследовать более широкий спектральный диапазон частот, включая и ультразвук.

Для исследования процессов перераспределения и снижения ОН в сварных конструкциях необходимо измерение ОН до обработки и после по всему телу изделия, а не в отдельных точках. Количество данных должно быть большим и пригодным к статистической обработке.

Необходимо отдельно фиксировать уровень напряжений 1-го и 2-го рода до ВО и после ее.

При осуществлении ВО сварных конструкций необходимо вначале определить места установки вибраторов, которые дают максимальную плотность ЭГВП в месте концентрации напряжений или самых жестких частях обрабатываемого изделия, в которых обработка колебаниями низкой частоты не дает нужного эффекта.

Литература

1. Жидков А.Б., Буйновский А.Н. Методика оценки методов снижения остаточных напряжений в сварных конструкциях // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: «Технічні науки» - 2005. - № 55/78. – С. 92-97.
2. Зубченко О.И. Исследование и разработка способов устранения остаточных напряжений в сварных конструкциях вибрационным и ультразвуковым нагружением. – Автореф. к.т.н. , ИЭС, 1974
3. Зубченко О.И., Грузд А.А., Орехов Г.Т., Состин А.Г.. Применение вибрационного нагружения для снятия остаточных напряжений в сварных рамах. // Автоматическая сварка, - 1974 - № 9. – С. 64 – 66.
4. Полнов В.Г., Могильнер М.Н.. Определение режимов вибрационной обработки сварных конструкций с целью снижения остаточных напряжений. // Сварочное производство, - 1984. - № 2. – С. 32 - 33.
5. Сутырин Г.В., Банцерж Н.Э., Белосельский В.С., Смирнов В.Г., Лобицкий В.Г. Влияние вибрации низкой частоты на величину остаточных напряжений и деформаций при сварке. // Сварочное производство, - 1973. - № 6. – С. 31 - 32
6. Соломатин В.Е., Изюрьев И.М., Бабина Ф.М.. Влияние низкочастотной виброобработки на свойства сварных соединений стали 16Д. // Автоматическая сварка, - 1984 - № 2. – С. 72 – 73.
7. Дрыга А.И. Вибростабилизирующая обработка сварных и литых деталей в машиностроении: Теория, исследования, технология / Донбасская гос. машиностроительная академия. - Краматорск : ДГМА, 2004. - 167с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 155-167.
8. Штефан В.И., Тентлер А.В., Подольский В.Е. (ФГУП МП «ЗВЕЗДОЧКА») Управление процессом снятия остаточных механических напряжений в стальных конструкциях на ФГУП МП «ЗВЕЗДОЧКА» с помощью приборов «Комплекс-2.05» <http://td.ru/content/view/15/21/>

9. Шпеер Ф.З., Панов В.И.. Вибрационная обработка крупногабаритных конструкций с целью уменьшения деформации и склонности к образованию трещин. // Сварочное производство, - 1983. - № 5. – С. 13 - 15.
10. Лашенко Г.И.. Виброобработка сварных машиностроительных конструкций. // Сварочное производство, - 1992. - № 12. – С. 3 - 4.
11. Махненко В.И., Пивторак Н.И.. Перераспределение остаточных напряжений в сварных балках при вибрационной обработке. // Автоматическая сварка, - 1978 - № 9. – С. 28 – 31.
12. Нашивочников В.В. Разработка и исследование метода устранения деформаций вибрацией с нагружением. – Автореф., к.т.н., МВТУ им. Батмана, 1978.
13. Петров А.Ф. Вибрационная обработка деталей для снятия напряжений. // Металловедение и термическая обработка металлов, - 1990. - № 1. – С. 45.
14. Шеремет А.И. Совершенствование автоматизированной электромеханической системы для виброобработки металлических деталей. Авторе. дис... канд. техн. наук: 05.26.2005 // Донбасская государственная машиностроительная академия. - Краматорск, 2005. – 20с.
15. Егоров Н.Н. Затухание волн Релея в упругом слое на полупространстве.// Труды Института физики земли, АН СССР, - 1962,- №20.
16. Басов Г.Г., Ткаченко О.М., Паненко Р.М., А.Б. Жидков. Обробка бічної частини рам візків дизель-потягу з використанням вібрації // Вісник СХУ ім. В.Далія – 2003. - № 11. - С. 14 – 19

УДК 621.74

Ю.И.Гутько, И.А.Шалевская

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ УГЛЕБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье приведен анализ функциональных исследований износостойкости литых деталей углебогатительного оборудования. Показано, что применение в качестве основного легирующего элемента хрома в спецсплаве для отливки рабочих колес углесоса, позволяет улучшить их эксплуатационные характеристики. Рис. 1. Ист. 7.

Проблема повышения срока службы машин является весьма актуальной задачей науки и техники. Срок службы быстроизнашивающихся деталей определяет рентабельность многих дорогостоящих машин. Частые остановки оборудования для замены вышедших из строя деталей новыми приводят к значительному снижению производительности труда, качества продукции, нарушают ритмичность производства, вызывают непроизводительные затраты металла на изготовление сменных частей, создают необходимость в содержании специальных ремонтных бригад, затрудняют, а иногда и совершенно исключают возможность механизации и автоматизации производства. Все это наносит народному хозяйству колоссальный материальный ущерб [1].

Наиболее сильно подвержены изнашиванию детали, непосредственно контактирующие с абразивной средой в процессе эксплуатации.

Износостойкость литых деталей углебогатительного оборудования – одних из важнейших эксплуатационных показателей. В зависимости от технических требований к целевым продуктам, физико-механических свойств и фракционного состава частиц твердой фазы разделяемых и пропускаемых суспензий быстроизнашиваемые детали изготавливают из различных материалов. При этом обеспечивается возможность применения их для разделения агрессивных сред, а также сред с абразивной твердой фазой.

Износ литых деталей углеобогачительного оборудования зависит от многих факторов: минерального состава твердой пульпы, давления и скорости движения пульпы.

В последние годы актуальным является вопрос применения для изготовления наиболее быстроизнашиваемых литых деталей углеобогачительного оборудования недефицитных и имеющих сравнительно невысокую стоимость материалов.

Современные тенденции интенсификации производственных процессов, увеличения рабочих давлений, скорости, температуры приводят к ускорению изнашивания деталей, в сочетании с необходимостью автоматизации производства, делают проблему повышения долговечности быстроизнашиваемых узлов машин еще более острой. В настоящее время интенсивно проводятся работы по изучению особенностей взаимодействия абразивных тел с рабочей поверхностью детали, разработке новых износостойких материалов и методов повышения их сопротивляемости изнашиванию [2].

Цель работы

На основе анализа закономерностей абразивного изнашивания деталей углеобогачительного оборудования разработать рекомендации по повышению их износостойкости.

Материал и результаты исследования

Изучение фундаментальных исследований позволило выявить некоторые закономерности абразивного изнашивания металлов. Практическое использование полученных результатов позволяет значительно увеличить износостойкость быстроизнашиваемых деталей, эксплуатирующихся в абразивной среде.

Теоретические положения, сформулированные в трудах отечественных и зарубежных ученых, служат многим исследователям основой для разработки программы направленного изучения износа деталей машин с целью дальнейшего повышения их сопротивляемости изнашиванию в разнообразных конкретных условиях эксплуатации [3].

Для изготовления быстроизнашиваемых деталей используется много различных материалов. В целях увеличения долговечности машин применяются сложные по составу сплавы, содержащие дефицитные и дорогостоящие легирующие элементы. В некоторых случаях сложнолегированные стали применяются для условий, в которых не используются все возможности, заложенные в них легированием. Известно, что износостойкость материалов в очень сильной степени зависит от условий работы изготовленных из них деталей. В результате одни и те же материалы, в изделиях подверженных абразивному воздействию не одинаковых по составу и свойствам сред, проявляют различную способность к сопротивлению изнашиванию. Наличие противоречивых сведений о влиянии различных факторов на сопротивляемость сплавов абразивному изнашиванию при почти полном отсутствии исследований износостойкости материалов в производственных условиях эксплуатации оборудования создает значительные затруднения при выборе для быстроизнашиваемых деталей материалов с оптимальной структурой, составом и свойствами [4].

Эксплуатация горных машин связана с интенсивным износом добывающего и обогащающего оборудования, размольных мельниц и средств транспортировки абразивной массы. Для работы в условиях интенсивного абразивного износа весьма перспективны износостойкие хромистые сплавы.

Объективные данные о работоспособности материалов при изнашивании могут быть получены только при комплексном исследовании как химического и структурного состава и свойств стали, так и химического и минералогического

состава и свойств абразивной среды, а также внешних условий – температуры и давления абразивных тел на рабочую поверхность детали.

Эффективность применения материалов для изготовления быстроизнашиваемых деталей и технологии их упрочнения весьма зависит от того, насколько полно учтены особенности эксплуатации оборудования, характер изнашивающего воздействия, испытываемого деталью со стороны перерабатываемых материалов, и степень абразивности этих материалов [5].

Необходимы направленные исследования особенностей реакции металла на воздействие абразивных тел, выявление механизма разрушения структурных составляющих сплавов при абразивном изнашивании. Комплексное использование производственных и лабораторных методов изучения изнашивания, а также исследование изменений тонкой структуры металла в рабочем слое и аналитический расчет величины энергии, затрачиваемой на осуществление каждого из элементарных процессов в металле, составляющих акт изнашивания, помогут выявить те свойства, которые в наибольшей мере контролируют его способность к сопротивлению разрушительной работе абразивов. Разработка модели абразивного изнашивания и количественная оценка каждого из явлений, предшествующих и сопровождающих разрушению металла абразивами, обуславливает более глубокое раскрытие природы сопротивления сплавов изнашиванию, что позволит повысить эффективность упрочнение материалов для быстроизнашиваемых деталей и даст возможность полнее реализовать защитные силы металла и управлять его износостойкостью в заданных условиях эксплуатации.

В углеобогащительном производстве один из путей повышения эффективности оборудования является применение износостойких легированных сплавов.

Основным требованием, предъявляемым к разработке этих сплавов, является высокая абразивно-коррозионная стойкость, технологичность на всех операциях при изготовлении: отливке, механообработке, термообработке.

Сплав, также, должен содержать возможно меньший процент легирующих элементов и не иметь в своем составе дефицитных материалов (никель, молибден, кобальт). Сплав должен относиться к сталям, что позволяет повысить прочность и вязкость, обеспечивающую сопротивляемость материала ударным нагрузкам и достигнуть удовлетворительную обрабатываемость резанием. Сталь должна быть высоколегированная, аустенитного класса, имеющая следующую микроструктуру в закаленном состоянии: основа аустенит и включения сложных карбидов типа $(Cr, Fe)_3C$ и $(Cr, Fe)_7C_3$. Такая структура обеспечит достаточно высокие свойства сопротивления абразивным воздействиям угольных частиц.

В настоящее время в углеобогащении для деталей и машин, подвергающихся при эксплуатации абразивно-коррозионному износу, применяются различные железоуглеродистые сплавы, легированные хромом, никелем, молибденом.

В качестве основного легирующего элемента выбран хром: он относительно недефицитен по сравнению с другими карбидообразующими элементами, такими как ванадий, титан, вольфрам. Карбиды хрома по твердости несколько уступают карбидам этих элементов, однако, для машин, перерабатывающих сырье с микротвердостью $H50=1000$, хромистые спецсплавы вполне конкурентоспособны.

Для исследования износостойкости разработанного спецсплава выбрана отливка рабочего колеса углесоса (рис. 1).

Разработанная марка сплава относится к заэвтектидным сталям.

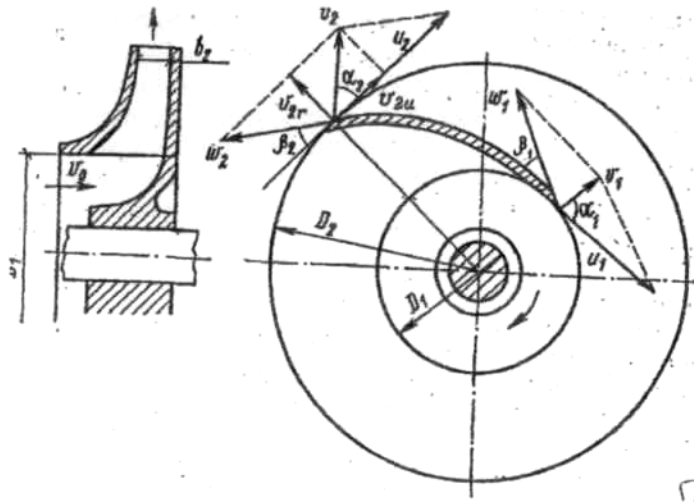


Рис. 1. Схема движения жидкости в рабочем колесе углесоса [7]

Транспортируемый материал (по данным ГОФ «Луганская»):

- марка угля: Дг,Г;
- Крупность: до 3мм;
- плотность: 120г/л;
- количество: 108 т/ч.

В процессе промышленных испытаний на ГОФ «Луганская» рабочих колес углесоса, отлитых из спецсплава, показали, что конструкция колеса изготовленная ЗАО «Луганский машиностроительный завод им. А.Я.Пархоменко» из высокохромистого сплава, является взаимозаменяемой с колесами, выпускаемыми различными предприятиями на углесос У900/90. Колесо было установлено на углесос инв. №460-127 сентября 2001г. И находилось в постоянной эксплуатации до 27.03.2002 г. С 27.03.2002 г. Экспериментальное колесо было переустановлено на углесос У900/90 инв.№461-2. Экспериментальное колесо углесоса снято с эксплуатации 20.10.2002 г. По причине износа и возвращено на ЗАО «Луганский машиностроительный завод им. А.Я.Пархоменко» для изучения и выдачи рекомендаций по дальнейшему производству колес данного типа. Режим эксплуатации - не менее 20 часов в сутки, кроме общей остановки фабрики. Общая наработка составила – 2469 часов (по данным журнала учета ГОФ «Луганская»).

Колесо обеспечивает характеристики углесоса по показателям назначения (производительности и нагнетанию).

Испытания показали, что показатели надежности, установленные ГОСТ27.022 и изложенные в эксплуатационной документации агрегата углесосного УЦ-900/85, гарантийный срок эксплуатации – 6 месяцев, соответствует ГОСТ27.002. Дополнительной поставке рабочего колеса углесоса для обеспечения гарантийного срока эксплуатации в комплекте запасных частей не требуется (другие заводы-изготовители на гарантийный срок эксплуатации 6 месяцев поставляют с углесосом одно рабочее колесо в ЗИП).

Вывод. Представленный в статье спецсплав у которого в качестве основного легирующего элемента выбран хром обладает повышенной износостойкостью. Промышленные испытания рабочего колеса углесоса, отлитого из указанного спецсплава, подтвердили объективность проведенных исследований.

Литература

1. Троцкий В.В. Промывка и обесшламливание полезных ископаемых. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 280 с.
2. Попов В.С, Брыков И.Н. износостойкость сталей и сплавов : - 3.: ВПК «Запоріжжя», 1996. – 180 с.
3. Рожкова Е.В., Румянцев В.В. Романов О.М. Трещалин А.В, Износостойкие хромистые сплавы // металлургия машиностроения. – 2002. - №1. – С. 19–21.
4. Рожкова Е.В., Романов О.М. Оптимизация составов износостойких хромистых чугунов // МИТОМ. – 1983. - №10.
5. Болдырев В.Е. Повышение износоустойчивости оборудования обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1970. – 270с.
6. Тарасенко А.А., Чижик Е.Ф., Взоров А.А. и др. защитные футеровки и покрытия оборудования горно-обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1985. – 204 с.
7. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции: Учебник.- 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.

УДК 621.73

О.В.Нахайчук

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ РАЗРУШЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ЗАГОТОВОК

В работе даны рекомендации по выбору критериев разрушения для определения значений использованного ресурса пластичности в областях заготовок, наиболее близких к разрушению. Представлены результаты расчётов по различным критериям для деформируемой области поршня относительно процесса закатки пары поршень-шатун аксиально-роторного насоса. Рис. 6. Ист. 11.

Деформирование тел в процессе обработки давлением сопровождается активным накоплением микроповреждений, поэтому прогнозирование предельных возможностей изделий представляет большой интерес. Один из подходов к решению этой проблемы основан на гипотезе о суммировании пластических повреждений в процессе деформирования металла. Предполагается, что повреждение, вызванное приращением деформаций при данной схеме напряжённого состояния, не зависит от деформированных состояний в предыдущие моменты нагружения. Гипотеза о линейном суммировании пластических повреждений, мерой накопления которых принято считать использованный ресурс пластичности ψ , приводит к созданию критериев деформируемости [1-6]. Полагают, что в необработанных материалах повреждения отсутствуют ($\psi = 0$), затем в процессе обработки давлением и при эксплуатации изделия они накапливаются. Ко времени исчерпания работоспособности принимается, что накопилось критическое количество микроповреждений – в таком случае $\psi = 1$.

С учётом того, что оценка запаса пластичности заготовок, формируемых в процессах холодной обработки металлов давлением может быть осуществлена с применением различных разработанных критериев разрушения, представляет практический интерес выбор того или иного критерия для каждого конкретного технологического процесса. В некоторых случаях практика применения критериев показывает, что ни один из них не даёт надёжных результатов как при оценках предельных деформаций, так и использованных ресурсов пластичности, что особо можно отнести к процессам обработки металлов давлением, сопрово-

ждающихся немонотонным деформированием в условиях объёмного напряжённого состояния.

В наших исследованиях [7, 8] представлено рассогласование расчётов значений использованного ресурса пластичности для опасной области деформирования (наиболее близкой к разрушению) относительно процесса формирования внутреннего шлицевого профиля трубных заготовок при их обжатии на оправках. В данной работе приведены результаты исследования запаса пластичности в наиболее деформируемой области при реализации процесса закатки пары поршень-шатун аксиально-роторного поршневого насоса. В ЗАО “Стройгидравлика” (г. Одесса) разработан процесс закатки трубной заготовки (рис. 1): барабан 1 вращает заготовку 2; одновременно инструмент 3 совершает вращательно-поступальное движение. В результате внедрения инструмента в заготовку образуется профиль, соответствующий паре поршень – шатун аксиально-роторного поршневого насоса серии 310 (рис. 2). Одним из требований к качеству данного изделия является обеспечение прочности в области закатки, поскольку данная пара работает в условиях знакопеременных нагрузок и больших (порядка 30 МПа) значений давлений.

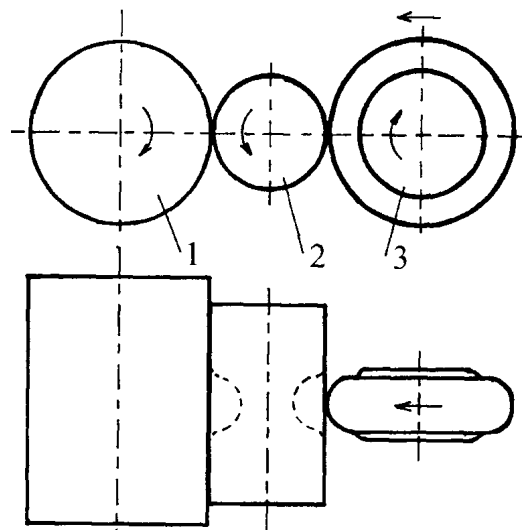


Рис. 1. Процесс закатки, разработанный в ЗАО “Стройгидравлика”

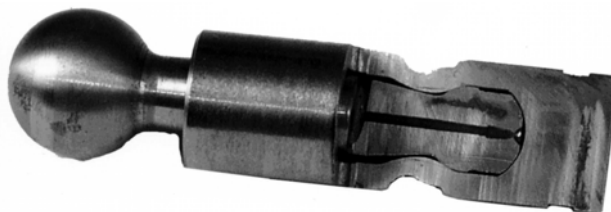


Рис. 2. Разрез соединения поршень-шатун в собранном состоянии

Операция закатки формирует технологическую наследственность изделия: упрочнение деформируемого металла, распределение остаточных напряжений, необходимый осевой зазор между поршнем и шатуном, размер зёрен металла после термообработки в зависимости от уровня накопления деформаций и др. С целью обеспечения благоприятной технологической наследственности, а также получения необходимого зазора между поршнем и шатуном после закатки-

Расчёты по определению использованного ресурса пластичности были проведены по критериям [2, 4, 10, 11]. В качестве примера на рис. 5. представлены расхождения данных (порядка 30-35%) для точки 22 (рис. 3, 4). Из рис. 4 следует, что производная $d\bar{\epsilon}_u / d\eta$ меняет знак вдоль пути деформирования данной точки. Экспериментальные металлографические исследования показали наличие макродефектов в области данной точки (рис. 6).

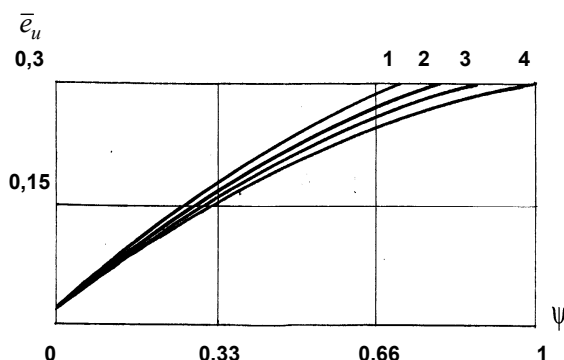


Рис. 5. Расхождения данных расчетов по критериям: кривая 1 соответствует [2], 2 – [10], 3 – [4], 4 – [11]

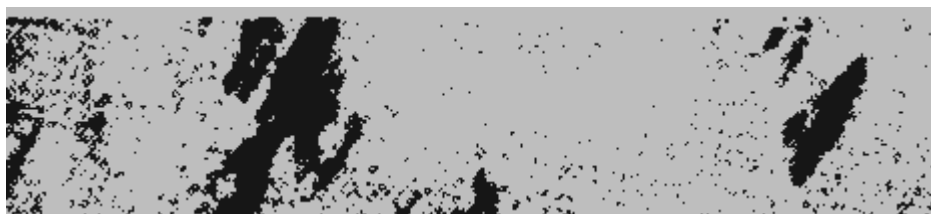


Рис. 6. Опасная область деформирования в окрестности точки 22 (×100)

Согласно данным, приведённым в работах [5, 6], для случаев, когда путь деформирования опасной области имеет линейный характер или является траекторией малой кривизны, расхождение результатов расчетов значений ψ по критериям [2, 4, 10] для различных процессов обработки металлов давлением составляет не более 10 – 15 %.

Представленные результаты указывают на то, что при изучении процессов, в которых формообразование заготовок происходит в условиях сложного нагружения и немонотонного деформирования, необходимо применять критерии разрушения, в основу которых положен тензорный аппарат накопления повреждений.

Выводы. 1. Анализ результатов расчетов по различным критериям деформируемости показал, что их точность зависит от особенностей технологического процесса, а именно от знака приращений показателей напряжённого состояния с ростом степени деформации, а также от истории деформирования частиц в опасных областях заготовок.

2. При исследовании процессов, в которых имеет место сложное нагружение в условиях объёмного напряжённого состояния, целесообразно использовать критерии, позволяющие учитывать особенности процесса накопления и заживления повреждений.

3. При применении критериев разрушения для оценки качества изделий машиностроения исследуемые процессы можно классифицировать по характеру деформируемости заготовок в опасных областях.

Литература

1. Ильющин А.А. Об одной теории длительной прочности // Механика твёрдого тела. – 1967. – № 13. – С. 21–25.
2. Смирнов-Аляев Г. А. Механические основы пластической обработки металлов. М.: Машиностроение, 1968. – 272 с.
3. Колмогоров В. Л. Напряжения, деформации, разрушение. – М.: Ме-таллургия, 1970. – 229 с.
4. Дель Г.Д. Пластичность деформированного металла // Физика и техника высоких давлений. – 1983. – № 11. – С. 28–32.
5. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. – К.: Вища школа, 1983. – 175 с.
6. Михалевич В.М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень. Вінниця:
7. “УНІВЕРСУМ - Вінниця”, 1998. – 195 с.
8. Огородников В.А., Нахайчук О.В., Музычук В.И. Приложение теории деформируемости к решению задач механики формирования внутреннего шлицевого профиля обжатием на оправке // Прогрессивные технологии и оборудование кузнечно-штамповочного производства: Сб. науч. трудов междунар. НТК. – МГТУ “МАМИ”, 2003. – С. 66-75.
9. Розенберг О.А., Огородников В.А., Нахайчук О.В. Механика формирования внутреннего шлицевого профиля методом обжатия на оправке // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин: Зб. наук. пр. – Київ: НАН України, ІНМ ім. В. М. Бакуля, 2003. – С. 256-266.
10. Огородников В.А., Нахайчук О.В., Музычук В.И. Исследование процесса закатки поршня с шатуном аксиально-роторного поршневого насоса // Проблемы трибологии. – 2005. – №1(34). – С. 129-133.
11. Дель Г.Д., Огородников В.А., Нахайчук В.Г. Критерий деформируемости металлов при обработке давлением // Изв. вузов. Машиностроение. – 1975. – № 4. – С. 135–140.
12. Нахайчук О. В. Розвиток процесів холодного об'ємного штампування заготовок складного профілю на основі оцінки їх якості в умовах граничного формоутворення: Автореф. дис. ...д.т.н.: (05.03.05) / ДДМА, Краматорськ, 2006. – 35 с.

УДК 629.1

Н.А.Касьянов, А.А.Рыбальченко

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА МАЛЫХ АВТОРЕ- МОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Показана необходимость обеспечения безопасности производства на авторемонтных предприятиях и повышения эффективности системы управления охраной труда в целом. Ист. 12.

Введение. В указе президента Украины «Про невідкладні заходи щодо запобігання виробничого травматизму та професійним захворюванням» від 13 липня 2001 р. № 515 сказано, что обеспечение безопасных и безвредных условий труда на предприятиях, в учреждениях, организациях независимо от формы собственности и видов деятельности, предупреждение производственного трав-

матизма и профессиональных заболеваний является одним из важнейших направлений реализации социальной политики государства.

Снижение уровня травматизма и заболеваемости профессионального характера во всем мире – одна из серьезных задач сегодняшнего дня. Специалисты МОТ подсчитали, что 4% ВВП теряются по причине несчастных случаев и заболеваемости, связанных с трудовой деятельностью [1]. В 2004 г. разработаны «Концептуальні засади програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2006 – 2010 р.р.». Эта программа направлена на реализацию положений Конституции и законов Украины относительно обеспечения охраны труда работников с учетом мирового опыта и формирования в государстве рыночной экономики. Основная цель преобразований этой программы – решение проблем по улучшению состояния безопасности труда, устранению причин несчастных случаев, аварий и профессиональных заболеваний на производстве, создания безопасных и безвредных условий труда.

За последние 10 лет в Украине на производстве травмировано почти 50 тыс. работников, из которых 15 тыс. – смертельно. Если в 2000 г. было зарегистрировано 2600 случаев профессиональных заболеваний, то в 2003 г. – 7300, или почти втрое больше [2]. Государственная политика в области промышленной безопасности и охраны труда основывается на принципах приоритета жизни человека по отношению к результатам производственной деятельности, а состояние промышленной безопасности является тем индикатором, который наряду с техническим состоянием предприятия показывает отношение государства к сохранению трудового потенциала страны.

На многих предприятиях (особенно в структурах негосударственной формы собственности) практически не функционируют системы управления охраной труда, не проводится паспортизация и сертификация безопасного состояния объектов и т.д. Около 40 % от общей численности работников работают в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам и нормативно-правовым актам по охране труда. Обеспеченность работников спецодеждой, спецобувью и другими предметами соответственно действующих норм составляет около 60 % [3].

Анализ состояния охраны труда, причин аварийности и несчастных случаев свидетельствует о том, что переход министерств на функциональные методы управления, передача функций по охране труда непосредственно предприятиям или местным органам власти привели к потере отраслевого управления охраной труда и ослаблению руководством работы относительно создания безопасных и безвредных условий труда. В последние годы к управлению многими предприятиями пришли руководители, которые, имея склонность к предпринимательству, не понимают задач относительно безопасности труда работников и финансируют службы охраны труда по остаточному принципу. Это приводит к сокращению или полной ликвидации этих служб. К сказанному следует добавить, что несовершенство законодательной базы, как и то, что принятые законы и другие законодательные акты не выполняются, обуславливает низкий уровень безопасности работника в нашей стране.

Постановка задачи. В этих условиях, на наш взгляд, только Госнадзор охр. труда в состоянии реально влиять на снижение уровня производственного травматизма, улучшение состояния охраны труда на предприятиях всех форм собственности и отраслей экономики Украины путем внедрения жесткой ответственности работодателей за создание безопасных и безвредных условий труда для сохранения жизни и здоровья людей на производстве.

Задача создания благоприятных условий для эффективного труда, улучшение санитарно-гигиенической обстановки и техники безопасности сводится к

предотвращению или снижению воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов, повышению качества санитарно-бытового обслуживания на производстве.

В процессе трудовой деятельности работник испытывает воздействие свыше 100 тыс. видов химических веществ и их соединений, 200 биологических и около 50 физических факторов [4]. Они в той или иной степени влияют на состояние здоровья работающих, на возникновение профессиональных заболеваний и в определенной степени – на уровень производственного травматизма.

Поэтому представляется целесообразным, с точки зрения обеспечения безопасности работников и для разработки рекомендаций собственникам, исследовать состояние охраны труда на малых и средних авторемонтных или специализирующихся только на ремонте двигателей внутреннего сгорания предприятиях в нынешних условиях рыночных отношений в Украине.

Материалы и результаты исследования. По своему характеру ремонтные работы двигателей часто сложны, трудоемки и опасны, причем уровень опасности при этом тем выше, чем в большем объеме применяются специальные приспособления и инструменты, различные виды обработки, например, сварки.

Опасность – основополагающая категория охраны труда, которая в настоящее время требует и способствует целенаправленному развитию систем управления охраной труда (СУОТ) на предприятии, аттестации рабочих мест по условиям труда, сертификации промышленных объектов, а также снижению затрат на профилактику травматизма.

Безопасность – это защищенность работника от опасностей, источником возникновения которых служат внутренние и внешние противоречия. В толковом словаре указано: «Опасность – возможная угроза чего-либо опасного». Проблема опасности труда при ремонте двигателей может быть успешно решена, если каждый работающий будет иметь целостное представление о ее сущности, источниках и движущих силах, о методах ее своевременного распознавания и предотвращения на каждой операции процесса.

В зависимости от производственных процессов на предприятиях по ремонту автомобильного транспорта имеют место: физические (повышенные – запыленность, загазованность и уровень шума и вибрации, влажность, температура воздуха рабочей зоны, подвижность воздуха, яркость света и др.), химические (токсические и раздражающие), а также психофизиологические (физические и нервно-психические перегрузки) опасные и вредные производственные факторы (ГОСТ 12.0.003 – 74), которые при определенных условиях могут привести к заболеванию или снижению работоспособности, к травмам или другому внезапному ухудшению здоровья. Уменьшение или предотвращение воздействия этих факторов достигается системой организационных, технических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, относящихся к области работ по производственной санитарии и технике безопасности, а в целом – к охране труда.

Улучшение санитарно-гигиенических и производственно-эстетических условий труда и отдыха на ремонтных предприятиях (вентиляции, отопления, освещения, снижения шумов и т.п.), а также обеспечение рационального режима труда и отдыха являются важнейшими факторами повышения уровня охраны труда. Работы по ремонту двигателей – это ремонтно-механические, сварочные и паяльные, окрасочные и др. В связи с разобщенностью рабочих мест и меняющимися условиями ремонтных процессов, малочисленностью звеньев работников и лиц надзора, действенный ведомственный контроль и надзор за этими работами обеспечить не просто. Из-за нехватки специалистов ремонт часто проводят подрядным способом после основного рабочего времени, и персонал в этих условиях действует практически безнадзорно. При этом ремонтники, часто

встречаясь с неординарными ситуациями, принимают по ним самостоятельные решения. Все это требует от них высокой дисциплинированности, профессионализма и организованности, соблюдения правил и инструкций по технике безопасности, организации работ.

Ремонтно-механические работы сопровождаются промывкой и очисткой разобранных деталей и узлов в промывочных ваннах с крышками. В процессе выполнения этих работ выделяются пары щелочных растворов, кислот, растворителей, керосина, которые вызывают раздражение дыхательных путей. Попадание ряда растворителей на кожу может вызвать ожоги, а в лучшем случае – сухость кожи. Вредное действие оказывает пыль, образующаяся при очистке деталей от нагара и ржавчины, поэтому на участках мойки и очистки необходимо принимать специальные меры защиты работников. В воздухе рабочей зоны производственных помещений ремонтных цехов и участков, мастерских, таким образом, могут находиться вредные вещества, концентрация которых превышает предельно-допустимые концентрации (ПДК).

Поэтому такие подразделения ремонтных предприятий должны иметь возможность естественного проветривания, а там, где проводятся сварочные работы или в воздухе содержатся пары масел, нефтепродуктов и растворов мочевой установки, предусматривают принудительную вытяжную вентиляцию. Общая освещенность производственных помещений и рабочих мест при люминесцентном освещении должна быть не менее 150 Лк.

Сварка и наплавка сегодня – способы, получившие самое широкое распространение при ремонте: до 70 % деталей восстанавливают сваркой и наплавкой [5]. В настоящее время известно более 20 видов сварки или работ, близких по технологии к сварке (газорезка, наплавка, напыление, пайка и др.) [6]. Степень применения сварки во многих странах мира определяет технологический уровень производства в целом.

При сварочных и паяльных работах в воздушную среду выделяются ядовитые газы и пары, концентрация которых в рабочей зоне может превышать ПДК в 5 – 20 раз, излучаются инфракрасная и другие радиации с превышением допустимого уровня в 6 – 8 раз, а также образуется магнитное поле, превышающее допустимый уровень до 100 раз. Эти работы отличает также электропожароопасность [7].

При проведении сварочных работ наиболее сложным процессом является защита от отравлений вредными газами, пылью и испарениями флюсов или покрытий электродов, называемых сварочным аэрозолем.

Вредные выделения при сварочном производстве проникают в легкие работающего, приводят к различного рода заболеваниям, снижают производительность труда и, как следствие, ухудшают качество выпускаемой продукции.

Успешность мероприятий по предотвращению заболеваний работников, травм и увечий при ремонте двигателей во многом зависит от самого человека, знаний правил техники безопасности и от строгого их соблюдения. В литературе [8] описаны многочисленные примеры, свидетельствующие о том, что безопасная работа сложной системы больше зависит от человеческого фактора, а не от надежности оборудования. Статистика также свидетельствует о том, что большинство несчастных случаев (60 – 80 %) происходит именно по этим причинам: неудовлетворительный морально–психологический климат (плохое настроение и преждевременное утомление, низкий уровень заработной платы и ее несвоевременная выплата, невнимательное отношение со стороны руководства, пребывание в отпусках по инициативе администрации, ожидание своей очереди на увольнение и др.); отсутствие поощрения за работу без травм и аварий [8]. Работники ремонтных служб через желание выполнить работу любой ценой нару-

шают правила по безопасности труда, а администраторы, ориентируя свои интересы на высокие инстанции, закрывают глаза на нарушения и прячут истинные причины несчастного случая с целью укрывания виновных. К человеческому фактору следует присоединить и нарушения по параметрам микроклимата в производственных помещениях, что также оказывает влияние на человека, а значит, и на производство.

В целом же следует отметить, что при прочих равных условиях уровень безопасности будет тем выше, чем большее число факторов учтется при оценке опасности производства. К этому следует добавить, что на практике работникам, связанным с ремонтом двигателей, следует четко знать и уметь пользоваться методами безопасного выполнения работ. Для этого, на наш взгляд, необходимо подготовку специалистов и рабочих вести на основе стандартизированных документов, как это делается в сварочном производстве развитых стран мира.

В настоящее время ремонтом двигателей занимаются малые предприятия с численностью работников до 50 человек: мастерские, станции технического обслуживания и др. На таких предприятиях уровень травматизма в несколько раз выше, чем на государственных станциях техобслуживания [9]. Существует несколько причин такого положения, но основными из них являются: нежелание работодателей заниматься организацией охраны труда; недостаточные знания последних требований нормативных документов по охране труда; отсутствие на таких предприятиях профсоюзных организаций, коллективных договоров или соглашений по охране труда, которые могли бы в правовой форме закрепить требования по созданию безопасных условий труда; неэффективность и неоперативность контроля со стороны местных органов исполнительной власти и территориальных органов Госнадзорхрантруда вследствие большого количества малых предприятий; отсутствие требовательности работников к условиям труда из-за страха потерять свое рабочее место.

Законодательство по охране труда в Украине ориентировано на большие предприятия, имеющие сформировавшуюся систему организации производства. Малые же предприятия не способны выполнять многие его нормы. Поэтому эту проблему необходимо решать, пересматривая законодательство об охране труда.

Многие считают, что коренной причиной достаточно высокого травматизма, профессиональных заболеваний при ремонте двигателей является низкая эффективность управления предприятиями. Речь идет прежде всего о СУОТ, которая по своей сути представляет собой систему взаимодействия объектов и субъектов трудовой деятельности посредством передачи информации. Она относится к категории социально-производственных систем и по этой причине должна познаваться с помощью философских категорий и методов, в основе которых лежат принципы обратной связи, оптимальности, повышенной ответственности [10]. СУОТ должна обуславливать ответственность за травматизм всех без исключения работников производства, так как в большинстве несчастных случаев определяется только вина предприятия или наоборот – работников без учета вины и строительных проектных организаций и т.п.

Первой попыткой регламентации основных положений по формированию СУОТ на уровне предприятия были «Рекомендации управления охраной труда. Основные положения», утвержденные еще в 1983 г. Современная концепция управления охраной труда в общем построена на основе классических элементов, теоретически присущих системам управления производством. Вместе с тем появились некоторые приоритетные направления в СУОТ, обусловленные современными тенденциями развития производственных и трудовых отношений, связанных со структурными изменениями в экономике, развитием процессов

разгосударствления, образованием новых форм и методов хозяйствования. Все это значительно усложнило управление охраной труда традиционными методами и требует перехода к управлению на качественно новом уровне с учетом более приемлемых в современных условиях форм и методов профилактической работы, а также форм контроля за состоянием охраны труда на производстве и т.д.

Основой для внедрения экономического механизма в управление охраной труда является Закон «Об общеобязательном государственном социальном страховании от несчастного случая на производстве и профессионального заболевания, повлекшего утрату трудоспособности» (2001г.) и Закон «О страховых тарифах на общеобязательном государственном социальном страховании от несчастного случая на производстве» (2001 г.) В этих законодательных актах значительно повышена роль и ответственность работодателя за создание безопасных условий труда на каждом рабочем месте, и предусматривается его непосредственное участие в формировании и обеспечении функционирования СУОТ. В то же время увеличена роль трудового коллектива и профсоюзов в осуществлении общественного контроля за соблюдением законодательства по охране труда через свои выборные органы. Одной из важнейших функций СУОТ является контроль за состоянием охраны труда и функционированием самой системы. Решающую роль в СУОТ играют человеческий фактор, персонал предприятия.

Анализ в некоторых малых автомастерских г. Луганска СУОТ показал, что она малодейственна и на большинстве предприятий существует формально. Основная причина – в показатель состояния охраны труда входят обезличенные коэффициенты, не учитывающие конкретные обязанности рабочих, инженеров, техников и руководителей. На это обстоятельство указывают и другие исследователи [11]. Кроме того, в существующей на предприятиях СУОТ практически отсутствует такая важная составляющая, присущая социальным системам, как психологическая функция управления, хотя известна решающая роль человека в формировании и предупреждении травмоопасных ситуаций. Для этого необходимо использовать самые различные направления работы: обучение, инструктажи, беседы, инструкции по выполнению каждой операции, устная и наглядная пропаганда, другие формы информационного и психологического воздействия. Именно в формировании у работников правил трудоохранных отношений, взглядов, убеждений и психологических установок, разрушении ложных стереотипов поведения путём воздействия на качества личности заложен резерв снижения уровня травматизма.

Ученые и специалисты в области охраны труда в поисках наиболее эффективных способов обеспечения безопасности работников не раз обращались к проблеме совершенствования аттестации рабочих мест по условиям труда. По мнению многих специалистов, решение этой проблемы является, по крайней мере, серьезным шагом к цивилизованным трудовым отношениям, уже сложившимся в большинстве развитых стран.

Аттестация рабочих мест по условиям труда – это система анализа и оценки рабочих мест для проведения оздоровительных мероприятий, ознакомления работников с условиями труда, сертификации производственных объектов, подтверждения или отмены права предоставления компенсации и льгот работникам, занятым на тяжелых работах и работах с вредными и опасными условиями труда. Аттестация рабочих мест по условиям труда включает: гигиеническую оценку существующих условий труда; оценку травмобезопасности рабочих мест и учет обеспеченности работников средствами индивидуальной защиты. Аттестация рабочих мест – составная часть работы по сертификации производ-

ственных объектов на соответствие требований по охране труда и носит обязательный характер для работодателя независимо от организационно-правовых норм и форм собственности, ей подлежат все имеющиеся на предприятии рабочие места.

В Украине аттестация рабочих мест по условиям труда проводится в соответствии с "Порядком атестації робочих місць за умовами праці" и "Методичними рекомендаціями щодо проведення атестації робочих місць за умовами праці", утвержденными Министерством труда и Министерством охраны здоровья Украины (Постановление Кабинета Министров Украины № 442 от 1 августа 1992 г.).

В настоящее время, как известно, аттестация рабочих мест по условиям труда в основном проводится формально и слабо влияет на состояние охраны труда и травматизма на производстве. И одной из причин такого положения является то, что организаций, имеющих лицензии на проведение аттестаций рабочих мест, мало, а стоимость таких работ очень высока.

Для усовершенствования механизма аттестации рабочих мест по условиям труда необходимо подготовить новое «Положение о порядке проведения работ по аттестации и гигиеническим критериям оценки условий труда» и пакет нормативно-технической документации определения фактов производственной среды с целью аттестации рабочих мест. Кроме того, должны быть переработаны отраслевые положения и методики с учетом единого подхода [12]. Речь идет об упрощении проведения аттестации рабочих мест по условиям труда, чтобы выполнить её быстрее и сдвинуть с места вопрос организации рабочих мест – важнейшего дела в охране труда. Иной должна быть и мотивация труда руководителей предприятий, инженеров, техников и рабочих, чтобы заинтересовать их в проведении аттестации рабочих мест по условиям труда.

Выводы. На решение проблем безопасности труда работников и охраны труда в целом, на наш взгляд, направлено внедрение на ряде предприятий Украины системы менеджмента промышленной безопасности и здоровья (СМПБ) OHSAS (Occupational Health and Safety Assurance System). Это необходимо делать потому что, во-первых, внедрение подобных систем является требованием зарубежных партнеров к отечественным предприятиям, во-вторых, при этом обеспечивается уменьшение уровня травматизма и заболеваний, в-третьих, открывается возможность рационального использования средств, направленных на охрану труда. Актуальность и необходимость реализации концепции СМПБ в Украине не вызывает сомнения, что подтверждается решением Коллегии Госнадзорхрантруда, состоявшейся в мае 2003 г. и одобрившей решение об ускорении разработки положений о СУОТ и системы технического аудита.

Литература

1. Кострица В. Безопасность труда в цифрах и фактах // Охрана труда. – 2003. - №5. – С. 4 – 5.
2. Хара В., Сторчак С. Стратегия охраны труда в условиях рыночных отношений // Охрана труда. – 2004. - №5. – С. 8 – 9.
3. Цибульник О.В. Стан безпеки праці та виробничого травматизму в Україні за 2000 рік // Інформаційний бюлетень з охорони праці. – 2001. - №1. – С. 8 – 9.
4. Барабанов В. Со знаком плюс // Охрана труда и социальное страхование. – 2003. – №1. – С. 37 – 38.
5. Дюмин И.Е. и др. Ремонт автомобилей. – М.: Транспорт. – 1998. – 280 с.
6. Красносельский В.Б. Проблемы совершенствования безопасности труда сварщиков на сварочных производствах // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – №12. – С. 33 – 34.
7. Ширшков А.И. Менеджмент охраны труда: Уч. – Ростов-н/Д: Феникс, 2001. – 384 с.

8. Шелест В., Гудсков А., Ляшко В. Психология безопасности // Охрана труда. – 2000. – №7. – С. 31 – 32.
9. Хара В. Охорона праці в Україні: Досвід. Проблеми і перспективи // Основы безопасности жизнедеятельности. – 2004. – №1. – С. 44 – 45.
10. Романчук А. Философия безопасности // Охрана труда и социальное страхование. – 2000. – №11. – С. 6 – 7.
11. Осипов И. Совершенствование СУОТ // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – №10. – С. 4 – 5.
12. Базилевич Л.М. Електронезбезпека та її запобігання // Інформаційний бюлетень з охорони праці. – 2005. – №2. – С. 38 – 39.

УДК 621.318

И.А.Шведчикова

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Определены условия функционирования магнитных сепараторов. Обоснованы главный и основные технические параметры магнитных сепараторов как электромеханических систем. Ист. 7.

Технологический процесс сепарации, или разделения смесей твердых (жидких) материалов может осуществляться силами различной физической природы. При этом используются различия в таких физических свойствах материалов, как плотность, электропроводность, диэлектрическая проницаемость, радиоактивность, адсорбция и смачиваемость, отражательная способность и другие. На практике наибольшее распространение получил магнитный вид сепарации, при котором разделение смеси частиц осуществляется под влиянием сил магнитного (электромагнитного) поля, создаваемого в рабочем пространстве устройств, называемых магнитными сепараторами. При этом используется различие в магнитной восприимчивости сепарируемых материалов. Магнитная сепарация – это наиболее простой и надежный вид сепарации. Рабочий процесс магнитной сепарации не связан с какими-либо химическими превращениями, имеющими место, например, при флотации, поэтому работающие магнитные сепараторы не вредят окружающей среде. Следует также отметить, что в магнитных сепараторах для повышения качества рабочего процесса иногда совмещают физические поля разной природы. Такое наложение полей применяют, например, при сухой электродинамической и мокрой магнитогидродинамической сепарации [1, 2].

Магнитные сепараторы нашли применение для решения практических задач по извлечению намагниченных (во многих случаях нежелательных) частиц из немагнитных сред и магнитному обогащению полезных ископаемых.

Известно, что магнитный сепаратор представляет собой целый комплекс технических средств, степень сложности которого определяется с помощью понятия «техническая (электромеханическая) система» [3]. Под функционированием любой электромеханической системы понимается процесс электромеханического преобразования энергии. Функционирование магнитного сепаратора связано с созданием условий, обеспечивающих определенный уровень извлекающих сил магнитного поля, достаточный для перемещения намагниченных частиц к поверхности полюсов за время нахождения подлежащего сепарации материала в рабочей зоне.

Любую систему принято характеризовать техническими параметрами, которые делятся на главные и основные [4]. Главный технический параметр бывает, как правило, один и является при этом наиболее важной технической характеристикой системы, отражающей эффективность ее функционирования. Главный параметр включает в себя основные, которые также отражают наиболее важные характеристики системы.

Оценка и анализ технических параметров магнитных сепараторов применительно к конкретным условиям эксплуатации отражены в целом ряде работ [1, 2, 5, 6]. Достаточно полный анализ показателей, характеризующих эффективность сепарации при магнитном обогащении, представлен в [1, 2]. В работах [5, 6] получены количественные соотношения для показателей, характеризующих эффективность работы некоторых типов магнитных сепараторов, нашедших применение для извлечения нежелательных намагниченных примесей. В то же время отсутствуют обобщающие исследования по определению технических параметров магнитных сепараторов применительно к различным условиям эксплуатации.

С учетом вышеизложенного целью настоящей статьи является обобщенный анализ технических параметров магнитных сепараторов с учетом различных условий их функционирования.

Вне зависимости от условий применения на частицы разделяемых при магнитной сепарации материалов действуют магнитная \vec{F}_m и конкурирующие силы или силы сопротивления \vec{F}_c (силы тяжести и трения, инерционные силы). Движение тела по заданной траектории до его полного извлечения происходит под действием магнитной или извлекающей силы, определяемой в соответствии с выражением

$$\vec{F}_m = \frac{1}{2} \mu_0 \chi V \vec{H} \text{grad } \vec{H}, \quad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

χ - магнитная восприимчивость частицы;

V - объем частицы;

H - напряженность поля в месте расположения частицы.

В выражении (1) фактор χV отражает физические свойства частицы, а фактор $\vec{H} \text{grad } \vec{H}$ - извлекающую способность сепаратора и называется удельной магнитной силой \vec{f}_m . Конкурирующие силы стремятся противодействовать движению извлекаемых намагниченных частиц.

Если желаемым продуктом сепарации является магнитный материал, и в питании сепаратора присутствуют случайные магнитные частицы, то эффективность функционирования магнитного сепаратора может быть охарактеризована показателем качества процесса сепарации, который также называют показателем извлечения. Показатель извлечения η_m представляет собой отношение количества извлеченных магнитных частиц, образующих магнитную фракцию, к общему количеству магнитных включений в питании сепаратора [5, 6]:

$$\eta_m = \frac{Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вых}}}{Q_{\text{вх}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{вх}}$, $Q_{\text{вых}}$ - количество магнитных включений в сепарируемом материале соответственно на входе и выходе электромагнитной системы сепаратора.

Показатель извлечения характеризует вероятность того, что магнитные частицы будут извлечены. Очевидно, что эта вероятность тем выше, чем выше магнитные силы F_M и ниже силы сопротивления F_C , действующие на извлекаемую частицу, поэтому выражение для η_M может быть записано в виде:

$$\eta_M = k \cdot \frac{F_M}{F_C}, \quad (3)$$

где k - коэффициент пропорциональности.

При теоретических расчетах эффективности магнитных сепараторов наряду с показателем η_M часто используют показатель η_{M1} , который имеет вид:

$$\eta_{M1} = \frac{Q_{\text{ВЫХ}}}{Q_{\text{ВХ}}} = 1 - \eta_M. \quad (4)$$

Показатель η_{M1} характеризует ту часть магнитных включений, которая осталась неизвлеченной, и называется степень пропуска или неизвлечения сепаратора. Чем меньше η_{M1} , тем более эффективным является сепаратор.

Если предположить, что извлечение магнитных частиц из материала является процессом массопередачи и подчиняется закону действующих масс, то можно записать следующее выражение для степени пропуска η_{M1} [1]:

$$\eta_{M1} = e^{-\frac{t}{t_{\text{из}}}}, \quad (5)$$

где t - время пребывания частицы в рабочем объеме электромагнитной системы сепаратора;

$t_{\text{из}}$ - время, в течение которого частица достигнет поверхности полюса.

Оценка показателя η_{M1} для магнитного сепаратора с верхней подачей материала в рабочую зону представлена, например, в работе [5], где получено общее выражение, справедливое и для других типов сепараторов

$$\eta_{M1} = e^{-\frac{H_{\text{gradH}}}{mV_p}}, \quad (6)$$

где m - коэффициент, зависящий от геометрических размеров рабочей зоны сепаратора;

V_p - скорость перемещения материала между полюсами. Коэффициент m и скорость подачи материала в рабочую зону V_p определяют производительность сепаратора.

Для оценки эффективности сепарации при магнитном обогащении используются другие показатели, что связано с явлением флокуляции. В этом случае немагнитные частицы захватываются магнитными из-за внутренних сил взаимодействия между частицами F_B , которые направлены против сил сопро-

тивления \bar{F}_c среды, в результате чего к полюсам магнитных сепараторов притягиваются сростки, которые наряду с магнитной фракцией содержат некоторое количество немагнитных частиц. Для оценки вероятности попадания немагнитных частиц в магнитную фракцию служит показатель η_{HM} [7]:

$$\eta_{HM} = k' \eta_M \frac{F_B}{F_C}, \quad (7)$$

где k' - коэффициент пропорциональности.

Тогда эффективность магнитной сепарации при обогащении полезных ископаемых может быть оценена с помощью показателя Θ_M , характеризующего содержание магнитного материала в магнитной фракции,

$$\Theta_M = \frac{\eta_M}{\eta_M + A \eta_{HM}}, \quad (8)$$

где A – отношение массы немагнитных частиц к магнитным в питании сепаратора.

С учетом выражения (7) показатель Θ_M может быть записан в виде:

$$\Theta_M = \frac{1}{1 + AK' F_B / F_C}. \quad (9)$$

Как следует из (9), показатель Θ_M растет с ростом сил сопротивления среды \bar{F}_c и уменьшается с увеличением сил внутреннего взаимодействия между частицами F_B .

Выводы. 1. В зависимости от условий функционирования магнитных сепараторов эффективность рабочего процесса может быть оценена с помощью показателей η_M (η_{M1}) или Θ_M в соответствии с выражениями (2), (4), (8). Указанные параметры являются главными техническими параметрами магнитных сепараторов как электромеханических систем.

2. Из выражения (6) следует, что эффективность работы магнитных сепараторов является функцией производительности (количества материала, проходящего в единицу времени через рабочую зону) и надежности извлечения, зависящей от создаваемой магнитным полем сепаратора удельной магнитной силы $\bar{H} \text{grad } \bar{H}$. Следовательно, удельная пондеромоторная сила $\bar{f}_M = \bar{H} \text{grad } \bar{H}$ и производительность представляют собой основные технические параметры магнитных сепараторов.

3. Дальнейший анализ технических параметров магнитных сепараторов позволит установить закономерности развития магнитных сепараторов как электромеханических систем.

Литература

1. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные и электрические методы обогащения. – М.: Недра, 1988. – 304 с.
2. Деркач В.Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1966. – 338 с.

3. Шведчикова И.А. К определению основных понятий в области магнитной сепарации// Вісник НТУ „ХПІ”. – 2005. - №35. – С. 121-126.
4. Каменев А.Ф. Технические системы: закономерности развития. – Л.: Машиностроение, 1985. – 216 с.
5. Нестеренко А.П., Капустянов В.Н., Шведчикова И.А. Эффективность работы транспортного магнитносепарирующего комплекса // Вестник ВУГУ. Сер. Транспорт.– 1996. – С. 159-164.
6. Шведчикова И.А. К оценке качества очистки сыпучих материалов от ферромагнитных примесей// Вестник ВУГУ. – 1997. - № 4(8). – С.163-167.
7. Gerber R., Robert R.B. High Gradient Magnetic Separation. Research Studies Press, 1983, 208 p.

УДК 621.7.548.0 (075.8)

С.П.Чередниченко

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ И ОТНОШЕНИЯ ВЫДЕЛИВШЕЙСЯ ЭНЕРГИИ К ЗАТРАЧЕННОЙ ПРИ ПОЛУЦИКЛЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМОРФНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ β -ОЛОВА ПРИ ПЕРЕХОДЕ В γ -ОЛОВО

Приводится аналитический расчет энергетических затрат и отношения выделившейся энергии к затраченной при полувцикле процесса полиморфного превращения β -олова при переходе в γ -олово. Рис. 2. Табл. 5. Ист. 4.

Олово при полиморфных превращениях, являющихся фазовыми переходами 1-го рода, при которых происходит выделение или поглощение тепла и скачком меняется внутренняя энергия и энтропия, а также физические свойства, зависящие от расположения атомов в структуре, имеет следующие физические свойства [1], приведенные в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Основные физические свойства β - и γ -модификаций олова

Полиморфная модификация	β -олово	γ -олово
Температурный интервал существования, К	286.3-446.1	446.1-505
Плотность г/см	7.295	6.52
Удельная теплоемкость Дж*К/ г	0.2234	0.2234
Скрытая теплота превращения Дж/г	не обнаружена	не обнаружена

При анализе физических свойств полиморфных модификаций олова, приведенных в табл. 1, приняв объем β -олова за 100%, имеем его объемное изменение при переходе в γ -олово, которое показано на рис. 1.

В связи с тем, что белое β -олово является одним из самых мягких металлов, с $\sigma_T \approx 12$ МПа, его можно принять как "высоковязкую подвижную жидкость", которую можно разместить в закрытом гидроцилиндре с поршнем, изготовленным из высокопрочных металлических сплавов с σ_T больше 1,7 ГПа, и при нагреве β -олова при переходе в γ -олово эта "высоковязкая жидкость" увеличится в объеме на 12 процентов и, в свою очередь, переместит поршень.

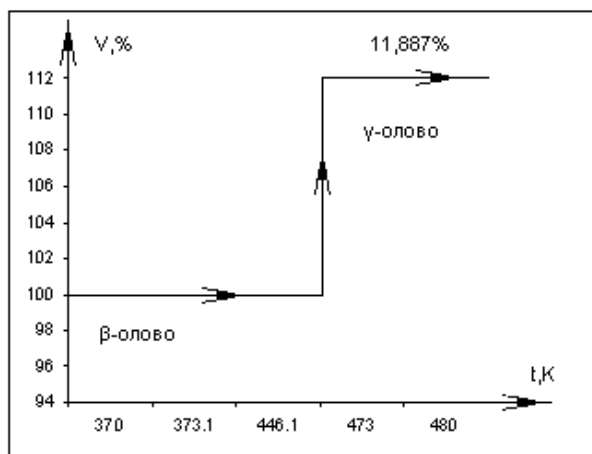


Рис.1. Изменение объема β-олова при переходе в γ-олово

Как показано в работе [2], исследование энергетики полиморфного превращения β-олова при переходе в γ-олово, влекущее за собой ≈12% объемное увеличение, требует дальнейших теоретических исследований.

При сопоставлении энергетических затрат полиморфного превращения β-олова при переходе в γ-олово с энергетикой кристаллизации оксида водорода, влекущее за собой 9% увеличение объема, показано, что энергетические затраты полиморфного превращения β-олова при переходе в γ-олово с Δt , равной 5K до температурной точки перехода, влекущего за собой ≈ 12% увеличение объема, в 43.3 раза ниже энергетических затрат, необходимых на фазовый переход оксида водорода из жидкого состояния в кристаллическое с Δt , равной 5K до температурной точки перехода, влекущего за собой ≈9% увеличение объема [3].

В связи с этим было произведено моделирование термодинамических характеристик полиморфного превращения β-олова в γ-олово, определены температурные интервалы существования β-олова и γ-олова и расплава олова, температурные точки полиморфных превращений при переходе β-олова в γ-олово и γ-олова в жидкое олово до давлений 1.5 ГПа [4]. Расчетные данные температурного интервала существования β и γ-олова, а также его расплава от различных удельных давлений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные физические свойства β-олова, γ-олова, расплава олова от различных удельных давлений

Давление в МПа	Температурный интервал существования полиморфной модификации, К		
	β-олова	γ-олова	Жидкого олова
0,1	286,2÷446	446÷504,84	504,9÷2893
100	288,19÷447,99	447,99÷506,83	506,89÷2894,99
200	291,48÷451,28	451,28÷510,18	510,18÷2898,28
500	301,32÷461,12	461,12÷519,98	520,04÷2908,12
1000	317,72÷477,52	477,52÷536,36	536,42÷2924,52
1200	324,28÷484,08	484,08÷542,92	542,98÷2931,08
1500	334,12÷493,92	493,92÷552,76	552,82÷2940,92

Целью работы является определение энергетических затрат и отношения выделившейся энергии к затраченной при полцикле процесса полиморфного превращения β-олова при переходе в γ-олово, влекущем за собой ≈12% объемное увеличение в результате нагрева. Приняв условно объем β-олова в гидро-

цилиндре 0.01м^3 , длиной 1м, площадью 0.01м^2 при полиморфном превращении в γ -олово, в результате нагрева объем увеличится на 11,89%, то есть увеличится в длине и переместит поршень на 0,11887м.

Взяв температуру β -олова на 5К ниже температуры фазового перехода в γ -олово, в результате расчетов имеем следующие значения энергетических затрат на чистое полиморфное превращение, которые сведены в таблице 3, и на совершенную работу «высоковязкой подвижной жидкостью», которые сведены в табл. 4 до развития удельных давлений 1,5 ГПа на поршень.

Таблица 3

Расчетные данные энергетических затрат на полиморфное превращение β -олова в γ -олово от различных удельных давлений

Удельное давление на поршень, МПа	0,1	100	200	500	1000	1500
Масса олова, кг	72.95	72.95	72.95	72.95	72.95	72.95
Фазовое состояние олова	β	β	β	β	β	β
Начальная температура, К	441.1	441.1	441.1	441.1	441.1	441.1
До начала перехода в γ -олово, К	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Термодинамический сдвиг Δt , К	0.0	1.99	5.28	15.12	31.52	47.92
Конечная температура, К	446.1	448.09	451.38	461.22	477.62	494.02
Фазовое состояние олова	γ	γ	γ	γ	γ	γ
Затраченная энергия, кДж	81,485	113,91	167,53	327,89	595,16	862,43

Таблица 4

Расчетные данные совершенной работы в результате полиморфного превращения β -олова в γ -олово при различных удельных давлениях

Удельное давление на поршень, МПа	0,1	100	200	500	1000	1500
Фазовое состояние олова	β	β	β	β	β	β
Начальная длина β -олова, м	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Площадь поршня, м ²	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Фазовое состояние олова	γ	γ	γ	γ	γ	γ
Конечная длина γ -олова, м	1,11887	1,11887	1,11887	1,11887	1,11887	1,11887
Совершенная работа поршнем, кДж	0.1164	116.392	232.9	582.255	1164.51	1746.765

Сопоставляя расчетные данные энергетических затрат на полиморфное превращение β -олова в γ -олово в соотношении с расчетными данными совершенной работы поршнем гидроцилиндра в результате полиморфного превращения β -олова в γ -олово при различных удельных давлениях, имеем значения отношения выделившейся энергии к затраченной при полцикле процесса полиморфного превращения β -олова при переходе в γ -олово, которые сведены в табл. 5.

Таблица 5

Расчетные значения отношения выделившейся энергии к затраченной при полцикле процесса полиморфного превращения β -олова в γ -олово при различных удельных давлениях (η)

Уд. давление на поршень, Мпа	0.1	100	200	500	1000	1500
Затраченная энергия, кДж	81.485	113.916	167.533	328.896	595.167	862.439
Совершенная работа, кДж	0.1164	116.392	232.9	582.255	1164.51	1746.765
η	0.00143	1.0217	1.390	1.770	1.957	2.025

Из этих данных видно, что отношение выделившейся энергии к затраченной при полцикле процесса полиморфного превращения β -олова в γ -олово растет в зависимости от роста удельных давлений на поршень, что показано на рис. 2.

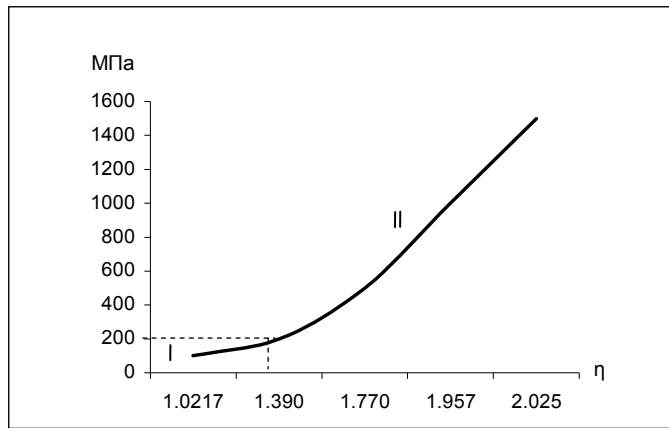


Рис.2. Изменение отношения выделившейся энергии к затраченной при полцикле процесса полиморфного превращения β -олова в Υ -олово в зависимости от давления (η):
 I – изученная область зависимости
 II – предполагаемая (расчетная) область зависимости

Видно аномально высокое отношение выделившейся энергии к затраченной при полцикле процесса полиморфного превращения β -олова в Υ -олово. В нашем случае имеем выделившуюся скрытую внутреннюю энергию, которая выделяется при превращении β -олова в Υ -олово в результате нагрева. Эта же энергия была затрачена при полиморфном превращении Υ -олова в β -олово в результате охлаждения.

Такие явления наблюдаются в случае с углеродом, когда углерод с гранецентрированной кубической структурой (алмаз) при полиморфном превращении в углерод с гексагональной структурой (графит) в результате нагрева увеличивается в объеме на $\approx 50\%$, и при этом выделяет скрытую внутреннюю энергию, которая была затрачена при полиморфном превращении углерода с гексагональной структурой (графита) в углерод с гранецентрированной кубической структурой (алмаз) в результате действия высоких давлений >10 ГПа при тектонических воздействиях в земной коре или искусственном синтезе.

Да, но в нашем случае температурная точка полиморфного превращения Υ -олова в β -олово при нормальном атмосферном давлении равна 446,1 К, что является выше нормальной температуры окружающей среды, равной 293,1 К, и мы будем забирать на охлаждение энергию у окружающей среды планеты, а не затрачивать энергию, производимую человеком.

Выводы. 1. Расчетные данные отношения выделившейся энергии к затраченной при полцикле процесса полиморфного превращения β -олова в Υ -олово растут в зависимости от роста удельных давлений на поршень и достигает максимума при $P \approx 1.5$ ГПа за счет выделения скрытой внутренней энергии, затраченной при предыдущем полиморфном превращении Υ -олова в β -олово в результате охлаждения.

2. Расчеты показывают практическую возможность применения олова как рабочей «высоковязкой подвижной жидкости» увеличивающейся в объеме $\approx 12\%$ при полиморфном превращении β -олова в результате нагрева в Υ -олово в гидроцилиндрах «импульсно-пресовых машин» нового поколения [2], которые будут сверхэкономичными: за счет выделения скрытой внутренней энергии, затраченной при предыдущем полиморфном превращении Υ -олова в β -олово в результате охлаждения, которая будет отбираться в окружающей среде за счет перепада

температур полиморфного превращения γ -олова в β -олово с окружающей средой.

Литература

1. Химический энциклопедический словарь. / Гл. ред. И.Л.Кнуняц – М.: Сов. Энциклопедия, 1983. – 792 с.
2. Чередниченко С.П. Теоретическое обоснование основных направлений применения энергии полиморфного превращения олова в процессах обработки давлением // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. Зб. наук. пр. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2004. – С. 120-124.
3. Чередниченко С.П. Сопоставление энергетических затрат полиморфного превращения β -олова при переходе в γ -олово с энергией перехода. – Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля, №7(89) – Луганськ, 2005. – С. 240-243.
4. Чередниченко С.П. Моделирование термодинамических характеристик полиморфного превращения β -олова при переходе в γ -олово. – Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. Зб. наук. пр. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2005. – С. 261-265.

УДК 533.21: 533.27: 533.275:536.1:622.481

В.Р.Алабьев

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ТРУБОПРОВОДАХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ГОДА

Получено аналитическое решение задачи тепломассообмена влажной метановоздушной смеси при ее транспортировке трубопроводами при отрицательных температурах атмосферного воздуха. Рис. 1. Ист. 9.

Введение. На шахте «Чайкино» ГП «Макеевуголь» впервые в практике горной промышленности для обогрева воздухоподающего ствола сооружена калориферная установка, использующая газовый теплогенератор типа «АТОН», а в качестве топлива шахтный дегазационный метан [1]. Теплогенератор адаптирован к сжиганию метановоздушной смеси (МВС) с концентрацией метана (33 ± 2)%, а требования безопасности к калориферной установке и системе газоснабжения разработаны МакНИИ [2].

Постановка задачи. Использование дегазационного метана для энергетических потребностей имеет в Украине большую перспективу, что обуславливает развитие систем газопроводов на дневной поверхности. В настоящее время для перекачки МВС применяются водокольцевые вакуум-насосы (ВВН), а для подачи МВС на расстояния более 1000 м могут применяться водо-кольцевые компрессоры (ВК) [3]. МВС на выходе из ВВН и ВК не только всегда имеет стоцентную относительную влажность, но и, как правило, взвешенную влагу. Поэтому эксплуатация наземных и надземных газопроводов в холодный период года связана с опасностью намораживания льда на внутренней поверхности труб вплоть до их полной закупорки. Для предотвращения этого явления газопроводы от вакуум-насосных станций (ВНС) до шахтных котельных покрывают

теплоизоляцией. При расположении ВНС и котельных на одной промплощадке шахты протяженность газопроводов не велика и трубопроводы в этом случае эксплуатируются без теплоизоляции. Так, например, достаточно протяженные газопроводы без теплоизоляции успешно эксплуатируются на шахте «Суходольская-Восточная» ГП «Краснодонуголь» (надземные длиной примерно 800 м) и на шахте им. А.Ф.Засядько (надземные длиной более 1000 м). МВС смесь в газопроводах этих шахт имеет более низкие термодинамические параметры, поскольку газопроводы расположены на всасывающей стороне ВВН (шахта «Суходольская - Восточная») или эксплуатируются вообще без применения ВВН как на шахте им. А.Ф. Засядько. Однако опыт эксплуатации указанных газопроводов в холодный период года специально не изучался, а процессы обледенения газопроводов, транспортирующих МВС, не исследовались.

Вопрос применения теплоизоляции газопроводов, транспортирующих МВС, во избежание излишних капитальных затрат должен решаться на основании тепловых расчетов с учетом термодинамических параметров МВС и атмосферного воздуха, удаленности ВНС от потребителя и других факторов. Однако в настоящее время методики, позволяющей выполнить такие расчеты, не существует.

Целью работы является разработка аналитических зависимостей для расчета предельной длины газопроводов, при которой гарантировано отсутствие закупорки газопроводов льдом.

Материалы и результаты исследования. Расчетная схема элементарного отрезка газопровода представлена на рис. 1, где: x – продольная координата, м; r – поперечная координата, м; T – температура МВС, К; T_0 – температура атмосферного воздуха, К; R – радиус газопровода, м; S – площадь поперечного сечения газопровода, м².

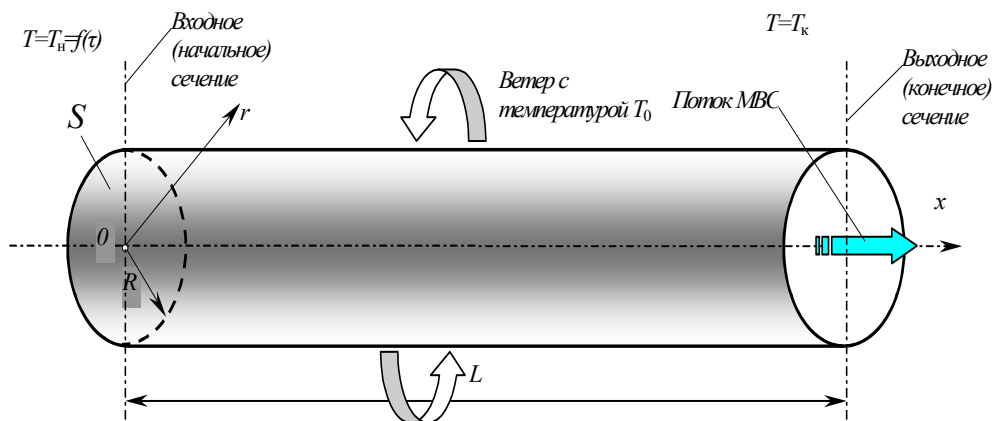


Рис. 1. Расчётная схема газопровода

Примем, что до момента подачи МВС в газопровод температура внутри трубопровода была такой же, как и в окружающей атмосфере T_0 , а начальная температура МВС T_n повышается с уровня T_0 до предельного T^* за определенный период времени. Удельный тепловой поток на поверхности трубопровода в окружающую среду определяется законом Фурье. Тогда математическая формулировка задачи тепломассообмена при движении МВС в газопроводе в дифференциальной форме имеет вид уравнения конвективно-диффузионного переноса теплоты в трубе [4]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (1)$$

с начальным условием

$$T(x, r, 0) = T_0, \quad (2)$$

и граничными условиями третьего рода:

$$T(0, r, \tau) = f(\tau); \quad (3)$$

$$-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R} = k \cdot (T|_{r=R} - T_0), \quad (4)$$

где τ – время, с;

u – скорость движения МВС в газопроводе, м/с;

a – коэффициент температуропроводности МВС, м²/с;

λ – коэффициент теплопроводности МВС, Вт/(м·К);

k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

Коэффициент температуропроводности МВС определяется по формуле [5]:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}, \quad (5)$$

где ρ – плотность МВС, кг/м³;

c – теплоёмкость МВС, Дж/(кг·К).

Коэффициент теплопередачи k определяется по формуле [5]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_a}}, \quad (6)$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи между МВС и внутренней поверхностью газопровода, Вт/(м²·К);

δ – толщина стенки газопровода, м;

λ_m – коэффициент теплопроводности материала газопровода, Вт/(м·К);

α_a – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности стенки газопровода к атмосферному воздуху, Вт/(м²·К).

Входящие в (1)-(6) теплофизические параметры МВС теоретически зависят от динамики изменения температуры и давления МВС в пространстве и времени. Примем допущение, что потеря давления МВС по длине трубопровода за счет силы трения незначительна по сравнению с абсолютным давлением, при котором МВС поступает в газопровод, т.е. давление МВС и скорость её движения по газопроводу могут с достаточной степенью точности приниматься такими

же, как и в начальном сечении. В этом случае согласно закону сохранения массы газа при установившемся движении плотность МВС можно считать постоянной [6, 7]. В связи с этим при практических расчётах значения теплофизических параметров МВС будем принимать при установившемся режиме по средней температуре МВС и постоянном давлении.

Граничное условие (3) предполагает, что в начальном сечении трубопровода температура МВС повышается от T_0 до максимального значения T^* за определенный период времени. Предположим, что в начальном сечении трубопровода динамика теплосодержания потока пропорциональна разности между предельной и текущей температурой потока в этом сечении, а именно:

$$\rho \cdot c \frac{dT}{d\tau} \Big|_{x=0} = \eta \cdot (T^* - T|_{x=0}), \quad (7)$$

где η – коэффициент пропорциональности.

После интегрирования уравнения (7) по τ , с учётом начального условия (2) получим:

$$T(0, r, \tau) = T_0 + (T^* - T_0)(1 - e^{-\beta\tau}), \quad (8)$$

где β – эмпирический коэффициент, характеризующий скорость повышения температуры, 1/с.

$$\beta = \frac{\eta}{c \cdot \rho}. \quad (9)$$

В соответствии с (8), в начальный момент времени ($\tau=0$) температура в газопроводе равна температуре атмосферного воздуха, а при $\tau \rightarrow \infty$ – приближается к максимальному значению T^* , и тем быстрее, чем больше значение β . Если температура МВС достигает максимального значения мгновенно, то условие (3) следует записать в виде:

$$T_H(0, r, \tau) = T^* = const, \quad (10)$$

Таким же будет это граничное условие в установившемся режиме теплообмена МВС.

С учетом (5) уравнение (1) запишем в виде:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} + c\rho u \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right). \quad (11)$$

В уравнении (11) первое слагаемое характеризует собой способность среды аккумулировать теплоту (кондуктивная составляющая потока теплоты), а второе слагаемое – перенос теплоты на макрообъёмном уровне за счёт движения среды (конвективная составляющая потока теплоты). Правая часть уравнения характеризует способность среды к проводимости теплоты на молекулярном уровне, т.е. диффузионный перенос теплоты.

Уравнение (11) учитывает распространение тепла как в продольном направлении, так и в радиальном. В связи с тем, что радиус трубопровода значи-

тельно меньше его длины ($R \ll L$), тепловой поток в поперечном направлении значительно меньше, чем в продольном. Поэтому при моделировании процесса тепломассопереноса МВС в газопроводе целесообразно воспользоваться осредненной температурой МВС в поперечном сечении [8]. Для этого обе части уравнения (11) умножим на r , проинтегрируем по этой координате в пределах от 0 до R и поделим на площадь поперечного сечения трубопровода S . В результате уравнение (11) примет вид:

$$c_p \frac{\partial \bar{T}}{\partial \tau} + c_p u \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} = k \frac{\Omega}{S} (T_0 - \bar{T}), \quad (12)$$

$$\bar{T} = \frac{1}{S} \int_0^R r \cdot T \cdot dr, \quad (13)$$

где Ω – периметр трубопровода, м.

При интегрировании правой части уравнения (11) использовалось значение градиента температуры на поверхности в соответствии с граничным условием (4).

Таким образом, задача сводится к решению уравнения (12) при граничном условии (8) с начальным условием:

$$T(x, 0) = T_0. \quad (14)$$

Введем безразмерные независимые переменные и температуру:

$$\eta = \tau \frac{\Omega}{S} u; \xi = \frac{\Omega}{S} x; \quad (15)$$

$$\theta = \frac{T - T_0}{T^* - T_0}. \quad (16)$$

Тогда задача сводится к решению уравнению вида

$$\frac{\partial \theta}{\partial \eta} + \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = -St \cdot \theta, \quad (17)$$

с краевыми условиями:

$$\theta(\xi, 0) = 0; \quad (18)$$

$$\theta(0, \eta) = 1 - e^{-\bar{\beta} \cdot \eta}, \quad (19)$$

где $St = \frac{k}{\rho \cdot c \cdot u}$ – число Стантона, характеризующее соотношение между интенсивностью процессов теплообмена и конвективного переноса теплоты [5]; $\bar{\beta} = \frac{S}{\Omega \cdot u} \cdot \beta$ – безразмерное значение β .

Сделаем подстановку

$$\theta = \varphi(\xi, \eta) \cdot e^{-St \cdot \xi}, \quad (20)$$

где $\varphi(\xi, \eta)$ – новая функция, равная произведению исходной функции на функцию $e^{St \cdot \xi}$; тогда уравнение (19) преобразуется к следующему виду:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \cdot e^{-st \cdot \xi} + \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} \cdot e^{-st \cdot \xi} - St \cdot \varphi \cdot e^{-st \cdot \xi} = -St \cdot \varphi \cdot e^{-st \cdot \xi},$$

или

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \eta} + \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} = 0, \quad (21)$$

а краевые условия для новой функции:

$$\varphi(\xi, 0) = 0, \quad (22)$$

$$\varphi(0, \eta) = 1 - e^{-\bar{\beta} \cdot \eta}. \quad (23)$$

Из (21) следует

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \eta} = -\frac{\partial \varphi}{\partial \xi} = \text{const}. \quad (24)$$

Это уравнение выполняется для функции вида

$$\varphi(\xi, \eta) = A + B \cdot e^{-b(\eta - \xi)}, \quad (25)$$

где A, B, b – произвольные константы.

Тогда из граничного условия (23) следует

$$\varphi(0, \eta) = A + B \cdot e^{-b \cdot \eta} = 1 - e^{-\bar{\beta} \cdot \eta}, \quad (26)$$

а из начального условия

$$\varphi(\xi, 0) = A + B \cdot e^{-b \cdot \xi} = 0. \quad (27)$$

Сравнивая (25) с (26) и (27), приходим к выводу, что в данном случае

$$A = 1; \quad B = -1; \quad b = \bar{\beta}. \quad (28)$$

В результате после подстановки (27), (28) в (26), а (26) в (20) получаем искомое решение

$$\theta(\xi, \eta) = (1 - e^{-\bar{\beta} \cdot (\eta - \xi)}) \cdot e^{-St \cdot \xi}. \quad (29)$$

Следует отметить, что это решение справедливо только при условии

$$0 \leq \xi \leq \eta \text{ или } 0 \leq x \leq u \cdot \tau, \quad (30)$$

что означает ограничение решения в пределах отрезка газопровода, в который поступил поток МВС со скоростью u за время τ , а на остальном участке трубопровода температура остаётся на начальном уровне.

Запишем формулу (29) в фактических переменных, согласно (15), (16):

$$T(x, \tau) = T_0 + (T^* - T_0) \cdot [1 - e^{-\beta \cdot (\tau - \frac{x}{u})}] \cdot e^{-\frac{k \cdot \Omega}{c \cdot \rho \cdot u \cdot S} x}. \quad (31)$$

Так как нас интересует установившийся режим, принимаем в (31) $\tau \rightarrow \infty$. Тогда формула для расчёта температуры МВС по длине трубопровода примет вид:

$$T(x, \tau) = T_0 + (T^* - T_0) \cdot e^{-\frac{k \cdot \Omega}{c \cdot \rho \cdot u \cdot S} x}, \quad (32)$$

где $T_H = T^*$.

Интегрируя (32) по длине трубопровода L , получаем среднюю температуру МВС в трубопроводе T_{cp} :

$$T_{cp} = T_0 + \frac{c \cdot \rho \cdot u}{k} \frac{d}{4 \cdot L} (1 - e^{-\frac{k}{c \cdot \rho \cdot u} \frac{4 \cdot L}{d}}) \cdot (T_H - T_0),$$

или с учетом (16) и (17)

$$T_{cp} = T_0 + \frac{1}{St \cdot \bar{L}} (1 - e^{-St \cdot \bar{L}}) \cdot (T_H - T_0), \quad (33)$$

где $\bar{L} = 4 \frac{L}{d}$ – относительная длина трубопровода (здесь принято, что для газопровода круглого сечения $\frac{S}{\Omega} = \frac{d}{4}$).

Так как на основании (32) температура в конце трубопровода T_k равна

$$T = T(L) = T_k = T_0 + (T_H - T_0) \cdot e^{-St \cdot \bar{L}}, \quad (34)$$

то

$$e^{-St \cdot \bar{L}} = \frac{T_k - T_0}{T_H - T_0}; \quad St \cdot \bar{L} = \ln \frac{T_H - T_0}{T_k - T_0}, \quad (35)$$

и после подстановки (35) в (33) получается формула для вычисления средней температуры

$$T_{cp} = T_0 + \frac{T_H - T_K}{\ln \frac{T_H - T_0}{T_K - T_0}}, \quad (36)$$

где второе слагаемое правой части называется среднелогарифмическим температурным напором [5].

На основании (35) получаем формулу для вычисления искомой длины трубопровода

$$L = \frac{1}{4} d \frac{1}{St} \ln \frac{T_H - T_0}{T_K - T_0}. \quad (37)$$

Как видно из (37), задача сводится к расчёту величины числа Стантона St , которое, в свою очередь, зависит от средней температуры МВС.

Число Стантона (St) связано с числом Нуссельта (Nu) и Пекле (Pe) следующим соотношением [5]:

$$St = \frac{Nu}{Pe}, \quad (38)$$

$$Nu = \frac{k}{\lambda} d; \quad (39)$$

$$Pe = Re \cdot Pr. \quad (40)$$

где Re – число Рейнольдса, Pr – число Прандтля, вычисляются по формулам:

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu}, \quad Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu}{\lambda} \rho \cdot c, \quad (41)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости МВС.

По данным [5], число Нуссельта при теплообмене потока газа со внутренней поверхностью трубы равно

$$Nu_e = 0,021 \cdot Re^{0,80} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_m} \right)^{0,25}, \quad (42)$$

где Pr_m – число Прандтля при температуре МВС, равной температуре внутренней поверхности трубы.

Учитывая, что для воздуха $Pr/Pr_m \approx 1$, формула (42) примет вид:

$$Nu_e = 0,021 \cdot Re^{0,80} \cdot Pr^{0,43}. \quad (43)$$

При обтекании трубопровода атмосферным воздухом число Нуссельта составляет [5]:

$$Nu_a = 0,245 \cdot Re_a^{0,60}; \quad (44)$$

$$Re_a = \frac{u_a \cdot d}{\nu_a}, \quad (45)$$

где u_a и ν_a – скорость и кинематическая вязкость атмосферного воздуха (ветра).

Формула (45) относится к случаю наибольшей теплоотдачи, когда ветер направлен поперёк трубы.

Используя (43) и (44), определим величину эквивалентного числа Нуссельта. Из (39) следует:

$$\alpha_e = \frac{\lambda}{d} Nu_e; \alpha_a = \frac{\lambda_a}{d} Nu_a, \quad (46)$$

где λ_a – коэффициент теплопроводности атмосферного воздуха, $Вт/(м \cdot К)$.

После подстановки (46) в (6) имеем:

$$k = \frac{1}{\frac{d}{\lambda} \frac{1}{Nu_e} + \frac{\delta}{\lambda_m} + \frac{d}{\lambda_a} \frac{1}{Nu_a}} = \frac{\lambda}{d} \frac{Nu_e}{1 + \frac{\lambda}{\lambda_m} \frac{\delta}{d} Nu_e + \frac{\lambda}{\lambda_a} \frac{Nu_e}{Nu_a}}, \quad (47)$$

и в соответствии с (39)

$$Nu = \frac{Nu_e}{1 + \frac{\lambda}{\lambda_m} \frac{\delta}{d} Nu_e + \frac{\lambda}{\lambda_a} \frac{Nu_e}{Nu_a}}. \quad (48)$$

В случае применения теплоизоляции газопровода в формуле (48) величины коэффициента теплопроводности и толщины газопровода следует вычислять по формулам:

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0 \cdot \delta_0 + \lambda_u \cdot \delta_u}{\delta_0 + \delta_u}; \quad (49)$$

$$\delta = \delta_0 + \delta_u, \quad (50)$$

где λ_0, λ_u – коэффициент теплопроводности стенки трубопровода и изоляции соответственно, $Вт/(м \cdot К)$; δ_0, δ_u – толщина трубопровода и изоляции соответственно, м.

Выводы. В настоящей работе на основании решения дифференциального уравнения конвективного переноса теплоты в трубопроводе получено аналитическое решение задачи теплообмена влажной метановоздушной смеси при ее транспортировке трубопроводами. Полученные аналитические зависимости могут использоваться при составлении методики расчета допустимой длины газопроводов как с теплоизоляцией, так и без таковой [9], для транспортировки МВС при отрицательных значениях температуры атмосферного воздуха.

Литература

1. Алабьев В.Р. Повышение безопасности использования огневых калориферов для обогрева воздухоподающих стволов угольных шахт // Сб. научн. тр. Национального горного университета № 19, т.3. - Днепропетровск, 2004. - С. 100-105.
2. Разработать требования безопасности к системе обогрева воздухоподающего ствола шахты «Чайкино-2», базирующейся на огневом калорифере и использовании в качестве топлива дегазационного метана: Отчет о НИР / МакНИИ.- Макеевка-Донбасс, 2001. - 24 с.
3. СОУ 10.1.00174088.001-2004. Дегазація вугільних шахт. Вимоги до способів та схеми дегазації.
4. Цой П.В. Методы расчёта задач тепломассопереноса. – М.: Энерго-атомиздат, 1984. – 416 с.
5. Михеев М.А., Михеева И.М.. Основы теплопередачи.- М.: Энергия, 1973. - 343 с.
6. Баскаков А.П., Берг Б.В., Витт О.К. Теплотехника. – М.: Энергоиздат, 1982. – 264 с.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Недра, 1970. – 904 с.
8. Бобровский С.А., Щербаков С.Г., Гусейн-заде М.А. Движение газа в газопроводах с путевым отбором.– М.: Наука, 1972. – 192 с.
9. СОУ 10.1.00174088.004-2006. Системи обігріву повітроподавальних стволів вогневиими калориферами з використанням метаноповітряної суміші.

УДК 621.762

А.Т.Цыркин, С.П.Плахотная

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВОЙ МЕДИ

Изложена причина роста прессовок из медного порошка при спекании. Разработана технология ступенчатого спекания, обеспечивающая получение порошковой меди высокой плотности. Рис. 3. Ист. 6.

Изделия из меди и ее сплавов, в том числе, полученные методами порошковой металлургии, находят широкое применение в технике [1]. Однако присущая порошковым материалам пористость резко снижает свойства порошковой меди, что ограничивает область ее применения. Формирование структуры, а, следовательно, и свойств порошковых материалов зависят от большого количества факторов: качества порошка, форм и размеров частиц, степени окисленности, плотности прессовки и ее геометрических размеров, состояния защитной среды, скорости нагрева и охлаждения, температуры и времени выдержки при спекании. Этим объясняется тот факт, что в литературных источниках приводятся противоречивые данные об усадке порошковой меди при спекании [2]. По данным некоторых исследователей при спекании прессовок из медного порошка происходит усадка, другие наблюдают рост прессовок, тем больший, чем больше их плотность и выше степень окисленности порошка [3]. Это объясняется тем, что при спекании в медных прессовках развивается «водородная болезнь», приводящая к росту спекаемых изделий, образованию трещин и разрушению. Водородной болезни подвержена также и литая медь, но в порошковой она проявляется более резко и имеет свои специфические особенности. Природа «водородной болезни» заключается в том, что водород, содержащийся в газовой среде, применяемой для спекания порошковых изделий, легко диффундирует в медь, соединяется с кислородом оксидов меди и образует большое количество паров воды. Если плотность прессовок высокая и большинство пор закрытые, то в них создаются большие давления, приводящие к увеличению объема

спекаемых изделий, образованию трещин, а в некоторых случаях к разрушению. Исключить протекание водородной болезни не удастся даже при использовании свежевосстановленного порошка, так как пребывание на воздухе в течение нескольких минут достаточно для заметного окисления порошка [4]. Для устранения роста прессовок из медного порошка при спекании авторы работы [5] предлагают изготавливать прессовки пористостью 15-20%. В этом случае большинство пор открытые и образовавшиеся продукты восстановления удаляются при спекании. Плотность меди после спекания 7,8-8,0 г/см³. Для повышения плотности спеченные заготовки допрессовывают или штампуют, после чего необходимо проводить повторное спекание или отжиг.

Целью данной работы является исследование влияния режима спекания на усадку порошковой меди и разработка технологии получения порошковой меди плотностью менее 5% за один цикл прессование - спекание.

Известно, что восстановление оксидов меди начинается с температуры 250-280°C [2]. Причем, при низких температурах восстанавливаются оксиды, расположенные на поверхности частиц, а при нагреве до температур 900 - 950°C восстанавливаются оксиды, находящиеся внутри частиц [3].

В начальный момент спекания при температуре (100-120°C) из прессовки удаляются адсорбированная вода, другие легко испаряющиеся примеси. При пористости более 12-16% большинство пор сообщающиеся, т.е. поровые каналы выходят на поверхность прессовок [3], и образовавшиеся газы удаляются из тела прессовки.

Так как при низкой температуре объем образовавшегося пара и газов гораздо меньше, то большое давление не должно создаваться. Кроме того, при такой температуре процесс спекания еще не происходит, и большинство пор остаются сообщающимися [3]. Проходящий при этом процесс релаксации упругих напряжений, накопленных порошковым телом в процессе прессования, вызывает разрыв связей, уменьшение суммарной площади межчастичных контактов и увеличение пористости [3]. Это также может привести к повышению эффективности удаления пара и газа.

При температуре 0,4–0,5 температуры плавления металла процесс релаксации упругих напряжений заканчивается, происходит выгорание смазок и примесей с более высокой температурой испарения и начинается восстановление оксидов. Для меди эта температура составляет 270-405°C. Подъем температуры сначала до 200-220°C, затем до 300-320°C и 400-420°C должен обеспечить постепенное удаление газов. Сначала восстановятся оксиды, расположенные на поверхности изделия, открывая тем самым доступ газа – восстановителя в глубь изделия. Начиная с температуры 0,7 температуры плавления (для меди – 676°C), наступает заключительная стадия спекания: закончатся восстановление оксидов, произойдут процессы зарастания и сфероидизации пор, образуются металлические контакты между частицами и др. Но так как к этому периоду большинство оксидов восстановилось, и газы не образуются, то должен начаться процесс усадки, который интенсифицируется с увеличением времени выдержки и температуры спекания.

Для экспериментальной проверки изложенного из медного электролитического порошка марки ПМС-1 ГОСТ 4960-75 были изготовлены образцы диаметром 23,1 мм и высотой 8.8 мм. Пористость прессовок изменяли от 9,5 до 27,5% за счет изменения массы навески, которую рассчитывали по формуле:

$$M = K \cdot Y \cdot \gamma_K \cdot \Theta ,$$

где K - коэффициент, учитывающий потери порошка при прессовании,

Y - объем порошкового образца,
 γ_K - плотность материала порошка,
 Θ - относительная плотность образца.

Образцы прессовали на гидравлическом прессе и спекали в печи шахтного типа СШОЛ в среде синтез газа. Охлаждение проводили вместе с печью до 800°C, затем контейнер с образцами охлаждали на воздухе до 50 °С. Спекание проводили по двум режимам: 1 - непрерывный нагрев со средней скоростью 15°C/мин., 2 - нагрев до температуры 100-120°C, выдержка 30 мин., нагрев до 200-220°C, выдержка 30 мин., нагрев до 300-320°C, 400-420°C, 500-520°C и 600-620°C с выдержкой при каждой температуре 20 мин., подъем до температуры спекания и выдержка 2 часа. Образцы до и после спекания взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,01 г, микрометром с точностью до 0,02 мм измеряли диаметр и высоту, по которым находили объем и рассчитывали плотность. Кроме того, на спеченных образцах определяли твердость на приборе Бринелль шариком 2,5 мм при нагрузке 2452 (Н) и изучали микроструктуру на микроскопе „Neofot” при увеличении в 320 раз.

Проведенные исследования показали следующее. При непрерывном нагреве происходит рост образцов, увеличение объема и пористости тем больше, чем ниже начальная пористость. При пористости прессовок 17,7% рост составил 3,3%, а при пористости 12,9% - 13,6%. Образцы, спеченные по ступенчатому режиму, имели усадку, величина которой возрастала с повышением температуры спекания и начальной пористости (рис. 1). Пористость менее 9% получена при температуре спекания 850-900°C на образцах с начальной пористостью 15,2%, а при температуре спекания 950-1000°C – 22,3%. При этом, чем выше начальная плотность образцов, тем меньше усадка и рост плотности (рис.2). При спекании по данному режиму максимальная плотность – 8,46 г/см³, что соответствует пористости менее 5%, получена на прессовках с начальной пористостью 8,06 г/см³ (пористость 9,55). Такая плотность достигается при прессовании деталей из медного порошка под давлением 750- 850 МПа.

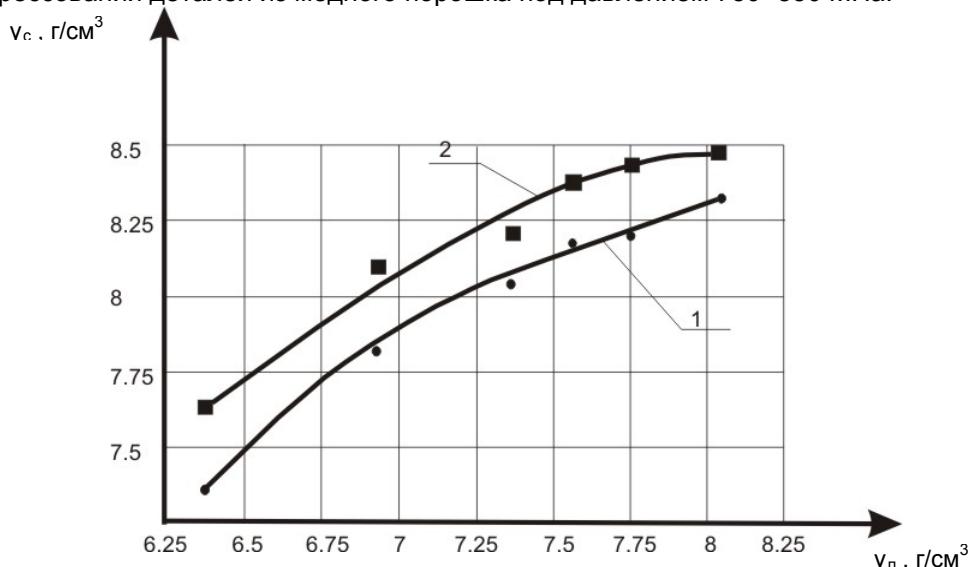


Рис.1. Влияние плотности прессовок на плотность образцов после спекания при температуре, °С: 1 – 850-950, 2 – 950-1000

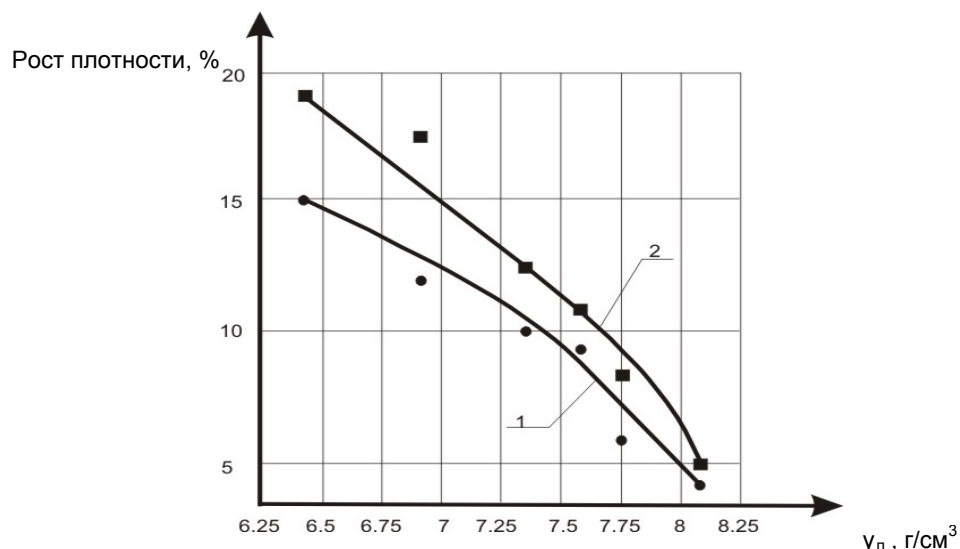


Рис. 2. Влияние плотности прессовок на рост плотности образцов после спекания при температуре, °С: 1 – 850- 950, 2 – 950-1000

Структура порошковой меди до и после спекания показаны на рис. 3. Для прессованного образца характерно наличие большого количества пор. Частицы разделены, и между ними отсутствуют контакты. В результате спекания происходит перемещение частиц, особенно при высокой пористости прессовок, зарастание пор и образование межчастичных связей [6].

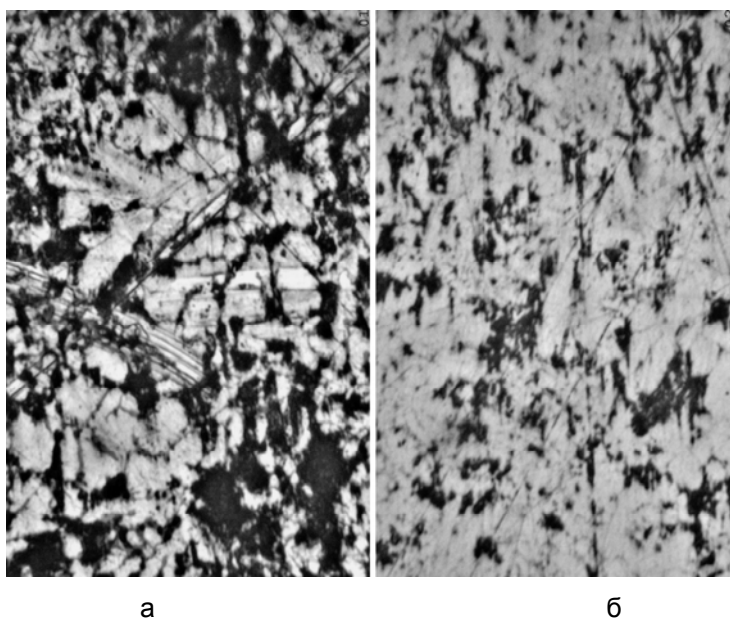


Рис. 3. Структура порошковой меди до спекания (а) и после спекания по ступенчатому режиму (б)

Выводы. Исследовано влияние режима спекания на процесс изменения размеров и плотности порошковой меди. Установлено, что ступенчатый нагрев

в области температур 100 - 600 °С и дальнейшее спекание при температуре 950 – 1000 °С интенсифицируют усадку и обеспечивают получение порошковой меди плотностью менее 9%. Повышение степени усадки объясняется восстановлением оксидов меди при низких температурах, когда большинство пор открытые и происходит свободное удаление образующихся газов.

Литература

1. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов.// Б.А.Колачев, В.А.Ливанов, В.И.Елагин. – М.: Металлургия. – 1981. – С .415.
2. Косторнов А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов.- Т1. - Киев. Наукова думка, 2002. – С. 569.
3. Федорченко И.М., Андриевский Р.А. Основы порошковой металлургии. К.: Изд-во АН УССР, 1961. – С. 501.
4. Дымченко В.А., Попович А.П., Водородная болезнь спеченной меди. // Порошковая металлургия. – 1983. – №5. – 25-28.
5. Довыденкова А.В., Радомысльский И.Д. Получение и свойства конструкционных деталей из порошков меди и ее сплавов.// Порошковая металлургия. – 1982. – №3. – С. 44-43.
6. Шлесар М., Бестрици М., Дудрова Э. Рост межчастичных связей при спекании порошковой меди. // Порошковая металлургия. – 1982. – №7. – С. 101-105.

УДК 622. 271

В.Д.Рябичев, Л.Г.Косоногова, А.В.Чесноков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВЕДУЩЕГО ЗВЕНА ГРОХОТА

В статье приведены результаты теоретических исследований степени неравномерности вращения ведущего звена грохота. Рис. 1. Ист. 2.

Как известно, на пути решения задачи повышения надежности и долговечности грохотов, применяемых для обогащения углей, основным препятствием является вибрация агрегата.

Большинство исследователей пытаются решить задачу устранения вредного воздействия вибрации на работу грохота путём уравнивания сил инерции, возникающих в отдельных звеньях грохота.

При решении вопроса об уравнивании сил инерции механизма принято считать, что ведущее звено вращается равномерно. Такое предположение основывается на том, что если силы инерции механизма уравновешены при равномерном вращении его ведущего звена, то они остаются также уравновешенными и при неравномерном его вращении.

Однако при исследовании движения рабочего органа и оценке показателей его работы далеко не безразлично, как будет вращаться ведущее звено. Характер такого движения связан и с моментом движущих сил, приложенных к ведущему звену, и с выполнением технологического процесса, и с динамическими показателями механизма привода.

Поэтому определение степени неравномерности вращения ведущего звена, или иными словами, определение величины углового ускорения вращения эксцентрикового вала механизма привода грохота является актуальнейшей задачей, решение которой позволяет снизить степень вибрации грохота в целом.

Для определения степени неравномерности вращения составим дифференциальное уравнение движения механизма, для чего воспользуемся уравнениями Лагранжа 2-го рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{dq_j} \right) - \frac{dT}{dq_j} = Q_j, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия системы;
 q – обобщенная координата системы;
 Q_j – обобщенная сила.

Рассматриваемая система (рис. 1) состоит из 3-х составных частей: кривошипа, эксцентрика, подвески и шатуна с вибротранспортером. Определим кинетическую энергию данной системы. Известно, что кинетическая энергия системы равна сумме кинетических энергий отдельных ее частей.

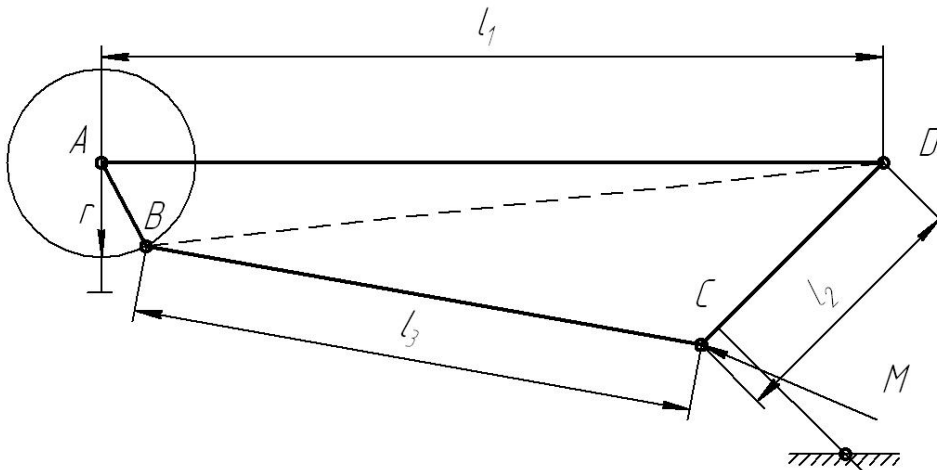


Рис. 1. Схема механизма

В нашем случае:

$$T = T_1 + T_2 + T_3, \quad (2)$$

где $T_1 = \frac{1}{2} I \omega_n^2$ - кинетическая энергия массы кривошипа;

$T_2 = \frac{1}{2} I_n \omega_n^2$ - кинетическая энергия массы подвески;

$T_3 = \frac{1}{2} (mV^2 + I_{ш} \omega_{ш}^2)$ - кинетическая энергия массы шатуна с вибротранспортером;

$I, I_n, I_{ш}$ - соответственно: приведенные к оси кривошипа, подвески и шатуна вибротранспортера моменты инерции вращающихся масс;

$\omega, \omega_n, \omega_{ш}$ - соответственно: угловые скорости, вращения кривошипа, подвески и шатуна с вибротранспортером;

V - линейная скорость шатуна с вибротранспортером;

M - масса шатуна с вибротранспортером.

В качестве обобщённой координаты примем угол поворота кривошипа φ . Тогда можем записать, что:

$$\dot{\omega} = \dot{\varphi} . \quad (3)$$

Для определения скоростей и ускорений основных точек и звеньев механизма грохота исследуем контур ABCD. Составляя векторное уравнение его замкнутости, запишем:

$$\overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CD} = \overline{AD} ,$$

или

$$\overline{r} + \overline{\ell_2} + \overline{\ell_3} = \overline{\ell_1} . \quad (4)$$

Проектируя это векторное уравнение на оси координат xAy, получим:

$$\begin{aligned} r \cos \varphi + \ell \cos \beta + \ell_3 \cos \delta_0 &= \ell_1 \\ r \sin \varphi + \ell_2 \sin \beta + \ell_3 \sin \delta_0 &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Дифференцируя уравнения (5) по времени, получим:

$$\begin{aligned} \dot{\omega} \sin \varphi + \dot{\omega}_n \ell_2 \sin \delta_0 &= 0 \\ \dot{\omega} \sin \varphi + \dot{\omega}_ш \ell_2 \sin \delta_0 &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Из углов, входящих в первое уравнение (6), вычитаем общий угол δ_0 , что соответствует повороту осей координат xAy (рис. 1) на общий угол δ_0 . Имеем

$$\dot{\omega} r \sin(\varphi - \delta_0) + \dot{\omega}_n \ell_2 \sin(\beta - \delta_0) = 0 .$$

Или

$$\dot{\omega}_n = -\frac{r}{\ell_3} \dot{\omega} \frac{\sin(\varphi - \delta_0)}{\sin(\beta - \delta_0)} . \quad (7)$$

Аналогично

$$\dot{\omega}_ш = -\frac{r}{\ell_3} \dot{\omega} \frac{\sin(\varphi - \delta_0)}{\sin(\beta - \delta_0)} . \quad (8)$$

Для расчета угловых скоростей шатуна и подвески по (3) и (4) необходимо установить зависимость изменения углов β и δ_0 от изменения угла φ . Согласно рис. 1:

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 . \quad (9)$$

Из прямоугольного треугольника BOD:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{BO}{OD} = \frac{r \sin \varphi}{\ell_1 - r \cos \varphi}. \quad (10)$$

Рассматривая косоугольный треугольник СВД, находим:

$$\ell_2^2 + \ell^2 - 2\ell_2 \ell \cos \beta_2 = \ell_3^2,$$

отсюда

$$\cos \beta_2 = \frac{\ell_2^2 - \ell_3^2 - \ell^2}{2\ell_2 \ell}. \quad (11)$$

Из треугольника ABD:

$$\ell = \sqrt{r^2 + \ell_1^2 - 2r\ell_1 \cos \varphi}. \quad (12)$$

Подставляя значения (10), (11), (12) в формулу (9), получим:

$$\beta = \operatorname{arctg} \left[\frac{r \sin \varphi}{\ell_1 - r \cos \varphi} \right] + \arccos \left[\frac{\ell_2^2 - \ell_3^2 + r^2 + \ell_1^2 - 2r\ell_2 \cos \varphi}{2\ell_2 \sqrt{r^2 + \ell_1^2 - 2r\ell_1 \cos \varphi}} \right]. \quad (13)$$

Аппроксимируя выражение (13), можно представить его в виде:

$$\beta = a\varphi^2 - b\varphi + c, \quad (14)$$

где a , b и c - постоянные коэффициенты, зависящие от соотношения величины r , ℓ_1 и ℓ_2 .

Дифференцируя выражение (14) по времени, найдем угловую скорость вращения подвески:

$$\varphi_n = \varphi(2a\varphi - b). \quad (15)$$

Для определения значения угла δ_0 возведем уравнение (5) в квадрат и сложим их:

$$(r \cos \varphi - \ell)^2 + 2(r \cos \varphi - \ell_1)\ell_3 \cos \delta_0 + r^2 \sin^2 \varphi + \ell_3^2 + 2r^2 \ell_3 \sin \delta_0 - \ell_2^2 = 0,$$

приняв:

$$A = \frac{\ell_1^2 + r^2 + \ell_3^2 - \ell_2^2 - 2r\ell_1 \cos \varphi}{2\ell_3(r \cos \varphi - \ell_1)};$$

$$B = \frac{r \sin \varphi}{r \cos \varphi - l_1};$$

получим:

$$A + \cos \delta_0 = -B \sqrt{1 - \cos^2 \delta_0}. \quad (16)$$

Возведя обе части уравнения (16) в квадрат, получаем:

$$A^2 + 2A \cos \delta_0 + \cos^2 \delta_0 = B^2 (1 - \cos^2 \delta_0),$$

или

$$(1 + B^2) \cos^2 \delta_0 + 2A \cos \delta_0 + (A^2 - B^2) = 0.$$

Откуда находим угол δ_0 в функции угла φ :

$$\delta_0 = -\arccos \frac{1}{1+B^2} \left[A \pm B \sqrt{1 - (A^2 + B^2)} \right]. \quad (17)$$

По длине шатуна, превышающей длину кривошипа более чем в 50 раз, что обычно имеет место в угледобывающих машинах и обогатительных комплексах, практически угол δ_0 не изменяется с изменением угла φ . Это положение легко проверить, если в (17) подставить значение угла δ_0 через каждые 15° .

Следовательно, в этом случае угловая скорость шатуна $\omega_{ш} = 0$, и движение шатуна можно принять поступательным. При этих предпосылках любая точка вибротранспортера будет совершать гармоническое колебательное движение, скорость которого определяется по формуле:

$$v = \varphi r \sin \varphi. \quad (18)$$

Подставляя полученные значения в формулы кинетической энергии отдельных масс, получим:

$$T_1 = \frac{1}{2} i_{\varphi}^2;$$

$$T_2 = \frac{1}{2} I_n \dot{\varphi} (2a\varphi - b)^2; \quad (19)$$

$$T_3 = \frac{1}{2} m r^2 \dot{\varphi}^2 \sin^2 \varphi.$$

Подставляя значение (19) в (2), имеем:

$$T = \frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 [k + m_0 \varphi^2 - n\varphi + c \sin^2 \varphi], \quad (20)$$

где $k = I + I_n b^2$; $m_0 = 4I_n d^2$; $n = 4I_n ab$ и $c = mr^2$.

Так как:

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = \dot{\varphi} [k + m_0 \varphi^2 - n\varphi + c \sin^2 \varphi] \quad (21)$$

получим:

$$\frac{dT}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi} = \dot{\varphi}^2 [k + m_0 \varphi^2 - n\varphi + c \sin^2 \varphi] \quad (22)$$

и

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = \frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 [2m_0 \varphi^2 - n\varphi + c \sin^2 \varphi]. \quad (23)$$

Тогда

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = \ddot{\varphi} [k + m_0 \varphi^2 - n\varphi + c \sin^2 \varphi] - \frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 [n - 2m_0 \varphi - c \sin^2 \varphi]. \quad (24)$$

Для определения обобщенной силы напомним выражение виртуальной работы:

$$\delta W = Q_4 \delta \varphi. \quad (25)$$

В нашем случае

$$\delta W = (F - R) \delta S = (F - R) r \delta \varphi, \quad (26)$$

где $(F - R)r = M_{кр}$ - равнодействующая приведенных к эксцентриковому валу моментов: тангенциального момента $M_T = Fr$, источника энергии и момента сил сопротивления $M_R = R \cdot r$, действующего вибротранспортера.

Из выражений (25) и (26)

$$Q_\varphi = (F - R)r = M_{кр}. \quad (27)$$

Для решения дифференциального уравнения необходимо значение M в функции угла поворота эксцентрикового вала φ такое значение этого выражения мы получаем на основании экспериментальных данных

$$M_{кр} = a_1 \dot{\varphi}^3 - b_1 \dot{\varphi}^2 + c_1 \dot{\varphi} + d_1, \quad (28)$$

где a_1 ; b_1 ; c_1 ; и d_1 - постоянные коэффициенты для различных случаев, полученные путем обработки диаграмм зависимости крутящего момента от угловой скорости вращения вала φ .

Окончательно дифференциальное уравнение движения механизма вибротранспортера принимает вид:

$$\ddot{\varphi} = [k + m_0 + \varphi^2 - n\varphi + c \sin^2 \varphi] - \frac{1}{2} \varphi^2 \cdot [n - 2m_0\varphi - c \sin 2\varphi] \cdot a_1 \dot{\varphi}^3 + b_1 \dot{\varphi}^2 + c_1 \dot{\varphi} + d_1. \quad (29)$$

Обозначая $b^* = b_1 + \frac{1}{2}n$; $\ell = m_0 + c$; $c^* = \frac{1}{3}c$, а, также учитывая, что $\dot{\varphi} = \omega$ и $\varphi = \omega t$, разложив $\sin \varphi$ в ряд Маклорена, получим:

$$\ddot{\varphi} = \frac{d_1 \omega^3 + d^* \omega^2 + c_1 \omega - \ell \omega^3 t + \ell \omega^3 t + 2c^* \omega^5 t^3 + d_1}{k - n\omega t + \ell \omega^2 t^2 - c^* \omega^4 t^2}. \quad (30)$$

Вывод. Установлена зависимость между угловым ускорением ϵ и угловой скоростью ω вращения ведущего звена грохота.

Литература

1. Василенко П.М. О методике механико-математических изысканий при разработке проблем механики. – М.: Машиностроение, 1962. – 99 с.
2. Иоффе Г.С. Элементы итерационного исчисления. – М.: Машиностроение, 1967. – 440 с.

УДК 621.791.669.15-194

Г.Г.Басов, А.И.Гедрович, С.А.Ткаченко, А.Н.Ткаченко

ПЕРСПЕКТИВЫ СВАРКИ ЭЛЕМЕНТОВ КУЗОВОВ ВАГОНОВ ЭЛЕКТРО- И ДИЗЕЛЬПОЕЗДОВ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ НА ОАО "ХК "ЛУГАНСКТЕПЛОВОЗ"

В работе проанализированы перспективы сварки разнородных сталей 09Г2С и 10Х13Г18ДУ в условиях ОАО «ХК «Лугансктепловоз». Рис. 1. Табл. 1. Ист. 24.

Необходимость изготовления продукции машиностроения (вагоностроения), работающей в разных климатических условиях, а также при других специфических требованиях (динамические нагрузки, атмосферная коррозия, снижение веса и т.д.) требует систематического совершенствования существующих и разработки новых, более прогрессивных технологических процессов, непрерывного повышения долговечности и экономичности изготавливаемых в машиностроении Украины и других странах сварных металлоконструкций с применением сталей [1, 2, 17, 18] и их сочетаний.

В связи с этим возникает необходимость применения специальных высоколегированных сталей в сочетании с обычными углеродистыми и низколегированными. ОАО «ХК «Лугансктепловоз» осваивает выпуск новых электро- и дизельпоездов, в которых цельносварной кузов выполняется из перлитной низко-

легированной стали повышенной прочности 09Г2С для каркаса, и метастабильной коррозионно-стойкой стали 10Х13Г18ДУ [13] для обшивки. Однако при сборке и сварке каркасов с обшивками возникает ряд проблем, связанных с получением качественных сварных соединений из разнородных сталей.

Целью работы является прогнозирование возможностей сварки этих сталей при изготовлении сварных узлов в вагостроении.

Качество сварной конструкции определяется свойствами шва и зоны термического влияния (ЗТВ) по обе стороны шва [1]. Накопленный в компании опыт свидетельствует, что для обеспечения заданных свойств сварных соединений требуется применение специальных приемов [20].

Рациональный технологический процесс по сварке разнородных сталей отдельной сварной конструкции является решением сложной инженерной задачи, которая включает в себя состав и свойства материалов, технико-экономические, технологические, эксплуатационные и другие факторы.

Низколегированные конструкционные стали, поставляемые по ГОСТу 380-71, обладают хорошей свариваемостью [3, 4]. При их сварке не требуется предварительный подогрев. При локальном сварочном нагреве сталь 09Г2С ведет себя как обычная низкоуглеродистая. Различия состоят в несколько большей склонности к образованию закалочных структур в металле шва и ЗТВ при повышенных скоростях охлаждения [4]. Металл шва имеет в основном феррито-перлитную структуру. Однако при повышенных скоростях охлаждения в шве этой стали кроме феррита и перлита присутствуют также мартенсит, бейнит и остаточный аустенит. Мартенсит – бесструктурный, а бейнит представляет собой феррито-перлитную смесь высокой дисперсности. Количество структурных составляющих зависит от термического цикла сварки [4]. Исследования показали, что при сварке на пониженной погонной энергии количество мартенсита, бейнита и остаточного аустенита в металле шва повышается, и дисперсность их увеличивается. Так количество закалочных структур при сварке с погонной энергией $q_u/v = 4$ ккал/см и скорости охлаждения в интервале температур 400-600°C, примерно равной $4,5^\circ C/C$, составляет 10÷11%. Структура швов при

$q_u/v = 13$ ккал/см и скорости охлаждения $0,5 - 0,6^\circ C/C$ состоит только из феррита и перлита. Мартенсит и бейнит образуются также в ЗТВ. Образуются они на участке перегрева в количестве 3 %, уменьшаясь по мере удаления от линии сплавления. При небольшом количестве закалочных структур их влияние на механические свойства сварных соединений незначительно в связи с их равномерным и дезориентированным распределением в мягкой ферритной основе. Стойкость металла шва против кристаллизационных трещин несколько ниже, чем низкоуглеродистых в связи с влиянием углерода и кремния [4].

Основные трудности сварки разнородных сталей данной комбинации связаны с обеспечением необходимых свойств и оптимальной структуры металла шва и ЗТВ высоколегированной коррозионно-стойкой аустенитной стали. Обычно они подвержены склонности к образованию трещин в ЗТВ, появлению после сварочного нагрева в высокотемпературной зоне δ -феррита, α -фазы (мартенсита), σ -фазы, выделению карбидов из аустенита в определенных участках ЗТВ и ухудшению в этих местах стойкости против межкристаллитной коррозии (МКК), высоких временных напряжений и деформаций [20].

Аустенит представляет собой твердый раствор хрома, никеля, марганца и других элементов в железе. Углерод обладает ограниченной растворимостью в аустените. При комнатной температуре стабильное содержание углерода в твердом растворе аустенита не превышает 0,02-0,03%, а по некоторым данным

0,007%. При большом содержании углерода в стали и быстром ее охлаждении от высоких температур он фиксируется в виде пересыщенного (нестабильного) твердого раствора, и сталь приобретает чисто аустенитную структуру [14].

Однако последующий нагрев металла в интервале критических температур (450-800°C) приводит к тому, что избыточный углерод выделяется из твердого раствора по границам зерен в виде сложных карбидов железа и хрома $[(Cr,Fe)_3C]$ или $(Fe,Cr)_{23}C_6$, в которых преобладает хром. При этом сталь подвергается межкристаллитной коррозии [7].

Карбиды марганца $(Mn_{23}C_6)$, (Mn_7C_3) , (Mn_3C) как самостоятельные в сталях практически никогда не образуются, так как их состав и кристаллические решетки подобны соответствующим карбидам хрома и железа, и они образуют с ними комплексный карбид, в состав которого входит марганец, например: $(Fe,CrMn)_{23}C_6$; $(Fe,Cr,Mn)_7C_3$; $(Fe,Mn)_3C$ [5,14].

В результате выделения богатых хромом карбидов содержание хрома в пограничных слоях аустенитных зерен уменьшается до 12 % и менее, и становится недостаточным для коррозионной стойкости металла в условиях воздействия агрессивной среды. Кроме того, благодаря разному содержанию хрома в центральных зонах и в пограничных слоях аустенитных зерен, такой металл при контакте с агрессивной средой (электролитом) становится системой гальванических микропар, в которых карбиды и тело зерна служат катодами, а обедненные хромом пограничные слои его – анодами. Вследствие этого растворение (разъедание) обедненных слоев зерен (анодов) происходит весьма быстро, значительно быстрее, чем растворение 10÷12%-ной хромистой стали с равномерным распределением хрома [14].

Проявление склонности аустенитной стали к межкристаллитной коррозии тем вероятнее, чем продолжительнее (в пределах секунд до нескольких часов) металл находится нагретым в критическом (опасном) интервале температур и чем выше содержание углерода в нем [14, 16].

Образование α -фазы (мартенсита) определяется металлографическими исследованиями [10, 12]. При пластической деформации в результате сварки легированных хромомарганцевых сталей может наблюдаться мартенситное превращение $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha$, при котором образуется промежуточный ε -мартенсит с гексагональной плотноупакованной решеткой, который затем может переходить в α -мартенсит с о.ц.к. решеткой. Такое превращение наблюдается в тех случаях, когда сплав имеет низкую энергию дефектов упаковки с сильным расщеплением дислокаций, которые являются зародышами образования ε -фазы с гексагональной решеткой. ε -мартенсит не магнитен, а α -мартенсит обладает магнитными свойствами, поэтому общее количество α -фазы (мартенсита) может быть легко определено с помощью приборов, регистрирующих остаточную намагниченность металла (ферритометра или феррозондового полюсоискателя) [14, 16].

Деформация хромомарганцевой стали может приводить к образованию мартенсита как в упругой, так и в пластической области. Мартенсит, образующийся при деформации в упругой области, называют мартенситом напряжения, а мартенсит, получающийся под действием пластической деформации, – мартенситом деформации [14, 15].

Выделение σ -фазы типа $(FeCr)$ в системе Cr - Mn (сигматизация) происходит при длительных выдержках в интервале температур 500-900°C и является причиной сильного охрупчивания стали, уменьшает ее пластичность и прочность [13, 21].

Из-за присутствия σ -фазы резко снижается длительная прочность, так как большие количества элементов-упрочнителей выводятся из матрицы сплава. Кроме того, разрушение при повышенных температурах происходит предпочтительно вдоль границ σ -фазы, которые служат источниками зарождения и распространения трещин, ведущих к хрупкому разрушению. Кроме σ -фазы, в хромомарганцевых сталях обнаружено много других подобных сложных фаз.

Основным средством для предупреждения сигматизации хромомарганцевых сталей и их сварных соединений является ограничение содержания ферритной фазы в шве (не более 8 %), а также быстрое охлаждение в опасном интервале температур [14, 16].

У хромомарганцевых сталей, имеющих в структуре свыше 15-20% ферритной фазы появляется 475-градусная хрупкость. Причем чем больше феррита содержит сталь, больше продолжительность и выше температура нагрева в интервале 350-530°C, тем больше охрупчивание, т.е. интенсивнее снижается ударная вязкость и значительно повышается твердость [1, 4].

Медленное охлаждение изделия в указанном интервале температур также оказывает подобное действие. Для ликвидации отпускной 475-градусной хрупкости сталь необходимо быстро охлаждать [14].

При сварке и после хромомарганцевых нержавеющей сталей могут образовываться технологические трещины (рис. 1) в металле шва, околошовной зоне вблизи сплавления и в ЗТВ на некотором расстоянии от шва [9, 10, 21].

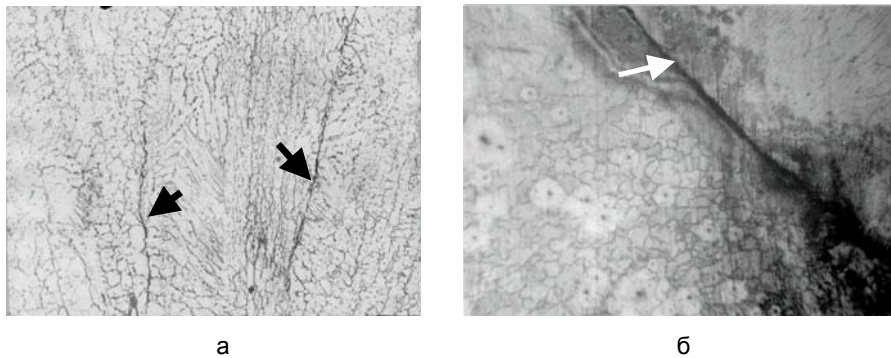


Рис. 1. Виды трещин в сварном соединении стали 10X13Г18ДУ:
а - трещина типа «отрыва» по линии сплавления; б - горячие полигонизационные трещины в сварном соединении

Причины появления трещин могут быть разными. При сварке аустенитных сталей одна из причин – отсутствие при охлаждении после сварки фазовой перекристаллизации и сохранение первичных аустенитных зерен во всем интервале температур, начиная от кристаллизации до полного охлаждения [11].

Другим фактором, определяющим повышенную склонность к образованию, прежде всего кристаллизационных (горячих) трещин может быть повышенная ликвиационная загрязненность приграничных и междендритных областей. В хромомарганцевых сталях при высоком содержании основных легирующих элементов, при высоких температурах, когда диффузионная подвижность атомов велика, создаются условия для оттеснения примесей – серы и фосфора в кристаллизующиеся последними приграничные области зерен [11, 14].

Небольшое количество δ -феррита (3-5%) в шве предотвращает появление горячих трещин, т.к. δ -феррит нарушает сплошность аустенитных зерен, становится прослойкой между аустенитными кристаллитами и нарушает транс-кристаллизацию. Непрерывная транскристаллитная граница аустенитных зерен

прерывается ферритными включениями. Это важно не столько для локализации кристаллизационной трещины, сколько для предотвращения образования ее в связи с тем, что нарушается сплошность межзеренного каркаса легкоплавкой прослойки при кристаллизации [11, 14].

Помимо горячих кристаллизационных трещин в сварных швах аустенитных сталей могут возникать горячие высокотемпературные полигонизационные трещины, образующиеся в довольно узком интервале температур, несколько ниже температуры кристаллизации. В сварном аустенитном металле при достаточно медленном охлаждении после кристаллизации дефекты кристаллического строения начинают мигрировать, сосредоточиваться с образованием полигональных границ субзерен. Эти полигональные границы в отдельных местах могут совпадать со старыми границами аустенитных кристаллов, с участками сосредоточения примесей, и здесь могут зарождаться трещины. Для подавления образования таких трещин можно увеличивать скорость охлаждения с тем, чтобы не дать развиться полигонизации.

В сварных соединениях высоколегированных хромомарганцевых сталей при определенных условиях могут образовываться и холодные трещины. Такие трещины могут образовываться в двух температурных зонах – при 500-700°C и после полного охлаждения. Теплые трещины, образующиеся при 500-700°C, связаны с фазовыми изменениями, приводящими к повышению хрупкости и понижению пластичности металла. Трещины, возникающие после полного охлаждения, связаны часто с образованием α -мартенсита, с разностью удельных объемов, образующихся при кристаллизации фаз. Например, у аустенита он составляет $0,1275 \text{ см}^3/\text{г}$, а у прочного, но малопластичного мартенсита – $0,1310 \text{ см}^3/\text{г}$. При сварке хромомарганцевых сталей исходная структура γ -твердого раствора при охлаждении подвержена распаду с появлением новых фаз, в том числе и мартенсита. Металл при этом увеличивается в объеме, как бы разбухает [5].

Образование холодных трещин связано с фазовыми изменениями, имеющими место при охлаждении после сварки зоны сварного соединения, высокими остаточными напряжениями. С фазовыми изменениями также связаны различные свойства сварного соединения [2, 4, 7, 10, 14].

Сочетание нескольких негативных факторов трещинообразования в совокупности с рабочими нагрузками изделий (удары, вибрация), изготовленных из данной стали, создают еще более благоприятные условия для зарождения трещины и преждевременного разрушения сварных конструкций.

Таким образом, для устранения неблагоприятных явлений при сварочном нагреве аустенитной стали 10X13Г18ДУ необходимо искусственное охлаждение [20]. Используя современные наработки по искусственному охлаждению [19, 22, 23], нами установлены оптимальные скорости охлаждения при аргонодуговой сварке стали 10X13Г18ДУ толщиной 1÷3 мм. Режимы полуавтоматической сварки в среде защитного газа с принудительным сопутствующим охлаждением приведены в таблице 1.

Анализ реакции стали 09Г2С и 10X13Г18ДУ на термическое воздействие при сварке показывает, что для стали 09Г2С оптимальной скоростью охлаждения является $0.5 - 0.6 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$, а для стали 10X13Г18ДУ - $110 - 115 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$. Это обстоятельство создает дополнительные трудности при соблюдении технологии сварки. Кроме этого, возникают вопросы о структуре сварного шва. Металл сварного шва является сплавом, образующимся при перемешивании наплав-

ленного металла с расплавленным свариваемым (основным) металлом. Свойства такого шва определяются типом и количеством присадочной проволоки при сварке плавящимся электродом и металла свариваемых сталей. В свою очередь, количество наплавленного металла зависит от доли участия основного и пересадочного металла в формировании сварного шва, от формы разделки соединения, режима сварки, теплопроводности металла и т.д.

Таблица 1

**Режимы дуговой сварки тонколистовой ($\delta=1-3$ мм) стали 10X13Г18ДУ в среде аргона с принудительным охлаждением ($W_{6-5}^{охл} = 110 \div 115 \cdot \frac{C}{C}$),
(проволока – Св-08Х20Н9Г7Т)**

Сварка в среде Ar, плавящийся электрод (постоянный ток обратной полярности)						
Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
1,0	0,8	40-50	16-18	30-40	5	6
1,5	1	60-80	17-19	30-40	6	10-12
2	1,2	80-100	18-20	25-40	6-9	10-12
3	1,2	140-160	27-29	20-35	9-10	14-16
Сварка неплавящимся электродом в среде Ar (постоянный ток прямой полярности)						
Толщина металла	Диаметр электрода	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Диаметр присадочной проволоки, мм	Расход газа, л/мин
	В мм					
От 1,0 до 2,0	1,5-2,0	55-65	10-12	–	1,2	4-5

Конструктивное формирование стыковых соединений небольшой толщины определяются величиной зазора. Для соединения с С2 величина зазора изменяется от 0 до 1.5 мм (ГОСТ 14771-76). Расчеты [1] показывают, что доля участия присадочного металла изменяется до 33.4%. При нулевом зазоре доля участия основного металла в металле шва составляет 30-35%. Изменение величины зазора при сборке приводит к изменению параметров режима сварки. В работе [6] установлено, что между шириной шва и зазором существует обратно пропорциональная зависимость: с увеличением зазора ширина шва уменьшается. Связь ширины шва с погонной энергией подчиняется уравнению

$$e_{ш} = 0,331 - 1,098 + 8 \cdot 10^{-5} q_n.$$

Такое соотношение авторы [6] объясняют изменением схемы источника тепла. При сварке с зазором металла сварочной ванны можно рассматривать как распределенный источник на поверхности пластины. При наплавке ($v = 0$) металл ванны и столб дуги на поверхности, и ее тепловой вклад уменьшается из-за потерь в окружающую среду. Сварка с зазором приводит к перемещению некоторой части жидкого металла ванны в зазор и, следовательно, к погружению дуги ниже уровня поверхности детали, уменьшаются потери теплоты и изменяется геометрия проплавления.

Изменение схемы распространения теплоты исследованы в работе [24] при сварке в смеси. При $b \leq 1$ мм наблюдается схема точечного источника теплоты, при больших зазорах преобладает схема линейного источника теплоты.

Общий вывод по работам [6, 24]: зазор в наибольшей степени влияет на размеры шва при сварке в углекислом газе и смеси газов $Ar + 25\%CO_2$, наименьшее влияние при сварке под флюсом.

Таким образом, величина зазора изменяет размеры шва, зону термического влияния, зону пластической деформации и, в конечном итоге, влияет на свойства сварного соединения.

В общем, для получения качественных сварных соединений из разнородных сталей необходимо учитывать: свойства соединяемых сталей; способ сварки; применяемые сварочные материалы; режимы сварки; геометрию проплавления; качество сборки при сварке и другие факторы.

Выводы: 1. Сварка разнородных сталей требует правильного подбора способа сварки, присадочного материала, соблюдение технологии при сварке металлоконструкций и высокой культуры производства.

2. Сварка сталей разных структурных классов требует разработки и применения новейших технологий.

Литература

1. Закс И.А. Сварка разнородных сталей. - Л.: Машиностроение, 1973. - 208 с.
2. Земзин В.Н. Жаропрочность сварных соединений. - Л.: Машиностроение, 1972. - 272 с.
3. Каховский Н.И., Фартушный В.Г., Ющенко К.А. Электродуговая сварка сталей. - К.: Наукова думка, 1975. - 480 с.
4. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. / Гл. ред. Б.Е. Патон. - М.: Машиностроение, 1974. - 768 с.
5. Кондратов В.М. Влияние легирования и фазового состава на свойства нержавеющей мартенситов стареющих сталей. // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1973. - № 2. С. 43-47.
6. Бабкин А.С. Влияние зазора и параметров режима сварки на размеры // Сварочное производство. - 2005. - № 11. С. 3-9.
7. Гольдштейн Н.И., Грачев С.В., Векслер Ю.М. Специальные стали. - М.: Металлургия, 1985. - 408 с.
8. Шадур Л.А. и др. Вагоны. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1980. - 439 с.
9. Хорн Ф.А. Атлас структур сварных соединений. Пер с нем. - М.: Металлургия, 1977. - 288 с.
10. Лившиц Л.С. Металловедение для сварщиков (сварка сталей). - М.: Машиностроение, 1979. - 253 с.
11. Сагалевиц В.М., Савельев В.Ф. Стабильность сварных соединений и конструкций. - М.: Машиностроение, 1986. - 284 с.
12. Баранова Л.В. Демина Э.Л. Металлографическое травление металлов и сплавов. Справочник. - М.: Металлургия, 1986. - 256 с.
13. Ткаченко А.Н., Гедрович А.И., Гальцов И.А. Применение метастабильной коррозионно-стойкой стали 10X13Г18ДУ в качестве обшивки вагонов электро- и дизельпоездов. Материалы международной конференции «Сварка и родственные технологии 2002». - К.: НТК ИЭС им. Е.О. Патона, 22-26 апр. 2002г. - С. 56-57.
14. Курдюмов Г.В., Энтин Р.И. Превращения в железе и стали. - М.: Наука, 1977. - 236 с.
15. Гедрович А.И. Пластическая деформация при сварке. - Луганск: Изд-во ВГУ, 1998. - 237 с.
16. Конюхов А.Д. Высоколегированные коррозионно-стойкие стали для кузовов пассажирских вагонов. - Вестник ВНИИЖД, 1998. - № 4. С. 34-39.
17. Практические аспекты сварки коррозионно-стойких сталей. Practical aspects of welding stainless steels // Weld and Metal Fabr, 1995. - №7. С. 277-278.
18. Производство кузовов вагонов для высокоскоростного поезда X2000. Production of the X2000 high-speed train-car shells/ Nordberg Ingve // Weld World, 1995. - С. 217-223.
19. Гедрович А.И., Жидков А.Б. Ресурсосберегающие методы регулирования деформаций и напряжений в сварных металлоконструкциях. - Луганск: Изд-во ВГУ им. В. Даля, 2003. - 96 с.

20. Гедрович А.И., Гальцов И.А., Жидков А.Б., Ткаченко А.Н. Сварка аустенитной стали 10X13Г18ДУ при изготовлении дизель- и электропоездов на ХК «Лугансктепловоз» // Сварщик. - 2002. - № 6 (28). С. 10-11.
21. Гедрович А.И., Гальцов И.А., Друзь О.Н., Ткаченко А.Н. Поведение аустенитной стали 10X13Г18ДУ после сварочного термомеханического цикла, применяемой в транспортном машиностроении // Вестник ВНУ им. В. Даля. -2002. - № 7 (53). С. 70-73.
22. Пат. Украины, № 45114АВ23К9/035В23К9/038. Охлаждающее устройство для снижения сварочных деформаций и напряжения // Гедрович А.И., Гальцов И.А. Заявл. 22.05.01, опубл. 15.03.02. Бюл. №3.
23. Пат. Украины № 47721АВ23К9/035В23К9/038. Охлаждающее устройство для снижения сварочных деформаций и напряжения // Гедрович А.И., Гальцов И.А., Друзь О.Н. Заявл. 13.08.01., опубл. 15.07.02. Бюл. №7.
24. Коринец И.Ф., Цзи Чжень Чун. Влияние зазора на размеры стыкового шва при дуговой сварке в смеси плавящимся электродом.// Автоматическая сварка. - 2002. - № 8. С. 16-19.

УДК 622.7.002.5:620.19

С.А.Жданов, М.Н.Жданова

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИСТИРОЛА

Исследованы химические, диффузионные, физико-механические свойства пленок в напряженно деформированном состоянии при наличии трибохимических процессов, инициируемых деструкцией полимера. Рис. 1. Табл. 3. Ист. 9.

Широко известна химическая стойкость полистирола и различных его сополимеров по отношению к агрессивным средам. Однако химическая инертность полимера является необходимым, но недостаточным условием для получения покрытий (Пк) на его основе с высокими защитными свойствами, т.к. последние в большей степени определяются диффузионными, физико-механическими и другими свойствами пленок. В связи с этим представляло интерес исследовать стойкость Пк на основе полистирола к различным агрессивным средам, а также его износостойкость. Такое Пк, полученное ранее [1] по нашей технологии (Композиция полистирольная АКС VI ТУ 12.0185751.002 – 88), предполагало обеспечить комплекс необходимых физико-механических, эксплуатационных и технологических свойств.

Для проведения испытаний Пк наносилось методом окунания на пластинки из стали марок Ст.3 размером 100x20x3 мм с округленными гранями. Технологические режимы нанесения Пк следующие:

Метод нанесения	- окунание
Вязкость по В3-4 при 18-23 град.С, сек	27
Количество слоев, шт.	12 – 16
Общая толщина покрытия, мк	200
Температура сушки, град. С	18 - 23
Температура термообработки Пк, град. С	250
Время термообработки Пк, ч	2
Режим охлаждения после термообработки	— медленное охлаждение в шкафу.

По этой технологии были изготовлены образцы Пк, обладающие следующими стабильными эксплуатационными характеристиками:

Адгезия, кгс/см ²	135
Твердость по М – 3	0,65
Эластичность по ШГ, мм	1
Прочность при ударе кгс см	58
Прочность при разрыве, кгс/см ²	360
Относительное удлинение, %	520
Коэффициент диффузии в 10% HCl при 90 град. С см ² /сек - 4,5 x 10-10	

Химическая стойкость Пк исследовалась путем погружения в сосуды с агрессивными средами определенной концентрации. Исследования проводились при температурах 20, 40 и 60 град. С, для чего сосуды с образцами помещались в термостаты. Покрытия при данных температурах испытывали в таких агрессивных средах: нитратной (1М и 3М), сульфатной, хлоридной, уксусной и щавелевой (все – 1М) кислотах, едком натре (1М) и дистилляте.

Во всех средах после 12 месяцев воздействия сред Пк сохранило стабильные эксплуатационные характеристики. Оно проявило высокохимическую стойкость не только к таким агрессивным средам, как органические и особенно неорганические кислоты, но и к щелочам.

Более длительные испытания при повышенных температурах, безусловно, сократят срок его службы в агрессивных средах вследствие ускоренной диффузии среды к подложке, поскольку полимерная пленка практически не изменяется в процессе испытания. Долговечность исследуемого Пк определяется не химическим разрушением, а диффузионной проницаемостью, которая в большей степени зависит от температуры, чем от концентрации среды.

Поскольку возрастание температуры сопровождается снижением срока службы Пк, для каждой агрессивной среды можно выбрать ту оптимальную температуру и время, при которых целесообразно применять данное Пк с учетом предъявляемых эксплуатационных требований.

Были проведены сравнительные испытания Пк на основе полистирола и широко известных, а также опытных композиций [2]. Сравнивались как защитные свойства, так и эрозионная стойкость Пк. Исследовались лакокрасочные материалы, растворимые в органических растворителях и порошковые, обладающие химической, абразивной и гидроустойчивостью, предназначенные для эксплуатации в различных климатических условиях. Учитывалась также возможность нанесения меньшего числа слоёв, сокращение продолжительности отверждения Пк, отсутствие растворителей и т.д.

Системы Пк и режимы их формирования приведены в табл. 1.

Покрытия испытывались в хлорофосе (8%-ный раствор, ХФ), трихлорацетате (8%-ный раствор, ТХА), медном купоросе, (20 %-ный, МК) и хлористом калии (8%-ный раствор, ХК).

Режимы нанесения Пк описаны ранее [3,4]. Покрытия наносили на анодированные образцы из сплава Д16. Химстойкость и защитные свойства Пк оценивались по проницаемости, изменению массы пленок, твердости (по прибору МЭ-3), прочности при ударе, изгибе и адгезии [3]. Эрозионную стойкость определяли по износу Пк (г) на приборе, приведенном в [5]. В качестве абразивного материала использовали кварцевый песок. Образцы с Пк предварительно выдерживали в агрессивных средах или испытательную среду заливали (засыпали) в стакан испытательной установки. Контактное усилие между трущимися поверхностями равнялось 1,96 Н (200гс). Износ пленки оценивался после 500 оборотов шпинделя (цикл испытания). Результаты испытаний Пк после 500 часов воздействия ТХА натрия и раствора МК приведены в табл.2.

Таблица 1

Системы Пк и режимы их формирования

Система ПК	Температура сушки, °С	Продолжительность отверждения каждого слоя, ч
1	2	3
1. Полиакриловая грунтовка АК-069 (ОСТ 6-10-401-76), 2 слоя Перхлорвиниловая эмаль ХВ-16 (ТУ 6-10-1301-78), 2 слоя	18-35 18-35	1,5 1-й слой - 2,0 2-й слой - 4,0
2. Полиакриловая грунтовка АК-070 (ОСТ 6-10-401-76), 2 слоя Эпоксидная эмаль ЭП-140 (ТУ 6-10-599-74), 2 слоя	18-35 125 - 130	1,5 1-й слой - 1,0 2-й слой - 2,0
3. Фенольно-масляная грунтовка ФЛ-03Ж (ГОСТ 9109-76), 2 слоя Полиуретановая эмаль ХВ-794, 2 слоя	20 или 100-110 18-35	1,5 0,5 10
4. Порошковая полиэфирная краска П-ПЭ-1130У (ТУ 6-10-30-01-74), 2 слоя	200	0,5
5. Композиция полистирольная АКС VI ТУ 12.0185751.002 - 88, 2 слоя	18 - 35	1-й слой - 2,0 2-й слой - 4,0
6. Порошковая эпоксидная краска П-ПЭ-91 (ТУ 6-10-100-127-78), 2 слоя	180	0,3
7. Порошковая эпоксидная краска П-ПЭ-177 (ТУ 6-10-1575-76), 2 слоя	180	2
8. Пентапласт марки А-2 (ТУ 6-05-1422-79), 2 слоя	220-240	0,3 - 0,5
9. Фторлон Ф-30П (ТУ 6-05-1706-74), 3 слоя	240-250	1,0

Таблица 2

Результаты испытаний Пк после 500 часов воздействия ТХА натрия и раствора МК

Сис-тема Пк (по табл.1)	Привес Пк после испытания, %	Твердость Пк		Прочность при ударе, Дж		Изгиб по ШГ, мм		Адгезия, баллы	
		исход-ная	после испыт.	исход-ная	после испыт.	исход-ная	после испыт.	исход-ная	после испыт.
1	—	0,18	0,15/0	5,0	4,0/0	1	3/0	1-2	4/0
2	10/12	0,6	0,23/0,2	5,0	3,5/4,0	2-3	10/10	2	2/2
3	12/8	0,27	0,33/0,31	5,0	4,5/4,5	1	10/10	1	4/4
4	0/0	0,97	0,5/0,46	5,0	5,0/4,5	5-10	1/1	1	1/1
5	5/7	0,3	0,27/0,29	5,0	5,0/4,5	1	1/2	1	1/1
6	0,01/0,21	0,53	0,25/0,26	4,5	2,0/1,8	1	15/15	1	3/3
7	0,02/0,35	0,95	0,37/0,31	5,0	4,5/4,5	1	1/1	1	1/1
8	0,2/0,22	0,53	0,38/0,31	5,0	4,0/4,5	1	1/1	2	2/2
9	0,15/0,12	0,76	0,47/0,48	5,0	5,0/5,0	1	1/1	1	1/1

Воздействие этих сред приводит к ухудшению физико-механических свойств Пк. Привес Пк на основе порошковых полимерных красок (ППК) на 1–2 порядка меньше, чем привес Пк на основе растворных систем. Значительный привес образцов Пк 1 - 3 приводит к снижению их твердости по сравнению с Пк порошковыми материалами, что сказывается и на износостойкости.

Химическая стойкость эпоксидных покрытий в медном купоросе ниже, чем в других средах, для остальных Пк более опасны химикаты, содержащие хлор. После воздействия сред лучше других сохранились свойства порошковых Пк, за исключением Пк эпоксидной краской П-ЭП-91. Объясняется это, по-видимому, тем, что отвердителем здесь служит димотол вместо дициандиамида, как в П-ЭП-177 [6]. Пк на основе полистирола занимает по стойкости среднее положение между Пк на основе растворных систем и Пк на основе ППК.

В табл. 3 приведена проницаемость Пк в 8%-ных растворах ХК, ТХА и ХФ, определенная титрованием [3] и осмотическим методом [7, с. 260 - 261], и коэффициент эффективности ($K_{эф}$), представляющий собой отношение проницаемости Пк перхлорвиниловой эмали к проницаемости испытываемого Пк, толщина 100 – 120 мкм.

Таблица 3

Проницаемость Пк в 8 %- ных растворах ХК, ТХА и ХФ и коэффициент эффективности ($K_{эф}$)

Системы Пк на основе эмалей	Проницаемость Пк, определенная			
	титрованием, мг/(см ² *сут)		осмотическим методом через 240 ч, испытания, мг/см ²	
	ХК	ТХА	ТХА	ХФ
ХВ-16	382,7/1,0	312,4/1,0	12,31/1,0	8,12/1,0
ХВ-794	237,9/16	162,1/1,92	8,02/1,53	7,35/1,14
АКС	153/9	85,6/4,2	6,53/2,17	3,46/8,75
П-ЭП-91	68,9/5,55	46,4/6,73	4,86/2,53	0,51/15,92
П-ЭП-177	54,2/7,06	34,3/9,1	0,97/12,6	0,64/12,68

Износостойкость Пк зависит от прочности и твердости полимерной пленки. Абразивный износ обусловлен тем, что при напряженно деформированном состоянии полимера при контакте его с истирающим телом достигаются предельные значения напряжений, превышающие прочностные характеристики пленки покрытия, и происходит разрушение его поверхности. Абразивный износ сопровождается трибохимическими процессами, инициируемыми деструкцией полимера.

С увеличением продолжительности выдержки образцов в 8 %- ном растворе ХФ твердость и прочность Пк снижаются, износ возрастает (рис. 1).

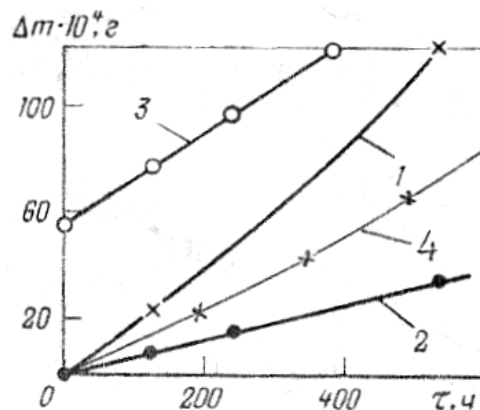


Рис.1. Зависимость износа Пк Δm (г) от продолжительности старения τ в 8 %-ном растворе ХФ после 500 часов испытаний
1 – П-ПЭ – 1130У; 2 - П – ЭП -177; 3 – ХВ – 16; 4 – АКС

Снижение износостойкости Пк П-ПЭ-1130У и П-ЭП-177 после выдержки в растворе хлорофоса связано, видимо, с разрушением сетчатой структуры полимерной пленки. Снижение износостойкости Пк на основе эмали ХВ-16 происходит в основном из-за набухания и связанного с ним снижения твердости пленки без заметного разрушения молекулярных цепей. Это подтверждается тем, что после промывки и сушки свойства Пк ХВ-16 практически полностью восстанавливаются. Износостойкость АКС снижается из-за потери во влажной среде твердости и частичного разрушения наружного слоя пленки.

Выводы: В условиях эксплуатации продолжительность контакта Пк с химикатами не превышает нескольких десятков часов. Износостойкость порошковых Пк при такой продолжительности воздействия в 2 – 2,5 раза выше, чем у Пк эмалью ХВ-16, однако их стойкость к ударным воздействиям значительно ниже [8] чем у обладающих большей вязкостью Пк на основе полистирола. Испытания последних на абразивный износ в среде аммиачной селитры [9] дали хорошие результаты. Износ Пк в процессе непрерывного трехчасового воздействия в вибрационной установке составил 0,5 – 0,6 мкм, что является показателем высокой износостойкости. Полученные результаты испытаний, малая стоимость, технологичность и ремонтоспособность позволяют рекомендовать Пк на основе полистирола для защиты от коррозии внутренних поверхностей вагонов минераловозов и другой сельскохозяйственной техники. Несмотря на то, что присутствие влаги несколько ослабляет механизм защитного действия Пк, однако защита от её попадания внутрь, например, вагона, перевозящего минеральные удобрения, может быть обеспечена его конструкцией и должна быть решена на вагоностроительных заводах

Литература

1. Жданов С.А. Подбор состава и исследование модифицированных защитных покрытий на основе композиции «Стикор» для крыши и внутренней поверхности кузова вагона минераловоза. Отчет о научно исследовательской работе. Ч.1. Минвуз УССР № госрег. 01880026890. – Луганск. ЛМИ, 1990. – 169 с.
2. Бейдер Э.Я., Смоляницкая И.В., Ларин В.С., Коллодий Л.С. Защита от коррозии узлов и агрегатов сельскохозяйственной авиационной техники // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1988. № 6. – С. 23-24.
3. Лакокрасочные покрытия в машиностроении. Справочник под ред. М.М.Гольдберга. – М.: Машиностроение, 1974. - 576 с.
4. Бейдер Э.Я., Яковлев А.Д. Сб. науч. тр./ Свойства покрытий на основе порошковых полимеров. – Л.: ЛДНТП, 1976.
5. Карякина М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий.- М.: Химия, 1988. – 272 с.
6. Шешуков А.В. и др. Сб. науч. тр. / Достижения в производстве, переработке и применении порошковых полимерных материалов. – Л.: ЛДНТП, 1980. - с. 10-15.
7. Чеботаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1978. - 295 с.
8. Жданов С.А. Исследование натуральных образцов боковых стенок вагонов минераловозов с покрытием на основе композиции «Стикор» на устойчивость к удару. Отчет о научно-исследовательской работе. Ч.2. Минвуз УССР № госрег. 01880026890. – Луганск. ЛМИ, 1990. – 55 с.
9. Жданов С.А, Жданова М.Н. Исследование защитных свойств покрытий под действием абразивного износа в химически активной среде. Сб. науч. тр. / Проблемы развития рельсового транспорта: тезисы докладов VII Международной конференции (Ливадия, Крым, 29 сентября - 3 октября, 1997) Луганск. ВУГУ, 1997. – 108 с.

В.И.Юдин, И.Н.Парфенова

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ОЦЕНКИ
ФИНАНСОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ
ПРЕДОСТАВЛЕНИИ ЕМУ БАНКОВСКОГО КРЕДИТА**

В соответствии с концепцией создания системы рейтинговой оценки субъектов хозяйствования разработано интегрированное в Microsoft Excel приложение анализа финансового положения предприятия. Рис. 3. Табл. 1. Ист.4.

Одной из причин банкротства банка является непогашение кредитов предприятиями-заемщиками. Причины возникновения кредитного риска (риска неплатежа заемщика по ссуде) кроются в неопределенности хозяйственной обстановки, влияющей на производственную деятельность заемщиков.

Таким образом, снижение кредитного риска является наиболее актуальной проблемой для коммерческого банка.

Один из основных способов снижения риска неплатежа по ссуде – правильный отбор потенциальных заемщиков. Финансовая устойчивость банка, качество его кредитного портфеля должны быть обеспечены, в первую очередь, квалифицированным выбором партнеров на рынке потребителей банковских услуг. Главным средством такого выбора является экономический анализ деятельности клиента с позиции его кредитоспособности. Такой анализ предоставляет руководству банка информацию, позволяющую оценить вероятность выполнения клиентом своих обязательств перед банком и принять соответствующие управленческие решения.

В соответствии с распоряжением Кабмина Украины от 1 апреля 2004 года N 208-р и постановлением правления национального банка Украины №279 от 6 июля 2000 года во избежание кредитного риска банк обязан производить оценку финансового состояния заемщика. В соответствии с положением критерии и методика оценки устанавливаются каждым банком самостоятельно.

Одна из действующих ныне методик предусматривает проведение анализа финансовой деятельности предприятия на основании данных баланса и отчета о финансовых результатах с применением дифференцированного подхода по секторам экономики.

Состояние предприятия определяется на основе следующих финансовых показателей, рассчитываемых по данным балансового и финансового отчетов:

- ликвидности, в состав которой входят коэффициенты текущей (C_1) и быстрой (C_2) ликвидности;
- деловой активности, оцениваемой периодами оборачиваемости дебиторской задолженности (C_3), запасов (C_4) и активов (C_5);
- финансовой независимости (C_6) и доля текущих активов (C_7);
- рентабельности продаж (C_8), активов (C_9), капитала (C_{10});
- а также коэффициенты износа основных средств (C_{11}), доли просроченной дебиторской (C_{12}) и кредиторской задолженностей (C_{13}).

Для каждого из финансового показателя, в зависимости от его значения, с помощью интегрированных по отраслям матриц ранжирования (веса показателя) определяются их рейтинги R_i . Рейтинг каждого финансового показателя может принимать значение от 0 до 10. По рейтингу (с учетом веса каждого финансового показателя W_i) рассчитывается интегрированный показатель ИП финансового состояния предприятия.

Вес финансовых показателей в интегрированном показателе

Обозначение финансового показателя	Вес финансового показателя W_i	Обозначение финансового показателя	Вес финансового показателя W_i
Показатели ликвидности		Показатели финансовой независимости	
C_1	8%	C_6	8%
C_2	9%	C_7	9%
Показатели оборачиваемости		Показатели рентабельности	
C_3	5%	C_8	15%
C_4	5%	C_9	15%
C_5	7%	C_{10}	10%
Прочие показатели			
C_{11}	3%	C_{13}	3%
C_{12}	3%		

$$ИП = \sum_{i=1}^{13} R_i \cdot W_i$$

Интегрированный показатель финансового состояния предприятия за несколько временных периодов позволяет определить долгосрочный кредитный рейтинг финансового состояния заемщика. Он определяется в зависимости от наличия положительной или отрицательной тенденции в динамике величины интегрированного показателя финансового состояния заемщика за последние 3 временных периода, или при ее отсутствии.

По значению этого рейтинга предприятие можно отнести к одному из следующих классов инвестиционного уровня:

uaAAA - исключительный (высочайший) уровень способности заемщика своевременно и в полном объеме выплачивать проценты и основную сумму по долговым обязательствам;

uaAA - очень высокий уровень способности заемщика своевременно и в полном объеме выплачивать проценты и основную сумму по долговым обязательствам;

ua - высокий уровень способности заемщика своевременно и в полном объеме выплачивать проценты и основную сумму по долговым обязательствам. Однако такой заемщик чувствительный к неблагоприятным изменениям в коммерческих, финансовых и экономических условиях сравнительно с заемщиками с более высокими рейтингами;

uaBBB - достаточная способность заемщика своевременно и в полном объеме выплачивать проценты и основную сумму по долговым обязательствам. Однако такой заемщик находится под влиянием неблагоприятных изменений в коммерческих, финансовых и экономических условиях сравнительно с заемщиками с более высокими рейтингами;

ua1 - исключительный (высочайший) уровень способности заемщика своевременно и в полном объеме выплачивать проценты и основную сумму по долговым обязательствам. Финансовый стан заемщика дает возможность предотвратить любые риски, которые могут возникнуть в краткосрочном периоде;

ua2 - очень высокий уровень способности заемщика своевременно и в полном объеме выплачивать проценты и основную сумму по долговым обязательствам. Финансовый стан заемщика дает возможность предотвратить предвиденные риски в краткосрочном периоде;

ua3 - достаточная способность заемщика своевременно и в полном объеме выплачивать проценты и основную сумму по долговым обязательствам. Финан-

совый стан заемщика удовлетворительный для того, чтобы предотвратить предвиденные риски в краткосрочном периоде.

Класс заемщика по результатам оценки его финансового состояния определяется на основе основных показателей и корректируется с учетом субъективных показателей.

Описанный выше алгоритм определения финансового состояния предприятия реализован в приложении "Финансовый анализ".

Как было сказано ранее, анализ финансовой деятельности проводится на основании балансового и финансового отчетов предприятия. Эти отчеты предоставляются в банк, оформленными в виде таблиц. Поэтому естественным явилась разработка приложения на основе электронных таблиц Microsoft Excel.

В настоящее время на Украине осуществлен переход на новые формы бухгалтерской и финансовой отчетности. При анализе финансовой деятельности предприятия приходится работать с документами, составленными как по старой, так и по новой формам отчетности.

Учитывая это, в состав рабочей книги Microsoft Excel, являющейся основой приложения "Финансовый анализ", введены дополнительные листы с исходными данными.

Рабочая книга содержит 6 листов :

листы "б" и "ф" предназначены для ввода данных бухгалтерского и финансового отчета предприятия за период до 2000 года;

листы "бн" и "фн" предназначены для ввода данных бухгалтерского и финансового отчета предприятия за период после 2000 года;

на листе "Итог" пользователь отмечает диапазон вывода значений показателей финансовой деятельности и интегрированного показателя;

на листе "Диаграмма" отображается диаграмма изменения интегрированного показателя по годам. На основании диаграммы банк принимает решение о предоставлении кредита.

Методические рекомендации по переходу от старой формы отчетности к новой изложены на скрытых листах "Переход 1" и "Переход 2".

Расчет показателей финансовой деятельности предприятия и построение диаграммы изменения интегрированного показателя производится программой, написанной на языке Visual Basic for Application.

Приложение работает следующим образом.

После открытия рабочей книги приложения в основное меню Excel добавляется команда "Финанализ". В листы "б" и "ф" или "бн" и "фн" заносятся исходные данные из бухгалтерского и финансового отчетов за соответствующие года. Из меню приложения выбирается команда "Начало работы".

На экран выводится рабочая форма "Расчет финансовых показателей", служащая для ввода исходной для расчета интегрированного показателя информации.

В поле "Отрасль" формы из раскрывающегося списка выбирается отрасль экономики, в которой осуществляет свою деятельность заемщик.

В поля "Имя листа балансового отчета" и "Имя листа финансового отчета" с клавиатуры вводятся имена листов соответствующих отчетов. Необходимо обязательно учесть год составления отчета.

Для ввода года составления финансового или балансового отчета необходимо, находясь внутри соответствующего поля, щелкнуть мышкой по ячейке с годом (год должен быть введен в соответствующую ячейку рабочего листа в числовом формате).

Диапазон вывода рассчитанных коэффициентов и интегрированного показателя должен быть выделен на листе "Итог".

Расчет финансовых показателей

Отрасль: **Торговля**

Имя листа балансового отчета: Год отчета: баланса:

Имя листа финансового отчета: финансов:

Диапазон вывода коэффициентов и рейтинга:

В диапазоне должно быть не более 14 строк, начало первого диапазона с ячейки

Рис. 1. Вид формы ввода информации в программу расчета финансовых показателей

Расчет рейтинга финансового состояния производится после нажатия кнопки "Выполнить".

Результаты расчета приведены на рис. 2

	A	B	C	D	E
1	2001	Значения	Рейтинг	Интегр. к-т	
2	1. Коэффициент текущей ликвидности	1,097	1	0,08	
3	2. Коэффициент быстрой ликвидности	0,000	0	0	
4	3. Период оборачиваемости дебиторской задолженности	-200,312	10	0,5	
5	4. Период оборачиваемости запасов	125,066	0	0	
6	5. Период оборачиваемости активов	-7760,695	10	0,7	
7	6. Коэффициент финансовой независимости	19,62%	9	0,72	
8	7. Доля текущих активов, сформированных за счет собственных средств	-6,16%	0	0	
9	8. Рентабельность продаж	34,45%	10	1,5	
10	9. Рентабельность активов (ROA)	1,60%	5	0,75	
11	10. Рентабельность капитала (ROE)	2,03%	5	0,5	
12	11. Износ основных средств	100,00%	0	0	
13	12. Доля просроченной дебиторской задолженности	3118,02%	10	0,3	
14	13. Доля просроченной кредиторской задолженности	73,32%	10	0,3	
15	Интегрированный показатель предприятия		2001	5,350	
16					
17			1998	6,330	
18	Рейтинг финансового состояния предприятия	aaBBB	1999	5,960	
19			2000	5,430	
20			2001	5,350	

Рис.2. Вид листа рабочей книги с результатами расчета финансовых показателей

Приложение снабжено справкой, вызов которой осуществляется из его меню. В справке подробно расписаны действия пользователя при вводе информации в приложение, а также основные моменты работы.

Все справочные коэффициенты, характеризующие исследуемую отрасль деятельности предприятия, а также варианты расчета рейтинга и интегрального коэффициента в соответствии с различными формами отчетности, приведены в соответствующих модулях приложения.

Приложение рассчитано на работу в среде Microsoft Excel 97 и выше.

По данным диапазона Итог!C17:D20 на листе Диаграмма строится диаграмма изменения интегрированного показателя фирмы по годам. В ячейку Итог!B18 помещается рассчитанный на основании рейтинга класс предприятия.

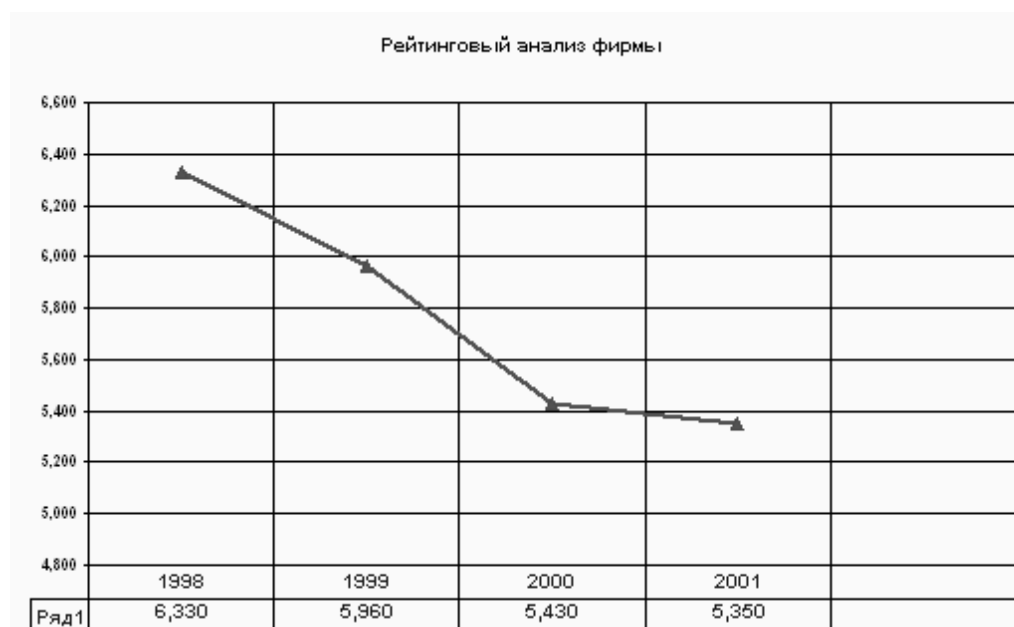


Рис. 3. Диаграмма изменения рейтинга предприятия, построенная по результатам, приведенным на рис. 2

Применение описанного приложения позволяет в значительной мере упростить и ускорить работу банковских служащих при определении рейтинга предприятия на основании данных финансового и балансового отчетов вне зависимости от сферы его деятельности

Литература

- 1 Постанова правління Національного банку України № 279 від 06 липня 2000 року.
- 2 Розпорядження Кабінету Міністрів України від 1 квітня 2004 р. N 208-р Про схвалення Концепції створення системи рейтингової оцінки регіонів, галузей національної економіки, суб'єктів господарювання.
- 3 Гарнаев А.Ю. Использование MS Excel и VBA в экономике и финансах. -СПб.: БХВ - Санкт-Петербург, 2000. – 336 с.
- 4 К. Гетц, М. Джилберт. Программирование в Microsoft Office. Полное руководство по VBA. : пер. с англ. – К.: Издательская группа BHV, 2000. – 768 с.

Н.А.Касьянов, Ю.Ю.Симонова, В.А.Медяник, И.Ю.Левчук

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Показана необходимость исследования возможности применения инфракрасного излучения для отопления производственных помещений с точки зрения безопасности работников. Ист. 8.

Введение. В условиях ограниченности топливно-энергетических ресурсов особую актуальность приобретает вопрос их экономии. В данное время в Украине намечается тенденция к более широкому распространению децентрализованного теплоснабжения. Главными преимуществами децентрализованного теплоснабжения является уменьшение затрат на транспортирование теплоты и большая надежность его работы.

Одним из наиболее перспективных путей снижения затрат на отопление и вентиляцию производственных помещений является переход к децентрализованному газовому лучевому отоплению. Инфракрасное газовое отопление позволяет поддерживать комфортные условия в помещении при меньших затратах топлива. Современные исследования [1, 2] показывают, что при использовании таких систем экономия энергоресурсов может достигать 30...70%. Особенно значительную экономию можно получить в помещениях, которые используются периодически, в помещениях, на общей площади которых необходимо создать различные температурные условия, а также в помещениях, которые имеют значительную высоту [3, 4].

Постановка задачи. Существующие методы расчета систем отопления направлены только на определение их мощности и не дают возможности проанализировать и оптимизировать совместную работу систем отопления и вентиляции в помещении. Поэтому анализ теплого и воздушного режима помещений, создание методики расчета системы лучевого отопления и вентиляции помещений, разработка рекомендаций по ликвидации наиболее существенных недостатков лучевого газового отопления с учетом безопасного воздействия на человека-оператора является актуальной задачей и нуждается в выполнении прикладных исследований в условиях производства, на что указывают и другие исследователи [5].

Материалы и результаты исследований. Инфракрасные (ИК) лучи – это электромагнитное излучение, подчиняющееся законам оптики и, следовательно, имеющее ту же природу, что и видимый свет. Они занимают спектральную область между красным видимым светом (длина волны 0,74 мкм) и коротковолновым радиоизлучением (1...2 мм). В свою очередь инфракрасную область спектра условно разделяют на коротковолновую (от 0,74 до 2,5 мкм), средневолновую (2,...50 мкм) и длинноволновую (50...2000 мкм). ИК-лучи выделяют все нагретые твердые и жидкие тела, при этом длина излучаемой волны зависит от температуры тела – чем она выше, тем короче волны, но выше интенсивность излучения.

При низких температурах излучение нагретого твердого тела почти целиком расположено в инфракрасной области, и такое тело кажется темным. При повышении температуры излучаемые телом волны смещаются в видимую область спектра, и тело вначале кажется темно-красным, затем красным, желтым и, наконец, при высоких температурах – белым.

На этом основана классификация промышленных газовых инфракрасных обогревателей, которая выделяет светлые высокотемпературные (с температурой излучения выше 1000°C), светлые среднетемпературные (800...1000°C), низкотемпературные каталитические (600...800°C), темные (400...600°C) и су-пертемные (200...400°C) излучатели.

Тепловое излучение от ИК-обогревателя (в дальнейшем ИКО) не поглощается воздухом, поэтому вся энергия от прибора почти без потерь достигает обогреваемых поверхностей и людей в зоне его действия. Причем выделение тепла от ИКО происходит только в зоне его прямого действия, т. е. обогрев носит локальный характер, что и обеспечивает ИКО целый ряд преимуществ перед другими отопительными приборами.

Во-первых, при использовании ИКО практически отсутствует скапливание более теплого воздуха под потолком, что характерно, например, для конвективного обогрева. Эта особенность работы ИКО делает их практически незаменимыми при решении задач экономичного обогрева помещений с высокими потолками, прогреть огромный объем которых технически слишком дорого, или аналогичных помещений, в которых обогревать надо только определенные рабочие зоны, а также производственных помещений, в которых создание конвективных потоков воздуха нежелательно.

Во-вторых, при использовании локального «догрева» с помощью ИКО зон, в которых непосредственно находятся люди, допускается снижение температуры, создаваемой основной системой отопления во всем помещении, на несколько градусов. При этом «ощущаемая» температура останется неизменной, поскольку снижение температуры воздуха будет компенсироваться ИК-«добавкой», поглощаемой непосредственно человеческим телом.

Таким образом использование инфракрасных обогревателей приводит к снижению потребления энергии и уменьшению затрат на обогрев по сравнению с традиционными способами его осуществления. Источником энергии для ИКО может служить электричество, газ, жидкое топливо (керосин) или горячая вода.

Однако при использовании ИФ отопления необходимо учитывать возможные последствия влияния ИФ излучения на организм человека.

Эффект действия ИФ излучения зависит от длины волны, которая обуславливает глубину их проникновения [6]. В связи с этим инфракрасное излучение подразделяется на три области: А, В, С. К области А относятся излучения с длиной волны от 760 до 1500 нм, к области В – от 1500 до 3000 нм и к области С – более 3000 нм. Первая область инфракрасных излучений (проникающее действие через кожу) обозначается как коротковолновое ИФ излучение, а следующие две области – как длинноволновые. Длинноволновое излучение поглощается большей частью в эпидермисе, в то время как видимые излучения в основном поглощаются кровью в слоях дермы и подкожной жировой клетчатки.

Допустимая интенсивность и продолжительность инфракрасного облучения регламентируется санитарными нормами [7]. Превышение допустимой плотности ИК излучения влияет на функциональное состояние человека, его центральную нервную систему, сердечно-сосудистую систему. Отмечается резкое учащение сердцебиения, повышение максимального и понижение минимального артериального давления, учащение дыхания, повышение температуры тела и усиление потоотделения, заболеваемость сердечно-сосудистой системы и органов пищеварения [6].

Наиболее тяжелые поражения вызываются короткими инфракрасными излучениями. При их интенсивном воздействии на непокрытую голову может произойти солнечный удар – головная боль, головокружение, учащение пульса, ускорение дыхания, затемнение и потеря сознания, нарушение координации

движений, тяжелые поражения мозговых оболочек и мозговых тканей вплоть до выраженного менингита и энцефалита.

Наиболее опасными для глаз являются ИК излучения с длиной волны 1...1,8 мкм. Они могут вызывать целый ряд патологических изменений: конъюнктивиты, помутнение и васкуляризацию роговицы, депигментацию радужки, спазм зрачков, помутнение хрусталика, ожог сетчатки и хориоретинит («снеговая» слепота). Максимум излучения приходится на длину волны 1...1,8 мкм, если температура излучателя составляет 1330...2610°C, поэтому использование излучателей с такой температурой нежелательно [8].

При температуре излучателя 800...1200°C, когда максимум излучения приходится на длину волны 2...2,6 мкм, ИК-излучение практически не оказывает отрицательного воздействия на глаза человека. Поэтому для отопления можно применять приборы ИК-излучения, температура которых не превышает 1200°C.

Результаты аналитического исследования показали, что применение ИК обогревателей обеспечивает:

- экономию энергии;
- низкие затраты на монтаж и высокую скорость его выполнения;
- возможность задавать любые температурные режимы и автоматически их обеспечивать, а так же возможность централизованного компьютерного управления комплексом помещений;
- бесшумность, экологичность, влагоустойчивость, пожаробезопасность;
- возможность потолочного или настенного размещения ИК-обогревателей, что позволяет освободить от отопительных приборов рабочую зону;
- возможность использования ИК-обогревателей в качестве основной, дополнительной или аварийной системы отопления;
- организацию локального прогрева необходимых рабочих зон;
- прогрев помещения до заданной температуры с большей скоростью, чем при любых других способах отопления;
- эффект аккумуляции тепла конструкциями зданий и оборудованием.

Выводы. Несмотря на существенные преимущества, инфракрасное отопление пока не получило широкого распространения, что связано с недостаточной изученностью последствий его влияния на человека-оператора. Поэтому основной проблемой является ответ на вопрос относительно возможности использования инфракрасного излучения в конкретных производственных условиях с точки зрения безопасности работников и оптимизации его применения.

Литература

1. Родин А.К. Газовое лучистое отопление. – Л.: Недра, 1987. – 191с.
2. R. Castiglioni. Soffitti e travi fredde, l'ultima frontiera della climatizzazione // Costruire Impianti. – 2003. – № 1.
3. Богословский В.Н., Сканава В.Н. Отопление. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
4. Богуславский А.Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции. – М.: Стройиздат, 1985. – 457 с.
5. Строй А.Ф., Припотень Ю.К. Техніко-економічне обґрунтування та визначення галузі застосування променевого газового опалення // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полт. держ. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка.– Полтава, 1999.– Вип. 4. – С. 113-121.
6. Справочник по охране труда на промышленном предприятии / под ред. Ткачука К.Н., Иванчука Д.Ф., Сабарно Р.В., Степанова А.Г. – К.: Техника, 1991. – 285 с.
7. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
8. Припотень Ю.К. Вдосконалення методів розрахунку та розробка конструктивних елементів для систем опалення за допомогою високотемпературних газових випромінювачів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03. – Харків, 2001. – 20 с.

А.И.Гедрович, О.Н.Друзь

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА И ФОРМИРОВАНИЕ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ПРИ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

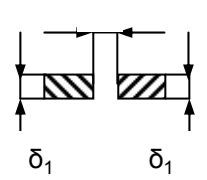
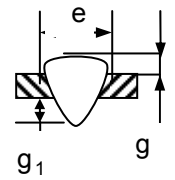
В работе приведен анализ влияния конструктивных особенностей сборки элементов под сварку на термомеханические процессы в сварочной ванне и зоне термического влияния. Установлено, что с увеличением величины зазора, допускаемой ГОСТом, для свариваемого металла одной и той же толщины необходимо увеличивать диаметр присадочной проволоки и мощность сварочной дуги, что приводит к изменению размеров зоны пластических деформаций. Табл. 2. Ист. 4.

Теория сварочных процессов не позволяет сегодня дать ответ на вопрос, какие должны быть значения параметров режима сварки в среде защитных газов для получения швов заданной геометрии и минимальных размеров активной зоны. Причиной такого положения является сложность процессов происходящих при сварке, хотя большинство физических явлений известны и достаточно точно описаны математически. В связи с этим разработка расчетных методов прогнозирования сварочных деформаций на основе расчетных методов определения активной зоны является весьма актуальным.

Целью работы явилось изучение влияния конструктивных особенностей сборки на термомеханические процессы в сварочной ванне и зоне термического влияния.

Основным способом получения сварных соединений из листов толщиной до 6 мм из низкоуглеродистых и низколегированных сталей является электродуговая сварка плавящимся электродом в среде защитного газа CO_2 . По ГОСТ14771-76 однопроходные стыковые соединения должны быть собраны под сварку и иметь размеры сварных швов согласно требованиям, приведенным в табл. 1.

Таблица 1
Размеры подготовленных кромок и сварных швов стыкового соединения С2 при сварке в CO_2 (мм)

Конструктивные элементы		$\delta = \delta_1$	b		e_1 не более	q	q_1
подготовки кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		ном	пред откл			
		0,8 – 1,2 1,4 – 2,0	0	+1,0	7,0	$1,0^{\pm 0,5}$	$1,0^{\pm 1,0}$ $-0,5$
		2,2 – 4,0		+1,5			
		4,5 – 6,0		+2,0	12,0		

При оценке остаточных деформаций сварных конструкций из этих сталей используется понятие об активной зоне ($2b_n$), в которой остаточные напряжения достигают предела текучести основного металла (σ_T).

Активная зона состоит из двух составляющих: площади шва ($F_{ш}$) и площади зоны термического влияния, в которой произошла пластическая деформация укорочения при нагреве ($F_{пд}$) [1].

Теоретически зону пластических деформаций можно установить по размерам изотермы $T = 300^{\circ}\text{C}$, которая зависит от мощности источника нагрева и жесткости соединяемых элементов. При сварке сварочная дуга нагревает обе кромки соединения. Принимая, что сварочная дуга – мощный быстро движущийся источник нагрева можно записать, для наплавки на кромку листа, что имеет место при сварке встык [1]:

$$b_{п}^H = \frac{0,484q_{и}}{2V\delta c\gamma T_{пд}^H} K_{\sigma} K_{ж} , \quad (1)$$

где $q_{и}$ – эффективная энергия нагрева, Дж/с; ($q_{и} = IU\eta_{и}$; I – сила сварочного тока, А; U – напряжение на дуге, В; $\eta_{и}$ – к.п.д. процесса сварки (для сварки в CO_2 $\eta_{и}=0,7$)); V – скорость сварки, см/с; δ – приведенная толщина, см; $c\gamma$ – объемная теплоемкость (для стали $c\gamma = 5,2$ Дж/(см³·°C));

$T_{пд}^H$ – температура пластической деформации при наплавке на кромку равна 300°C ;

K_{σ} – коэффициент, учитывающий прочностные характеристики стали ($K_{\sigma} = 1,44 - 0,00176 \cdot \sigma_T$);

$K_{ж}$ – коэффициент, учитывающий жесткость соединяемых элементов ($K_{ж} = 0,3 + 0,0022 \cdot H$, при $H \geq 400$ мм; $K_{ж} = 1,0$).

Формируется эта зона за счет теплопроводности, т.е. передачи тепла от сварочной ванны к основному металлу.

Площадь шва $F_{ш}$ нормируется ГОСТом 14771-76, а $F_{пд}$ зависит от эффективности передачи тепла в основной металл сварочной ванной.

Размеры шва ($F_{ш}$), как правило, в пределах диапазона толщин остаются неизменными (табл. 1.), что определяется параметрами (e), шириной шва и технологическими припусками q и q_1 .

По классическим представлениям:

$$F_{ш} = F_{н} + F_{пр} , \quad (2)$$

где $F_{н}$ – площадь наплавленного металла;

$F_{пр}$ – площадь проплавления.

Сборку стыкового соединения осуществляют с зазором b . Зазор изменяется в пределах от 0 до +2,0 мм при сварке металла толщиной $\delta = 4,5 - 6,0$ мм. Изменение конструктивных элементов соединения при сборке изменяет кинетику плавления основного металла.

Рассматривая процессы передачи тепла от сварочной дуги к твердому металлу, можно отметить следующее. Энергия источника передается разными путями, чаще всего через слой «жидкий металл-жидкая прослойка» на передней кромке или непосредственно под дугой. Чем большая доля теплоты передается через слой жидкого металла (и чем больше толщина слоя), тем больше будут перегрев ванны и потери энергии в нем и больше рассосредотачивается тепло-

вой поток и тем меньше градиенты температуры у поверхности твердого металла [2], в результате чего снижается эффективность процессов проплавления.

Полагая, что форма переднего фронта (ограничена изотермой плавления) имеет вид части сферы радиуса R и исходя из известных размеров проплавления основного металла в работе [3] для сварки в CO_2 , получена формула для средней толщины жидкого слоя, распределенному по переднему фронту сварочной ванны:

$$\delta_{\text{cp}} = \frac{R}{\frac{Rq_{\text{и}}}{F\lambda(T_{\text{кип}} - T_{\text{пл}})} + 1}, \quad (3)$$

где F – площадь поверхности переднего фронта сварочной ванны;

λ – коэффициент теплопроводности;

$q_{\text{и}}$ – эффективная мощность источника нагрева;

$T_{\text{кип}}$ – температура кипения металла;

$T_{\text{пл}}$ – температура плавления.

Экспериментально установлено различие между глубиной проплавления h и толщиной жидкой прослойки $\delta_{\text{ж}}$ (рис. 1).

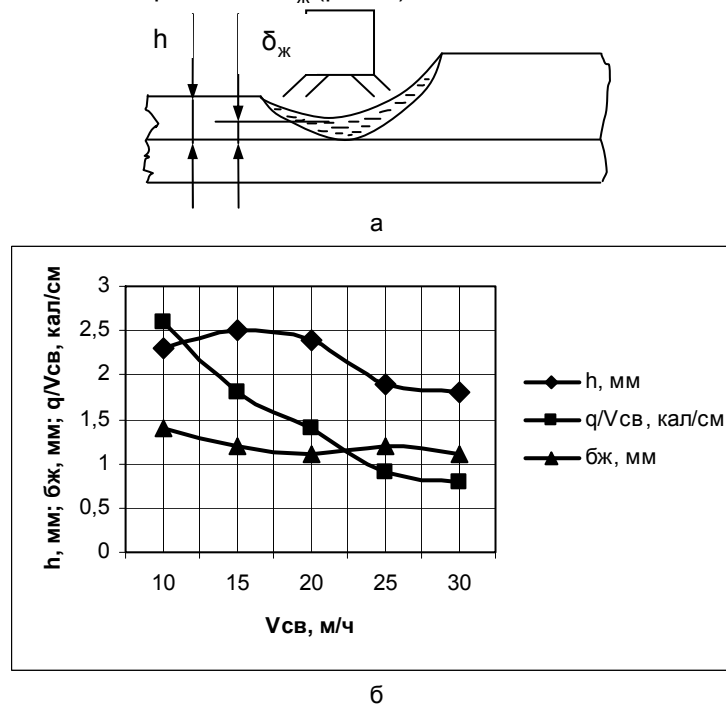


Рис. 1. Зависимость толщины жидкой прослойки $\delta_{\text{ж}}$ под дугой и глубиной проплавления h от скорости сварки ($I_{\text{св}}=140\text{A}$; $U_{\text{д}}=20\text{В}$):
а – схема процесса; б – графические зависимости

При постоянных значениях теплопроводности, температуры кипения и плавления, δ_{cp} зависит от размеров площади поверхности переднего фронта сварочной ванны и эффективной мощности источника нагрева. От жидкой прослойки тепло передается в основной металл.

Для более удобного пользования формулой (3) выразим площадь поверхности переднего фронта сварочной ванны F через R , а все постоянные ве-

личины (теплопроводность, температуры кипения и плавления) обозначим комплексной величиной C :

$$\pi\lambda(T_{\text{кип}} - T_{\text{пл}}) = C.$$

Для выражения площади F через радиус R , необходимо сделать допущение, что радиус распространения сварочной ванны R является ее полушириной (см. рис. 2).

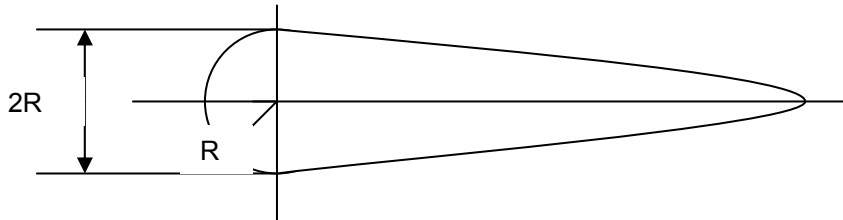


Рис. 2. Схема сварочной ванны

Из рис. 2 видно, что площадь поверхности переднего фронта сварочной ванны F – это площадь полуокружности, т.е.:

$$F = \frac{\pi R^2}{2}.$$

Проведя преобразования и подставив в формулу (3) значение площади F , получим конечную формулу:

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{R^2 C}{2q_{\text{н}} + RC} \quad (4)$$

или

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{R^2 C}{2IU\eta_{\text{н}} + RC}. \quad (5)$$

С учетом выражения для определения ширины сварного шва [4] выражение (5) приобретет вид:

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{q_{\text{н}} C C_2}{2q_{\text{н}} + \sqrt{q_{\text{н}} C_2} \cdot C}, \quad (6)$$

где $q_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{н}}}{V}$ – погонная энергия нагрева, $\frac{\text{Дж}}{\text{см}}$;

C_2 – комплексная величина, учитывающая постоянные значения теплофизических величин:

$$C_2 = \frac{2a}{\pi\lambda e T_{\text{пл}}}, \quad (7)$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\frac{\text{см}^2}{\text{с}}$;

$e=2,718$ – основание натурального логарифма.

Из выражений (4 и 6) следует, что толщина жидкого слоя $\delta_{\text{ср}}$, при постоянных теплофизических свойствах, зависит от геометрии фронта сварочной ванны и мощности электрической дуги. При сварке в среде защитных газов мощность источника определяется силой сварочного тока и напряжением на дуге. С увеличением сварочного тока возрастает давление столба дуги [2] и уменьшается толщина слоя расплавленного металла.

Исследования показывают, что с увеличением кривизны переднего фронта сварочной ванны отношение средней толщины прослойки к толщине слоя под дугой уменьшается. Таким образом, происходит изменение распределения жидкого слоя по поверхности переднего фронта.

Все эти рассуждения справедливы при наплавке или сварке в CO_2 стыкового соединения с нулевым зазором b . Согласно табл. 1 ГОСТ 14771-76 допускает сварку металла одной и той же толщины δ при наличии зазора b . Например, при $\delta=3$ мм он может достигать величины 1 мм. Такое положение изменяет соотношение сил, действующих на расплавленный металл (давление столба дуги, гидростатическое давление расплавленного металла и т.п.), и требует дополнительного присадочного металла для формирования заданного ГОСТом $F_{\text{н}}$ ($F_{\text{н}} = \delta b + 0,73e g + 0,73e_1 g_1$). Это обстоятельство изменяет параметры режима сварки металла заданной толщины. Экспериментально установлено, что для получения требуемого $F_{\text{н}}$ необходимы новые режимы сварки (табл. 2). Сварку выполняли автоматом АДГ-5002. Основной металл ВСт3 (ГОСТ 380-71), сварочная проволока Св-08Г2С.

Таблица 2

Режимы сварки стыковых соединений в углекислом газе однопроходных сварных швов (постоянный ток, обратная полярность)

δ , мм	b , мм	$d_{\text{эл}}$, мм	$I_{\text{св}}$, А	$U_{\text{д}}$, В	$V_{\text{св}}$, м/час	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
0,8-1,0	0-0,3	0,7-0,8	50-85	17-18	25-50	8-10	6-7
1,5-2,0	0-0,8	0,8-1,2	90-200	18-22	25-55	8-13	6-7
2,0	0-0,8	1,0-1,2	180-250	22-23	25-75	10-13	8-9
3,0	0-1,0	1,2-1,4	200-300	23-110	25-110	12-15	8-11

Из полученных результатов видно, что с увеличением величины зазора в пределах одной толщины свариваемого металла требуются присадочные проволоки большего диаметра и повышенная мощность сварочной дуги. Данные результаты согласуются с рекомендациями работы [3]. Таким образом, получение заданного $F_{\text{н}}$ требует перехода к новым параметрам режима сварки, что приводит к различным размерам площади пластически деформированного металла, определяемой по выражению (1).

Выводы. 1. Изменение конструктивных элементов соединения при сборке изменяет кинетику плавления основного металла.

2. С увеличением доли теплоты, передаваемой через слой жидкого металла, увеличиваются перегрев сварочной ванны и потери энергии (рассосредотачивается тепловой поток), следовательно, снижается эффективность процессов проплавления.

3. С увеличением кривизны переднего фронта сварочной ванны отношение средней толщины прослойки к толщине слоя под дугой уменьшается.

4. Кривизну переднего фронта сварочной ванны можно регулировать лишь параметрами режима сварки.

5. Изменение зазора в стыковом соединении (С2), регламентируемого ГОСТом 14771-76, изменяет соотношение сил, действующих на расплавленный металл, что требует изменения параметров режима сварки металла заданной толщины, что приводит к изменению размеров площади пластически деформированного металла.

Литература

1. Гедрович А.И. Пластическая деформация при сварке. - Луганск.: Изд-во Восточноукраинского государственного университета, 1998. – 237 с.
2. Ерохин А.Н. Основы сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
3. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. - М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.
4. Лебедев Б.Д. Расчеты в теории сварочных процессов. - К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.

УДК 614. 843

Д.В.Александров, В.Е.Александров, В.Н.Кожин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ПОДАЧИ СТРУИ Порошкового огнетушащего состава в зону ПЛАМЕНИ

В статье приведены результаты анализа и экспериментальных исследований поиска оптимального направления подачи огнетушащего состава. Ист. 4.

Введение. Наибольший экономический и социальный ущерб приносят крупные пожары. Однако они, как правило, возникают из мелких, отдельных или разрозненных локальных загораний. Своевременное предупреждение или тушение локальных загораний устраняет развитие крупных пожаров. Тушение локальных пожаров не требует мощной пожарной техники. Опыт американской и французской пожарной практики свидетельствует о том, что 50-75% пожаров могут быть ликвидированы ручными огнетушителями [1]. Совершенствование первичных средств пожаротушения, позволяющих ликвидировать на ранних стадиях загорание, увеличивает процент тушения пожаров и снижает материальный ущерб от них. Это совершенствование должно производиться, в первую очередь, в направлении повышения огнетушащей способности огнетушителей. В настоящее время уделяется недостаточное внимание с точки зрения разработки огнетушащих составов и способов их доставки. Эффективность тушения зависит от многих факторов: скорость, дальность, интенсивность струи огнетушащего вещества и другие параметры [2].

Постановка задачи. Тушение и исключение повторного загорания очага пожара во многом зависит от угла подачи огнетушащей жидкости к поверхности горения. Целью проведенных исследований является определение оптимального угла подачи струи огнетушащего вещества к поверхности горения.

Материалы и результаты исследования. Вследствие того что истечение огнетушащего вещества из огнетушителя происходит в нестационарном и неоднородном режиме, необходимо сделать ряд ограничений.

Рассмотрим в прямоугольной системе координат движение отдельно взятой упругой частицы порошкового состава массой m , имеющей коэффициент

восстановления k , которая подается под углом α и отражается от поверхности горения под углом β .

Принятые ограничения позволяют с достаточной точностью определить траекторию движения струи огнетушащего состава в момент встречи с очагом пожара.

Пусть частица массой m подается к площади возгорания со скоростью V_1 . Задача состоит в определении поведения частицы после соударения ее с поверхностью горения.

Предполагается [3], что частица упругая и имеет коэффициент восстановления, равный k , тогда проекция скорости V_2 определяется формулой:

$$V_{2x} = V_1 \cdot \cos \alpha ,$$

а проекция скорости на вертикаль:

$$V_{2y} = -kV_1 \cdot \sin \alpha .$$

Тогда угол отражения частицы определяется формулой:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{|V_{2y}|}{|V_{2x}|} = k \operatorname{tg} \alpha .$$

Поскольку $0 \leq k \leq 1$, то угол отражения меньше угла падения частицы, т.е. $\alpha \leq \beta$.

Отражающий фактор улучшает эффективность тушения, потому что частица, попадая в зону с высокой температурой и баррожируя в ней, способствует более быстрому падению температуры в зоне горения.

Очевидно, что площадь накрывающего «зонта» тем больше, чем угол β ближе к значению обеспечиваемому максимальной дальностью повторного падения частицы. С учетом классической механики этот угол находится в пределах 35° . Следовательно, для усредненных значений $0 < k < 1$ угол α должен находиться в пределах $38^\circ < \alpha < 42^\circ$.

Область наибольшего охвата отраженными частицами очага загорания определяется максимальной дальностью полета отраженной частицы под углом β со скоростью V_2 :

$$X_{\max} = \left(\frac{V_2^2}{g} \right) \cdot \sin \alpha .$$

Как показали эксперименты, усредненная поверхность «зонта» попадает в область максимальной температуры возгорания, что способствует уменьшению температурного градиента на высоте h , соответствующей максимальному подъему отраженной частицы.

Экспериментальные исследования подтверждают, что для инженерных расчетов допустимо изучение движения порошкового потока на примере движения одной частицы. Максимальный эффект тушения достигается при подаче огнетушащего вещества к плоскости горения под углом $38^\circ \dots 42^\circ$.

Выводы. Проведенные исследования показывают, что угол отражения β находится в пределах 35° при условии, что коэффициент восстановления k находится в пределах $0 \leq k \leq 1$, а $\alpha \geq \beta$, максимальный эффект тушения должен достигаться при подаче огнетушащего вещества к поверхности горения под углом 38° - 42° . Дальнейшие теоретические исследования необходимо проводить с жидким огнетушащим веществом, частица которого имеет переменную массу.

Литература

1. Исаков Х.И., Пахомов А.В. Пожарная безопасность автомобиля. – М.: Транспорт, 1987.
2. Касьянов Н.А., Александров В.Е., Севриков И.В. Огнетушители с газогенерирующими зарядами для транспортных объектов. – Луганск, ВНУ им. В.Даля, 2003. – 108с.
3. Средства и способы пожаротушения // Сборник научных трудов ВНИИ противопожарной обороны. – Москва, 1988.
4. Пожарная охрана: Информационный сборник. – М.: ВНИИПО. – 1974. – №3. – С. 14-18.

УДК 669.141.24

В.И.Бидаш, Л.И.Сеногонова

СТРУКТУРНЫЕ АНОМАЛИИ В НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ ХОЛОДНОКАТАНОЙ СТАЛИ

В статье рассмотрено формирование структурной аномалии в процессе производства стали 18ЮА толщиной $3,2 \pm 0,1$ мм и ее последующего сфероидизирующего отжига. Приведены причины, механизмы развития графитизации и образования включений графита в низкоуглеродистой стали. Рис. 1. Ист. 14.

При использовании холоднокатаных полос стали 18 ЮА с толщиной $3,2 \pm 0,1$ для получения тонкостенных изделий специального назначения методом весьма глубокой вытяжки периодически на технологических переходах выявляется брак полуфабрикатов по трещинам, надрывам на сферических поверхностях и закруглениях, также по обрывам частей вертикальных цилиндрических стенок. Прочностные и функциональные испытания готовых изделий выявляют недопустимые по условиям работы трещины вдоль цилиндрических стенок, совпадающих с направлением вытяжки.

Расширенным входным контролем микроструктуры полос стали 18ЮА плавок (партий) с высоким и недопустимым браком полуфабрикатов и изделий было выявлено, что одновременно с ферритными зёрнами и с включениями сфероидизированного цементита (белая фаза) выявляется неизвестная аномалия - неметаллическая темная фаза, расположенная по границам первичного аустенитного зерна и на стыке зёрен феррита (рис. 1, а х 800, травление ниталем).

Анализ неметаллической фазы в отраженных поглощенных вторичных электронах и применение γ -модуляции надежно показали, что наблюдаемая аномальная фаза является частицами легкого элемента, а не порами.

Локальный количественный микрозондовый анализ установил, что в наблюдаемых включениях белой фазы присутствуют железо и углерод в количествах, соответствующих стехиометрическому составу Fe_3C . Исследование тем же методом темных включений показало, что они содержат 100% углерода, что дало возможность идентифицировать их как включения графита.

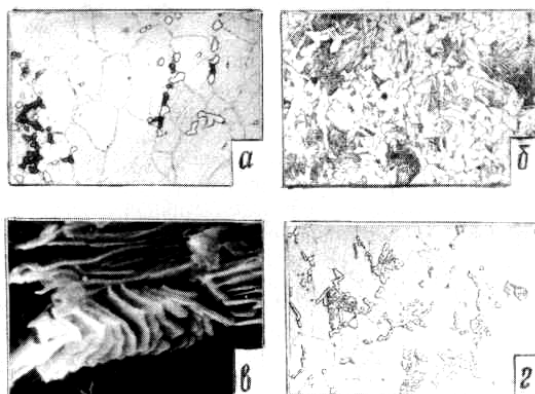


Рис. 1. Структура низкоуглеродистой стали 18ЮА

Это же подтвердилось съемкой темных включений в характеристических лучах углерода.

Причины формирования в холоднокатаном прокате стали 18ЮА аномальных включений графита неясны и требуют детального рассмотрения.

Известно, что структура и свойства холоднокатаной низкоуглеродистой стали в значительной степени зависят от температурно-деформационных режимов горячей прокатки и, прежде всего: от температуры прокатки, скорости охлаждения проката от температуры конца прокатки до температуры смотки в рулон, а также режима охлаждения рулона. Режимы охлаждения стали от температуры конца прокатки до температуры смотки в рулон на современных прокатных станках обеспечиваются душированием полосы на отводном рольганге водой, подаваемой под давлением верхними и нижними соплами брызгал, длиной зоны действия брызгал, количеством подаваемой воды, а также скоростью движения полосы по рольгангу [1-3].

При больших скоростях охлаждения горячекатаной полосы из низкоуглеродистой стали до температуры смотки в рулон эвтектоидный распад аустенита идет с образованием мелких перлитных зерен с тонко- и среднедифференцированным пластинчатым цементитом (рис. 1, б, сталь 18ЮА, $\times 400$). При малых скоростях охлаждения, например, при недостаточном душировании, при значительной толщине полосы или большой скорости ее движения по рольгангу, аустенит распадается с образованием грубодифференцированного пластинчатого перлитного цементита (рис. 1, в, $\times 10000$), либо феррита и цементита в виде грубых выделений по границам ферритового зерна (рис. 1, г, сталь 18ЮА, $\times 400$).

Морфология, дифференцировка феррито-цементитной смеси и распределение перлитных зерен в горячекатаном металле при дальнейшей холодной прокатке в значительной мере определяет характер деформации металла, формирование его микроструктуры, механические и технологические свойства.

В работе [4] при холодной пластической деформации стали 18ЮА с различной морфологией эвтектоида выявили существенное различие в закономерностях изменения тонкой структуры и физико-механических свойств металла. Зависимость величины физического уширения β линии $(220)_\alpha$ от степени деформации для стали с грубопластинчатым строением цементита имела вид кривой с максимумом при $\epsilon \geq 40-50\%$. Возрастание степени деформации у стали с зернистым строением перлитного цементита приводило к монотонному увеличению физического уширения β . Уменьшение физического уширения при деформации стали с пластинчатым перлитным цементитом связывается с процессами

зарождения и развития в матрице вакансионных пор, микротрещин, субмикротрещин, а также явлениями возврата [5].

Электронно-микроскопические исследования выявляют в цементных пластинах после холодной пластической деформации скопления дислокаций и дислокационную субструктуру [5-8].

Нарушения в строении эвтектоида после больших степеней деформации, особенно в неблагоприятно ориентированных зернах перлита (пластины цементита расположены перпендикулярно направлению деформации), наблюдали в работах [9-11]. Пластины цементита дробятся на обособленные части, части сдвигаются друг относительно друга, происходит складкообразование, а также нарушение сплошности феррита и цементита. В работе [12] отмечена возможность диссоциации значительной части цементита и перехода углерода к дислокациям.

Образующиеся в процессе холодной пластической деформации металла дефекты атомно-кристаллического строения в феррите и цементите будут влиять на структурообразование при проведении после деформационного отжига и, прежде всего, в процессе сфероидизации и коалесценции.

Известно, что сфероидизация и коалесценция обусловлены снижением термодинамического потенциала системы вследствие уменьшения межфазной поверхности при переходе неравновесной формы кристаллов избыточной фазы в изомерную, а также ростом крупных кристаллов за счет растворяющихся мелких.

Исходя из соотношения Томсона:

$$C_r = C_- \frac{2\gamma V}{l r k T},$$

где: C_r и C_- - концентрация компонентов в твердом растворе, находящемся в равновесии с кристаллами избыточной фазы с плоской и кривой поверхностью радиусом r , чем меньше радиус кривизны межфазной поверхности, тем больше равновесная концентрация растворенных компонентов в твердом растворе [13]. В основе сфероидизации и коалесценции включений перлитного цементита низкоуглеродистой стали лежит диффузионный перенос атомов углерода в химически неоднородной матрице, прилегающей к концам цементитных пластин и к плоским их граням, а также к мелким и крупным частицам цементита.

Нагрев и длительная выдержка при подкритических температурах 680-700°C низкоуглеродистых сталей с тонко- и среднедифференцированным строением перлитных зерен, обеспечивает сфероидизацию пластин цементита и равномерное распределение образовавшихся глобулей в объеме рекристаллизованной ферритной матрицы. Душирование полос после горячей прокатки перед смоткой в рулон увеличивает при $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении дифференцировку перлита, что облегчает протекание сфероидизации и коалесценции цементита.

В этом же направлении действует холодная пластическая деформация горячекатаных полос, так как приводит к повышению термодинамического потенциала обеих фаз - феррита и цементита. Нагрев деформированной стали интенсифицирует процесс деления цементита на фрагменты, трансформацию пластинчатого цементита в зернистый, а также коалесценцию карбидных частиц. Ускорение связывают [5, 8, 11] с дислокационной структурой феррита и цементита, с различной растворимостью углерода в участках феррита с высокой и низкой плотностью дислокаций, с сильным влиянием холодной пластической деформации на диффузионную подвижность атомов углерода и самодиффузию атомов железа. Наиболее интенсивно холодная пластическая деформация

должна влиять на формирование структуры при отжиге стали, имевшей до деформации грубодифференцированное строение эвтектоида, так как холодная деформация такой стали со степенями обжатия более 40-50% сильно нарушает атомно-кристаллическое строение перлитных зерен. В феррите и цементите образуются микронесплошности, часть цементита диссоциирует, углерод переходит к дислокациям и их скоплениям [12]. Все это вместе с повышенной в результате холодной деформации химической неоднородностью ферритной матрицы по углероду вокруг включений пластинчатого цементита будет хорошим термодинамическим стимулом не только для ускорения сфероидизации и коалесценции цементита, но и для выделения в готовых микронесплошностях углерода и развития процесса графитизации цементита.

Местами легкого зарождения графита могут быть скопления дислокаций, на которых выделился углерод в результате диссоциации цементита при объемной пластической деформации грубодифференцированного эвтектоида, а также поверхности образовавшихся при деформации микронесплошностей.

В работах [13, 14] показано, что выделение углерода на поверхности готовых микропор и мелких трещин идет легко, так как не требует напряжений для деформации матрицы при образовании зародышей графита и их роста, а также эвакуации атомов железа.

Возможности образования графитных включений в низкоуглеродистых сталях при проведении сфероидизирующего отжига подтверждены лабораторным экспериментом.

Образцы стали 18ЮА толщиной 3,1-3,2 мм с различной морфологией эвтектоида (зернистый, мелкопластинчатый и грубопластинчатый перлитный цементит) подвергли холодной пластической деформации на 40-50 % и последующему отжигу при $680^{\circ}+20^{\circ}\text{C}$ в течение 6 часов.

Просмотр микрошлифов показал, что графит после такого отжига выделился лишь в образцах, имевших до пластической деформации грубо дифференцированное строение перлита. Эффект влияния холодной пластической деформации тем больше, чем грубее в стали пластинчатый цементит и чем больше степень деформации. Полученные данные согласуются с результатами, приведенными в работе [10], где отжиг при температуре 680°C деформированной эвтектоидной стали с пластинчатым перлитом приводил к выделению графита в следах деформации, в складках на границах колоний перлита и в микротрещинах.

Таким образом, развитие графитизации и образование аномальных для низкоуглеродистой стали включений графита при сфероидизирующем отжиге, в том числе и в полосах из стали 18ЮА, обусловлено образованием при пластической деформации грубодифференцированного эвтектоида повышенной дефектности атомно-кристаллического строения феррита и цементита, а также усилением химической неоднородности феррита вокруг грубопластинчатых включений цементита, что при нагреве приводит к активизации диффузии углерода, к легкому его выделению в имеющихся дефектах матрицы и росту за счет притока углерода от растворяющихся концов цементных пластин.

Условия, приводящие к формированию в горячекатаных полосах грубодифференцированного перлита, связаны с режимами горячей прокатки низкоуглеродистой стали и охлаждением до температуры смотки в рулон.

Литература

1. Дедек В.Л. Полосовая сталь для глубокой вытяжки. - М.: Металлургия, 1970. - С. 55-80.
2. Литвиненко Л.А. Холоднокатаная нестареющая сталь. - М.: Металлургия, 1968. - С. 55-67.

3. Мелешко В.И., Качайлов А.П., Мазур В.Л. Прогрессивные методы прокатки и отделки листовой стали. - М.: Металлургия, 1980. - С. 55-67.
4. Бельченко Г.И., Бидаш В.И., Губенко СИ., Шевцов А.М., Рыбалко О.М. Приходько А.И. О рациональных режимах деформации и отжига низкоуглеродистых сталей. // "Металлургия и горно-угольная промышленность", 1983. - №3. - С. 30-31.
5. Гриднев В.Н., Гаврилюк В.Г., Мешков Ю.Я. Прочность и пластичность холоднодеформированной стали. - К.: "Наукова думка", 1974. - С. 231.
6. Баранова В.А., Сухомлин Г.Д. О сфероидизации цементита в стали. - МиТоМ, 1981. - №11. - С. 51.
7. Бабич В.К., Гуль Ю.П., Долженков И.Е. Деформационное старение стали. - М.: Металлургия, 1972. - С. 320.
8. Luptan D., Waringtone D. // Metal Science Journal, 1972, V 6, p. 200-204.
9. Puttik K.E., J. It., St. Inst., Febr., 185, 2, 1957.
10. Бунин К.П., Баранов А.А., Погребный Э.Н. Графитизация стали, изд. АН УССР, Киев, 1961. - С. 24-53.
11. Долженков И.Е., Долженков И.И. Сфероидизация карбидов в стали. - М.: Металлургия, 1984. - С. 96-106.
12. Гаврилюк ВТ. // ФММ, 1978, т. 45, вып. 5. - С. 968-980.
13. Бунин К.П., Баранов А.А. Металлография. - М.: Металлургия, 1970. - С. 169-174.
14. Баранов А.А., Бунин К.Н., Глебова Э.Л., Притоманова М.И. Рост чугуна и стали при термодиффузии. - К.: Техника, 1967. - С. 85-123.

УДК 621.83

**Ю.В.Мединцева, Т.Ю.Балицкая, А.В.Сташкевич,
Т.Г.Хмеловский**

КОМПЬЮТЕРНОЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННОЙ ГИПОИДНОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Продемонстрированы этапы разработки и создания компьютерной модели высоконагруженной гипоидной зубчатой передачи с помощью программного пакета технического трехмерного моделирования Autodesk Inventor Professional 7. Описаны и показаны примеры дальнейших возможных исследований этой модели с помощью пакета конечно-элементного анализа Cosmos DesignStar 4.0. Рис. 7. Табл. 1. Ист. 9.

В настоящее время большая часть редукторов и передач специального, общемашино- и станкостроительного назначения, которые предлагают производители стран постсоветского пространства, - это модели, разработанные, главным образом, в 1960-1980-е гг. Они были заложены в конструкции многочисленных станков, машин и механизмов и применяются и по сей день. Однако, в силу разных причин даже в новых проектах упомянутые передачи и редукторы уже не удовлетворяют современным технологическим требованиям, неконкурентоспособны по сравнению с зарубежными аналогами, и в большинстве случаев их применение в современном производстве невыгодно.

Чтобы избежать неблагоприятную ситуацию, сложившуюся в редукторостроении, ведущие украинские и российские производители развивают свою деятельность в нескольких направлениях, главные из которых - расширение номенклатуры выпускаемых изделий с учетом предложений зарубежных фирм; модернизация типовых моделей; совершенствование механических передач; повышение качества продукции за счет повышения точности технологических операций и разных способов контроля; разработка новых типов передач и редукторов.

Особое место среди передач и редукторов занимают гипоидные зубчатые передачи и редукторы, в отношении которых можно утверждать следующее [1]: при замене традиционной гипоидной зубчатой пары (начальные поверхности – конические) на интегрально близкую по геометро-кинематическим характеристикам гипоидную пару, начальные поверхности которой наименее отклоняются от гиперблоидных аксоидов, качественные показатели гипоидного зацепления значительно улучшаются. Так, например, относительная скорость скольжения зубьев уменьшается в 2,5...4,5 раза; суммарная скорость качения зубьев увеличивается в 1,6...4,3 раза; коэффициент задиростойкости зубьев уменьшается в 1,5...5 раз; коэффициент сравнительного напряженного состояния зубьев уменьшается в 5,5...9 раз.

Упомянутое (на расчетно-теоретическом уровне) значительное улучшение качественных показателей работоспособности гипоидных зубчатых передач априори (потенциально) свидетельствует об их заметном практическом увеличении запаса прочности и улучшении эксплуатационных характеристик – износоустойкости, КПД, надежности против заедания.

С развитием информационных технологий и стремительным ростом вычислительной мощности компьютерной техники все большую популярность в техническом мире приобретают так называемые компьютерные вычислительные эксперименты. Такого рода эксперименты позволяют в очень короткие сроки и с минимальными затратами денежных средств построить компьютерную модель, например зубчатой передачи, и проводить исследование ее качественных показателей, упруго-напряженных состояний и т.д. как в статике так и в динамике. Тем самым можно получить большое количество данных практического характера, как если бы эта передача находилась в эксплуатации на реальных объектах в течение длительного периода времени. Это позволит при еще не воплощенных в металле передаче получить представление о ее реальном поведении. Практика проведения компьютерных экспериментов с большим успехом используется во всем мире и в некоторых отраслях производства зачастую заменяет реальные эксперименты ввиду ее дешевизны, очень большой точности и достоверности результатов.

Целью данной статьи является построение компьютерной модели высоконагруженной гипоидной зубчатой передачи внешнего зацепления, как частного случая гиперблоидной зубчатой передачи, получение ее трехмерной твердотельной модели и анализ перспектив ее дальнейшего компьютерного исследования.

Компьютерное моделирование высоконагруженных гипоидных зубчатых передач.

Компьютерная модель высоконагруженной гипоидной зубчатой передачи внешнего зацепления (далее просто гипоидной передачи) построена с использованием пакетов Matlab 6.1 и AutoDesk Inventor Professional 7.

Программный продукт AutoDesk Inventor Professional 7 ориентированный на рынок машиностроения, новейшая разработка компании AutoDesk, предназначен для пространственного конструирования машин и сложных механизмов, включающих десятки тысяч сборочных единиц и был выбран в связи с тем, что он обладает следующими функциональными возможностями:

Адаптивное конструирование - новая технология позволяющая устанавливать взаимосвязи между элементами в сборочных единицах независимо от порядка и времени создания. Больше не требуется высокой точности прорисовки всех элементов конструкции каждой детали. Их конфигурация определяется непосредственно в сборках на основе того, как отдельные детали взаимодействуют друг с другом.

Адаптивные данные - инструмент, позволяющий пользователю быстро открывать и работать с большими сборками включающих множество деталей и узлов. В отличие от других систем конструирования он использует сегментированную базу данных, позволяющую автоматически открывать только часть сборки. При этом обеспечиваются очень высокие временные и эргономические характеристики процесса конструирования.

Адаптивная компоновка - новая технология, улучшающая процесс проектирования компоновки конструкций и позволяющая некоторые из деталей представить схематично, а другие полностью определенными трехмерными моделями.

Кинематический анализ - функция кинематического анализа и взаимодействия всех элементов системы с возможностью оценки диапазона их перемещений в рамках заданных допусков.

Возможность геометрического моделирования - наличие полного набора функций для объемного твердотельного моделирования необходимых при работе над моделями сложных деталей и узлов.

Конструктор элементов - функция, позволяющая легко и просто получить любой элемент описанный набором различных параметров, после чего любой пользователь может выбрать данный элемент и задать параметры определяющие его конфигурацию.

Для разработки математической модели воспользуемся полной группой геометро-кинематических соотношений, которыми для основных параметров гиперболоидной зубчатой пары являются равенства (1) и (2).

$$r_1 + r_2 = a_w, \beta_1 + \beta_2 = \gamma, u_0 = \frac{r_1 \cos \beta_1}{r_2 \cos \beta_2}. \quad (1)$$

$$r_1 \operatorname{ctg} \beta_1 = r_2 \operatorname{ctg} \beta_2, (r_1, r_2, \beta_1, \beta_2 > 0) \quad (2)$$

Решая совместно эти уравнения при заданных a_w, γ, u_0 в системе Matlab мы получаем остальные неизвестные параметры.

Уравнение однополосного гиперболоида вращения имеет следующий вид в параметрической форме –

$$\vec{r}_m = \begin{pmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(-1)^m U_m \sin \beta_m \cos \varphi_m + r_m \sin \varphi_m \\ -U_m \sin \beta_m \sin \varphi_m - (-1)^m r_m \cos \varphi_m \\ U_m \cos \beta_m \end{pmatrix}$$

или

$$x_m^2 + y_m^2 - \operatorname{tg}^2 \beta_m z_m^2 = r_m^2, (m = \overline{1, 2}), \quad (3)$$

Ввиду специфики пакета AutoDesk Inventor получить гиперболоидную поверхность возможно только при вращении соответствующей этой поверхности гиперболы. Поэтому необходимо выделить уравнение этой гиперболы из (3) т.е.

$$y_m = \pm \sqrt{r_m^2 + \operatorname{tg}^2 \beta z_m^2} \quad (4)$$

Протабулировав эту функцию по z_m , при заданных значениях r_m и β_m , где β_m – угол наклона образующей гиперboloида, можно получить точки, принадлежащие гиперболе в сколь угодно необходимом количестве и с любой наперед заданной точностью. Например, при $r_m = 5$ мм, $\beta_m = 30^\circ$ можно получить следующую таблицу:

Таблица 1

Координаты точек принадлежащих гиперболе, описываемой уравнение (4)

z1	5,0000	y1	0
z2	5,9000	y2	$\pm 5,424927$
z3	6,9000	y3	$\pm 8,235874$
z4	7,9000	y4	$\pm 10,59384$
z5	8,9000	y5	$\pm 2,75261$
z6	9,9000	y6	$\pm 14,79962$
z7	10,9000	y7	$\pm 16,77583$

После этого, можно построить эту гиперболу по полученным точкам и аппроксимировать ее сплайном. Далее, задав вращение этой гиперболы вокруг оси гиперboloида, получим искомый гиперboloидный аксоид. Результаты описанных действий изображены на рис. 1–2.

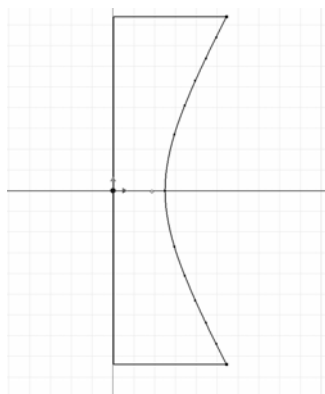


Рис. 1. Гипербола и ось вращения



Рис. 2. Гиперboloидный аксоид

Далее необходимо на этом аксоиде нарезать зубья т.е. реализовать процесс зубогенерирования. Виды зубцов и впадин в гиперboloидной зубчатой передаче существенно отличаются от таковых для обычных цилиндрических или конических зубчатых пар. Это связано с тем, что ширина заготовки при нарезании гиперboloидного колеса является не постоянной, а переменной, поэтому здесь возможны следующие варианты:

1. Впадины имеют постоянную ширину, тогда зубцы имеют переменную ширину.
2. Зубцы имеют постоянную ширину, тогда впадины имеют переменную ширину.
3. Зубцы и впадины имеют переменную ширину.

Остановимся на первом варианте, поскольку этот вариант проще и быстрее всего реализовать в выбранном пакете моделирования Autodesk Inventor.

Процесс зубогенерирования можно разбить на два этапа:

1. Построение одной впадины по заданному исходному контуру методом выдавливания.
2. Распространение впадин по всей поверхности заготовки методом равномерного копирования.

Исходным контуром возьмем обычный исходный контур для передач Новикова с двумя линиями зацепления ГОСТ 15023 – 76. Его построение в Autodesk Inventor осуществляется как построение чертежа с точным заданием всех размеров указанных в ГОСТе без аппроксимации сплайном, что позволяет добиться крайне высокой точности. Чертеж исходного контура впадины в среде Autodesk Inventor изображен на рис. 3.

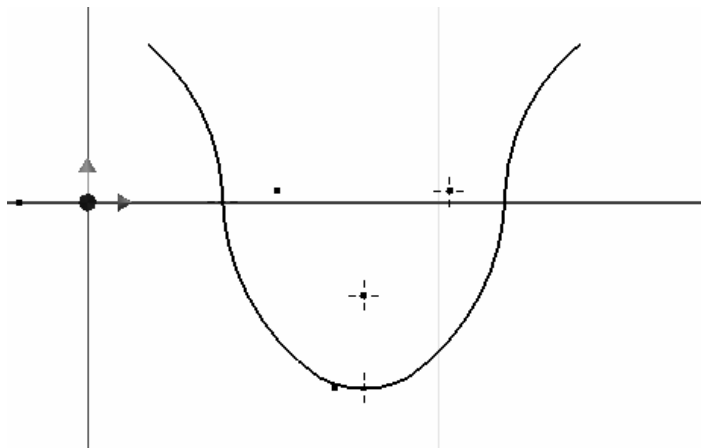


Рис. 3. Впадина в исходном контуре ГОСТ 15023–69

В результате гиперboloидное зубчатое колесо будет иметь следующий вид: одна впадина (рис. 4) и равномерно распределенные впадины (рис. 5).

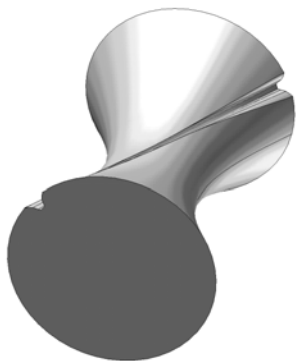


Рис. 4. Одна впадина на гиперboloидном аксоиде

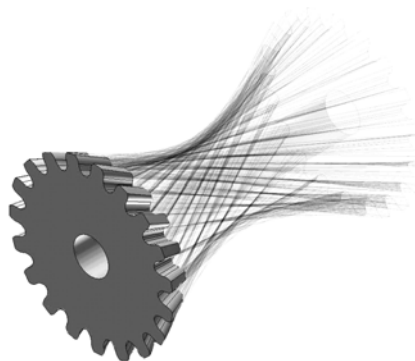


Рис. 5. Гипоидное зубчатое колесо с зацеплением Новикова (ДЛЗ)

Аналогичные действия проводятся и при построении сопряженного зубчатого колеса. После сборки, в результате, получается сопряженная пара гипоидных зубчатых колес (рис. 6.)

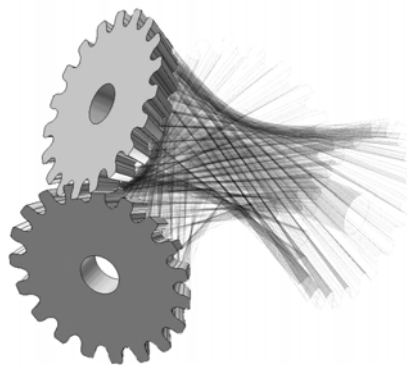


Рис. 6. Сопряженная пара гипоидных зубчатых колес

Такая твердотельная трехмерная модель гипоидной зубчатой передачи является основой для дальнейшего исследования этого нового типа зубчатых передач. Так, например, задавая различного рода погрешности изготовления и монтажа, такие как погрешность межосевого расстояния, смещение исходных контуров, радиальные биения и осевое смещение зубчатых венцов, можно исследовать поведение пятна контакта. В случае интерференции система анализирует ситуацию и выделяет на модели всю область интерференции, рассчитывает ее объем и центроид (рис. 7).



Рис.7. Интерференция сопряженных гипоидных зубчатых колес

Кроме того, применяя метод конечных элементов, а именно его программную реализацию Cosmos DesignStar 4.0 можно производить анализ распределение полученных напряжений и деформаций, определять работоспособность данной конструкции, проводить проектные расчеты эксплуатационных характеристик, а также вносить какие-либо конструктивные решения, позволяющие упростить и удешевить конструкцию без ущерба для ее работоспособности.

Выводы. Таким образом, нами построена твердотельная компьютерная модель высоконагруженной гипоидной зубчатой передачи с зацеплением Новикова (ДЛЗ) внешнего зацепления с помощью системы технического проектирования Autodesk Inventor Professional 7.0. Рассмотрены возможные аспекты дальнейшего исследования этой модели, в частности, применение метода конечных элементов для анализа напряженно-деформационных состояний с помощью системы Cosmos DesignStar 4.0.

Литература

1. Грибанов В.М. Теорія гіперболоїдних зубчастих передач. Монографія.– Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2003. – 272 с.: іл., бібліогр. 217 назв.
2. Гулятьев А. Визуальное моделирование в среде Matlab: учебный курс – СПб: Питер, 2000. – 432 с.: ил.
3. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В., Круглов В.В. Matlab 5.3.1 с пакетами расширений. М.: Нолидж. – 2001г., 880 с., ил.
4. Евзеров И.Д., Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Боговис Б.Е., Гензерский Ю.В., Городецкий Д.А. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. К.: Факт, 1997. – 137 с.
5. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. М., 1968. - 584 с.
6. Ron. K. C. Cheng. Autodesk Inventor: Applying Designer and Assembly Modules. USA, 2001. 570 p.
7. www.cadmaster.ru
8. www.cosmos.com
9. www.autodesk.ru

УДК 330.341.1:332.122

Л.О.Кобанець, Т.Л.Овчаренко

РОЗВИТОК ІННОВАЦІЙНИХ НАПРЯМІВ У РЕКРЕАЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

У даній статті розглядається інноваційний напрямок рекреаційної діяльності – створення цілорічних критих аквапарків, привабливість та економічна доцільність реалізації подібних проектів в Україні. Дж. 4.

Основою формування якісних та кількісних характеристик економіки будь-якої держави є її інноваційна направленість. «...Сучасний етап, що пов'язаний з ринковими реформуваннями в Україні, пред'являє нові, більш жорсткі вимоги до швидкості та результатів здійснення нововведень, диктує необхідність прийняття дієвих оновлених заходів, що забезпечить скачок в економічному зростанні. Необхідно сформуванню перспективну модель національної економіки з чітким обґрунтуванням її структурних складових і доцільності їх розвитку чи згортання. Критерієм оцінки прийнятності моделі слід вважати максимальну орієнтацію на інноваційні шляхи розвитку. Формування необхідно здійснювати, орієнтуючись на світові критерії прогресивності структури та ефективності функціонування економіки й задач, що поставлені у програмних документах розвитку держави» [1].

В Україні в тих областях, де в теперішній час відсутні реальні можливості розробки нових технологій, повинен бути взятий курс на ефективне використання об'єктів інтелектуальної власності, переданої із-за кордону [2]. До них відноситься й рекреаційна галузь національної економіки, яку треба буде створити Україні з того, що залишилось від курортно-оздоровчої індустрії СРСР.

Ця тема в Україні вперше висувається для обговорення здійсності цього проекту й деталізації фінансово інвестиційного та технологічних аспектів.

Мета статті – довести до широкого кола читачів ідею інноваційного розвитку рекреаційної сфери в Україні.

Соціологічні дослідження [3] виявляють схильність вітчизняного рекреанта до комфортного відпочинку, що науково обґрунтовує необхідність створення сучасної рекреаційної інфраструктури в НПП України.

Абсолютно новим у структурі українського бізнесу є будівництво критих аквапарків підвищеної пропускної спроможності, які надають рекреантам можливість|спроможності| відвідувати велику кількість водних атракціонів впродовж

усього року. Ця ідея виходить з потреб промислового регіону Донбас і країни в цілому в наповненні ринку рекреації високоякісними послугами. Реальність ідеї оцінювалася за наступними показниками: розширення меж ринку; обсяг послуг; ефективність використання капіталу; гарантований прибуток; підвищення іміджу регіону та країни в цілому; конкурентоспроможність запропонованого проекту; можливість виходу на інші ринки. Спонукальними мотивами виникнення ідеї створення рекреаційних комплексів інноваційного напрямку в межах ПТО є:

1. Неприятлива екологічна ситуація в країні, особливо на сході.
2. Важкі умови праці в металургії, вугільній промисловості тощо, та, як наслідок, підвищені потреби у відпочинку та оздоровленні.
3. Наявність у природних парках держави цінних рекреаційних ресурсів, що включають красиві природні ландшафти, лісові насадження, екологічно чисті море, водоймища й пляжі, цілющі унікальні властивості мінеральних джерел, грязей і рапи та вплив екологічно чистого повітря.
4. Зайві кваліфікованої і недорогої робочої сили.
5. Географічне розташування країни та клімат, який вимагає уваги, перш за все, до організації рекреаційної діяльності у холодну частину року.
6. Можливість розміщення рекреаційних об'єктів на значній віддаленості від промислових підприємств.
7. Майже повна відсутність конкуренції у цьому секторі бізнесу.
8. Відносна дорожнеча курортів Євросоюзу та інших країн для туристів із Росії, України й Білорусі, що потрапляють на ті курорти чартерними рейсами.
9. Ускладнення міжнародного стану, тероризм в країнах Євросоюзу.
10. Біля €900 млн., що вивозяться з України на рекреацію за кордон.

Створення рекреаційних підприємств інноваційного типу визначається за їх прибутковістю, функціональністю, масштабністю, екологічністю.

Функціональну спроможність ідеї зумовлюють наступні напрями економічний; екологічний; соціальний; організаційний; технічний.

Технічна спроможність ідеї не викликає сумніву, якщо застосовувати апробовані механізми та устаткування, що пройшло випробування часом і практикою. При створенні рекреаційних комплексів доцільно використовувати устаткування тільки відомих закордонних виробників. Практика доводить, що якість вітчизняного устаткування для рекреації поки що є низькою, що призводить до мікро травматизму, надійність атракціонів низька й потребує коштовного обслуговування.

Створення рекреаційних комплексів цілорічного функціонування у межах природних парків дозволить додатково створити до 150 робочих місць у регіонах, де практично немає або повністю відсутня промисловість. Це будуть робочі місця із підвищеною оплатою праці, порівняно із середньою у регіоні. Прийнятний термін окупності при такому обсязі інвестицій, помножений на довговічність устаткування, та практична доцільність роблять ідею створення в НПП України рекреаційної інфраструктури інноваційного напрямку економічно обґрунтованою. Масштабність ідеї закладена не тільки в її реалізації, а й у наслідках. Реалізація ідеї забезпечує рішення різних проблем кожної із зацікавлених сторін: інвесторів; державних, обласних, міських та селищних рад; юридичних та фізичних осіб, що мають до неї відношення. Створення рекреаційних комплексів на території НПП України додасть їм інший статус.

Світовий досвід свідчить, що для реалізації запропонованої ідеї необхідно забезпечити не менше €120 млн. інвестицій. При фінансовому аналізі, для вимірювання ефективності інвестицій, найчастіше застосовується такий показник, як термін окупності капіталовкладень. З урахуванням дисконтування доходів та витрат, щорічної перерви (20-25 днів) на профілактичний ремонт, термін окупності

залежно від вартості устаткування буде складати 6-10 експлуатаційних років. Інвестиційна привабливість запропонованого підприємства та наявність в Україні потенційних інвесторів у цьому секторі бізнесу не викликає сумнівів. Зокрема, диверсифікація діяльності потужних промислових підприємств України у рекреаційному напрямі могла б стати ефективною статтею додаткових доходів та значним внеском у вирішенні питань оздоровлення працівників та службовців.

В Україні ще немає розважальних комплексів подібного типу. А ті, що існують, не мають нічого спільного із запропонованим ні за розміром території, ні за масштабом послуг, розваг та якості сервісу.

Усвідомлення людиною багатства різноманітності природи, її уразливості, бажання зберегти її у первісному стані вимагають захисту територій, які перспективні для розвитку рекреаційної діяльності. При організації рекреаційних підприємств слід враховувати особливу екологічну та естетичну цінність природних та культурних ландшафтів, їх місцеве, регіональне й державне значення і місце в національній політиці країни. Території, що виділяються для розвитку рекреації, повинні характеризуватися високим ступенем збереження природних ландшафтів у поєднанні із мальовничістю, пізнавальною цінністю й популярністю серед рекреантів і туристів. Рекреаційні підприємства мають бути ізольовані від територій, що використовуються для розвитку промисловості. Це усуває негативний вплив антропогенного чинника та робить рекреацію значно ефективнішою. "Екологічні проблеми виникають і зростають від неефективного суспільного розвитку, недостатнього розуміння важливості збереження навколишнього середовища. Протягом десятиліть нарощування індустріалізації в Україні серйозно порушило природний баланс" [4, 6]. Створення рекреаційних підприємств інноваційного типу дозволяє припинити стихійне використання рекреаційних територій, сприяючи збереженню навколишнього середовища з одного боку та задоволенню зростаючих потреб населення у високоякісних рекреаційних послугах, – із другого.

Вибір майданчику для будови рекреаційного комплексу потребує проведення усебічного аналізу території і має залучити наступні фази:

1. Попереднє виявлення територій із найбільшим потенціалом для розвитку екотуристичної діяльності, що далі називаються оптимальними екотуристичними територіями (ОЕТ).

2. Підготовка базового огляду характеристик території, яка досліджується. Це включає характеристики природного середовища, данні щодо економічного розвитку, поточного стану навколишнього середовища, природоохоронних заходів.

3. Огляд екологічних умов, місць туристичного інтересу, інфраструктури та можливостей її розширення для кожної ОЕТ.

4. Оцінка граничного навантаження для кожної ОЕТ: екологічного, соціально-культурного й економічного та дбайливий розрахунок оптимального навантаження.

5. Оцінка прийняттого й потенційного рівня розвитку екотуризму у регіоні на базі попиту на екотуризм та даних щодо оптимального навантаження.

6. Оцінка капіталовкладень, які необхідні для впровадження екотуризму до потенційного рівня в зоні, що досліджується, та розрахунок можливих доходів.

7. Виявлення та розстановка пріоритетів щодо конкретних інвестицій у підприємства, інфраструктуру, трудові пошуки.

В рекреаційній зоні природних парків моніторинг впливу запропонованого будівництва аквапарку на навколишнє середовище складається з:

оцінки сучасного екологічного стану існуючого природно-ресурсного потенціалу зони та її найуразливіших компонентів;

інформації про характер і масштаби впливу на навколишнє середовище рекреаційної діяльності, що планується;
оцінки екологічних та соціально-економічних наслідків та можливості мінімізації негативного впливу;
виявлення та врахування суспільні інтересів при ухваленні рішень щодо рекреаційної діяльності, яка планується;
визначення альтернативних варіантів реалізації ідеї з урахуванням результатів експертної оцінки негативного впливу та пропозицій щодо його мінімізації, зокрема, місця розміщення морського/річного водозабору.

Виходячи з принципу презумпції потенційної екологічної небезпеки будь-якої господарської діяльності, можна констатувати, що запропонована ідея будівництва й експлуатації критого аквапарку у рекреаційній зоні природних парків не погіршить стан природно-ресурсного потенціалу прилеглих територій; не надасть згубнонегативного впливу на видовий склад, міграцію риб і біорізноманітність у зоні розташування морського/річного водозабору; привнесе нові джерела формування екологічної та загальної інфраструктури, що само по собі вже прецедент розвитку масштабного екологічного підприємництва в державі; забезпечить можливість реінвестування програм, що пов'язані з оздоровленням навколишнього середовища.

Тим самим обґрунтовується факт розміщення критого аквапарку в межах ПТО. Враховуючи довгостроковий ефект від експлуатації об'єкту, доцільно мінімізувати ступінь ризику від виникнення непередбачених екологічних ситуацій на даній території, які можуть спричинити істотні збитки. У загальному випадку для кожного конкретного рекреаційного об'єкту повинна бути вироблена оцінка, тобто, проведені дослідження та надані позитивні відповіді щодо наступних пунктів:

1. Екологічний стан навколишнього середовища: а) економічний стан та географічне розташування; б) кліматичні умови й ландшафтні характеристики; в) ресурсний потенціал (можливі лікувальні ресурси); г) екологічна інфраструктура об'єкту: водопостачання та каналізація.

2. Вплив на навколишнє середовище через розташування морського/річного водозабору, зміни у ландшафті: а) пов'язаний із будівництвом об'єкту (від вилучення під забудову земельнеорного призначення, на водне середовище, біоресурси); б) від експлуатації об'єкту (зростання екологічного навантаження на середовище, зміна якості поверхневих морських/річних вод, від водозабору, скупчення транспорту).

3. Заходи щодо зниження негативного впливу відходів, водозабору та водовідведення на навколишнє середовище та його оздоровлення.

Аналіз соціального стану у зонах природних парків показує реальну можливість взаємодії між рекреаційними підприємствами та місцевою спільнотою. Світовий досвід підтверджує, що криті аквапарки користуються підтримкою населення, що саме по собі не може не сприяти реалізації ідеї.

При проведенні аналізу соціального стану слід зосередитися на шести основних показниках: соціокультурна та демографічна характеристика населення у зоні реалізації ідеї (кількісні характеристики та соціальна структура); організація населення (структура сім'ї, наявність робочої сили); рівень освіти; прийнятність рекреаційного підприємства такого рівня для місцевої культури; наявність підприємств комерційного й некомерційного типу; оцінка купівельної спроможності (рівень доходів населення, сума заощаджень, прожитковий рівень).

У природних парках та курортних зонах немає промисловості із шкідливим впливом на навколишнє середовище. Дрібні магазини, невеликі ресторани й кафе, мікробазари – це основна частина підприємницького сектора. Податки до місцевого бюджету від діяльності цих структур не дозволяють місцевій владі ре-

алізувати жодну із соціальних програм. Регіональний підхід до залучення інвестицій перетворить роботу менеджерів готелів та здравниць у пошуку клієнтів на регіональне благо. Збільшення чисельності рекреантів призведе до розвитку бізнесу, що позитивно вплине на стан місцевого бюджету.

Потенційними споживачами послуг рекреаційних підприємств інноваційного типу є жителі України. Але масштабність ідеї дозволяє охопити й рекреантів із країн ближнього та дальнього зарубіжжя. Ідея будівництва критих аквапарків, особливо у межах природних парків, повинна стати базовою для України.

В основу ідеї утворення насиченого потоку рекреантів лягла регіональна співпраця. В Україні виділені основні сім напрямів утворення потоків рекреантів, що прямують до рекреаційних акваторій: Дніпропетровсько-Запорізьке; Донецько-Луганське; Київське; Львівсько-Рівненське; Одеське; Харківсько-Чернігівське, Кримське. Практично кожен регіон, значно віддалений від моря й розваг, що пов'язані з водними атракціонами, постійно шукає вихід на цей сектор активного відпочинку. Аналогічна ситуація з рекреантами, які прибувають із Росії та Білорусі. Тільки в Одеська область приймає за курортний сезон майже 3 млн. осіб. Разом з цим, в Україні є Крим, Карпати, Святогір'я та інші зони, здатні разом повернути десятки мільйонів рекреантів

На сьогоднішній день гостро стоїть питання перевантаження традиційних рекреаційних напрямів й необхідність їх переорієнтації в інші регіони України. З другого боку майже 1,1 млн. чоловік щорічно виїжджають з України на пляжі Середземномор'я, і всі вони відвідують відкриті аквапарки (оскільки, виходячи з кліматичних умов, закриті там не потрібні). Це при вартості вхідного квитка в аквапарк не менше 30 американських доларів. А необхідно ще й долетіти до цього аквапарку з витратами на візу, переліт або туристичний автобус. Цим негараздам в економіці українського відпочинку можна запобігти в деякій мірі, якщо створити в природних парках інноваційні рекреаційні підприємства – цілорічні криті аквапарки потужної пропускної спроможності. Концепція створення критих аквапарків будуватиметься на основі кліматичних умов та регіональної зацікавленості у цьому об'єкті в Україні. У кожному регіоні, віддаленому від місць морського відпочинку, завжди є зацікавлені мати можливість водного, насиченого різноманітністю, відпочинку. Сьогодні цю ідею порівнювати ні з чим і, таким чином, неможливо визначити долю ринку, на якому вона почала б своє існування. Це додає привабливості ідеї і зменшує ризик інвестування.

Таким чином, реалізація ідеї сприятиме досягненню певних соціально-економічних результатів, таких як підвищення рівня доходів населення; збільшення кількості робочих місць у регіоні; поліпшення умов праці, культурних та житлово-побутових умов працівників; припинення відтоку робочої сили та поживлення підприємницької діяльності у зоні НПП; зміну структури зайнятості; розв'язання важливих для держави проблем перевантаження традиційних рекреаційних напрямів за рахунок більш рівномірного розподілу рекреаційних потоків на території України; зменшення частки виїзного туризму; часткове нівелювання переваг населення щодо відпочинку влітку (насамперед через високу рекреаційну ефективність водних процедур), що в свою чергу сприятиме зниженню соціальної напруженості щодо питання надання відпусток у холодний період року.

Запропонований критий аквапарк цілорічного користування як напрям розвитку рекреаційної діяльності в природних парках шляхом впровадження інноваційних технологій тісно пов'язаний із іншими завданнями, які вирішуються у дисертації. Він є їх логічним продовженням і деякою мірою поясненням і практичним втіленням. Розроблена у дисертації концепція державного управління рекреаційною діяльністю та організаційно-економічний механізм її розвитку сприятимуть формуванню відповідної політики держави щодо створення найсприятли-

віших умов для залучення інвестицій у цю перспективну галузь світової економіки. Науково обґрунтований підхід до використання рекреаційних територій та підвищення економіко-екологічної ефективності оподаткування рекреаційної діяльності разом із впровадженням передових інноваційних технологій, законодавче закріплення рекреаційної діяльності як пріоритетного напрямку розвитку української економіки, сприятимуть формуванню вискоєфективної рекреаційної галузі національної економіки, прибутки від якої, зрештою, відкриють шлях до економічного розквіту депресивних регіонів України.

Наведений аналіз дозволяє констатувати, що запропонований проект будівництва й експлуатації критого аквапарку у рекреаційній зоні природних парків не погіршить стан природно-ресурсного потенціалу прилеглих територій; не надасть згубного негативного впливу на видовий склад, міграцію риб і біорізноманітність у зоні розташування морського/річного водозабору; привнесе нові джерела формування екологічної та загальної інфраструктури; забезпечить реальні можливості реінвестування програм, що пов'язані з оздоровленням навколишнього природного середовища; з'явиться прецедентом розвитку екологічного підприємства у масштабах держави.

Література

1. Хобта В.М. К вопросу о разработке и реализации стратегии инновационного развития // Наукові праці ДНТУ. Сер. економічна. – 2004. – №76. – С. 5-9.
2. Саломатина Л.Н. Актуальные вопросы международного трансфера технологий (методические положения) // Наукові праці ДонГТУ. Сер. економічна. – 2001. – №26. – С. 53-58.
3. Конищева Н.И., Кузьменко А.В. Научно-методические основы проведения маркетингово-социологического исследования предпочтений жителей крупных промышленных городов Донецкой области в выборе активных видов отдыха // ДонДАУ. Менеджер. – 2003. - №2(24). – С.104 – 117.
4. Чумаченко М.Г. Економіко-екологічні проблеми України // Схід. – 1998.– №4. – С.3-7.

УДК 614.845

Д.В.Михайлов

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРА КАК СРЕДСТВО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ

Показано, что при создании эффективной модели пожара необходимо использовать «тандемные» модели, которые позволяли бы комбинировать комплекс знаний об объекте с данными об условиях протекания и развития пожара. Рис. 1. Ист. 11.

Введение. Становление научно-производственного потенциала Украины должно происходить путем использования новейших информационных технологий, среди которых видное место занимают системы поддержки принятия решений (СППР) и экспертные системы. Смоделированная на компьютере интерпретация разного рода «динамической» информации во времени является мощным инструментом познания объективной реальности. В частности, это касается и многочисленных задач пожарной безопасности.

Каждый день в Украине в среднем возникает 159 пожаров, экономические потери от которых составляют 676 тыс. грн. Вследствие пожаров гибнет 7 и получают травмы 4 человека [1]. Пожары приводят к гибели людей в результате их отравления дымом, содержащим высокотоксичные продукты термического раз-

ложения горючих веществ и продуктов неполного сгорания, а также воздействия высокой температуры пожара, высокого уровня теплового излучения пламени [2]. Сегодня пожары случаются в зданиях, в которых присутствует в значительных объемах бытовая техника, компьютеры, мебель, в хранилищах и архивах, в помещениях со взрывоопасной средой и т. д. Наибольшее количество пожаров происходит в жилых зданиях часто по причине отсутствия систем пожаротушения либо наличия устаревшего оборудования. Существенно повредить имущество может не только сам пожар, но и применяемые пожарные средства и вещества, к примеру, вода. Чтобы решить проблему надёжности пожаротушения и минимизировать причиняемый при его осуществлении вред, необходимо разработать новые подходы к совершенствованию пожарной безопасности объектов различного назначения.

Основными способами получения знаний о характере развития пожара и распространения дыма до недавнего времени являлись методы лабораторного эксперимента и анализ последствий пожаров [3]. Появление мощных вычислительных систем, а также значительный прогресс в понимании физики и химии пожара, сделали возможным создание компьютерных программ, позволяющих с достаточной для практики точностью воспроизводить динамику развития пожара и распространения дыма и токсичных газов в помещениях. Однако компьютерное моделирование пожаров служит пока лишь ценным средством оценки последствий уже окончившихся пожаров. Из всего многообразия моделей и пакетов программ в настоящее время наиболее распространено использование зонных моделей, но их точность падает с ростом неравномерности распределения пожарной нагрузки в помещении и ростом его объема. Наиболее информативным методом моделирования пожаров является полевой. Анализ моделей пожара, основанных на законах сохранения массы, импульса и энергии, а также моделей, использующих экспериментальные данные для получения искомых зависимостей между несколькими параметрами, позволяет сделать вывод, что в обоих случаях возникают ошибки при математических упрощениях и сокращениях, а также при недостаточно глубоком понимании некоторых моделируемых процессов.

Постановка проблемы. С целью обеспечения безопасности людей, находящихся в здании, уменьшения ущерба от пожара, защиты окружающей среды, создания проектов с наименьшей себестоимостью и наибольшей эффективностью возникла необходимость использования гибкого нормирования, основанного на использовании знаний о поведении объекта в условиях пожара. Лучшие компьютерные модели пожаров пока не в состоянии анализировать такие важные детали, определяющие поведение пожара, как температура окружающей среды, направление и сила ветра вблизи объекта, вертикальная устойчивость воздуха, параметры вентиляционных потоков внутри помещения, характер и схему размещения пожарной нагрузки, тип и размещение средств пожаротушения. Сегодня при создании эффективной модели пожара необходимо использовать так называемые «тандемные» модели, которые позволяли бы комбинировать комплекс знаний об объекте с данными об условиях развития пожара.

Развитие пожара представляет собой сложный комплекс физико-химических процессов, точное прогнозирование которых невозможно. При их моделировании необходимы знания характеристик пожара в полном объеме, взаимозависимость нескольких процессов и граничные условия при исследовании конкретных горящих объектов.

В работе [4] исследовано влияние объемно-планировочных характеристик, параметров пожарной нагрузки и газообмена на продолжительность развития пожара, скорость выгорания пожарной нагрузки и скорость распространения пламени в помещениях небольшого объема. Имеющиеся сведения [5–7] о дина-

мике пожара в помещении являются недостаточно полными. Например, при рассмотрении конвективной колонки в помещении с открытым проёмом [8] в моделях не учитывается тот факт, что в условиях реального пожара она имеет изгибающуюся геометрию из-за воздействия на пламя потоков воздуха, поступающих в зону горения со стороны проёма, и перемещения нагретых газов.

Полученные результаты [9] экспериментальных исследований процесса развития пожара показали, что на динамику развития пожара в помещении с открытыми проемами существенное влияние оказывают, в частности, условия газообмена, вид и способ размещения пожарной нагрузки. Сведения о параметрах процессов, в свою очередь, позволяют оптимизировать процесс проектирования и расчета средств пожаротушения для конкретного объекта, что вполне согласуется с идеями, выдвинутыми ранее в [10]. Для обеспечения высокой эффективности стационарных и переносных средств пожаротушения в помещениях, в частности, на стадии полностью развитого пожара, согласно [11], необходимо проанализировать значительное число возможных ситуаций, различающихся как параметрами помещений и указанных средств, так и количеством и свойствами материалов пожарной нагрузки.

Целью исследований, проводимых в настоящее время на кафедре «Охрана труда и БЖД» ВНУ им. В. Даля, является создание компьютерной системы поддержки принятия решения, позволяющей по имеющимся характеристикам помещения (объемно-планировочных особенностей объекта пожара, количеству и особенностям размещения пожарной нагрузки, наличия вентиляционных потоков, внешних метеоусловий, возможных источников возгорания) генерировать возможные сценарии развития пожара в помещении с последующей выдачей решения по типу и размещению автоматических извещателей и систем пожаротушения.

Материалы и результаты исследований. Одним из самых надежных средств для пожарной защиты объектов являются системы автоматического пожаротушения, которые в отличие от систем с ручным пуском и управляемых оператором, приводятся в действие пожарной автоматикой по объективным показателям и обеспечивают оперативное тушение очага возгорания без участия человека.

Порядок и необходимость установки автоматического пожаротушения регламентируются нормативными документами. В обязательном порядке системами автоматического пожаротушения оборудуются серверные комнаты, архивы и другие помещения для хранения и обработки информации, автостоянки закрытого типа (подземные и надземные при 2-х этажах и выше), а также складские помещения, торговые залы, ремонтные мастерские и другие производственные и непроизводственные помещения, в зависимости от занимаемой ими площади и характера хранимых материалов.

В случае необходимости оснащения объекта системой автоматического пожаротушения заказчику (собственнику) предстоит сделать выбор конкретной автоматической установки пожаротушения (водяного пожаротушения, газового пожаротушения, порошкового пожаротушения и т.д.) в зависимости от характеристик и назначения помещения, схемы её размещения и фирмы-инсталлятора. Для этого ему необходимо располагать хотя бы элементарными представлениями об установках автоматического пожаротушения, их достоинствах, недостатках и ограничениях к применению на тех или иных объектах, а также о важности самого серьезного отношения к выбору фирмы-инсталлятора.

В числе причин возникновения отказов и неэффективной работы систем пожарной автоматики специалистами отмечаются:

- ошибки при проектировании автоматических систем пожарной сигнализации и пожаротушения;

- недостаточно высокое качество работ, выполняемых предприятиями, осуществляющими производство и поставку компонентов систем автоматической пожарной сигнализации, пожаротушения и огнетушащих веществ, и организациями, проводящими монтажные, пусконаладочные работы и техническое обслуживание.

Для успешного принятия решения в любой области человеческой деятельности, в том числе и в области пожарной безопасности, обязательны четыре условия. Необходимо знать объект исследования. Степень познания объекта будет во многом определять успех принятого решения, в данном случае объектом исследования является пожар как физическое явление. Необходимо четко представлять цели, которые ставятся при принятии решений, и критерии, по которым оценивается качество поставленной цели. И последним условием принятия правильного решения является четкое представление о тех ограничениях, которые могут возникнуть при принятии решений.

На первый план обеспечения пожарной безопасности жилых и нежилых помещений выходит чрезвычайно важная прикладная задача оптимального проектирования и применения автоматических систем пожаротушения, включающая:

- прогнозирование распространения опасных факторов пожара в помещении с учётом геометрии помещения, количества пожарной нагрузки и наличия вентиляционных потоков;

- выбор пожарных извещателей и их оптимального размещения в объеме помещения с учетом выполненного прогноза;

- выбор вида и типа систем автоматического пожаротушения и их оптимального размещения в объеме помещения с учетом выполненного прогноза.

Для достижения поставленной цели и получения основных результатов работы использовались аналитический и экспериментальный методы исследования, которые базируются на теории горения, математической физике, гидро- и газодинамике, математическом и физическом моделировании процессов распространения опасных факторов пожара в помещениях, теории создания экспертных систем, методы системного анализа.

При этом были решены следующие задачи исследований:

- выполнен анализ пожарной опасности производственных и непромышленных помещений, существующих математических моделей, компьютерных программ моделирования динамики распространения опасных факторов пожара в помещении;

- создана экспериментальная установка и разработана методика исследования основных параметров динамики развития пожара в помещении;

- аналитически и экспериментально исследованы физико-химические процессы и явления тепломассопереноса при пожаре в помещении;

- исследовано влияние ряда факторов (параметры вентиляционных потоков, скорость и направление ветрового потока за проемами помещения, расходные коэффициенты проемов, разница барометрических давлений внутри и снаружи помещения, степень перемешивания газов в объеме), которые определяют особенности возникновения и развития пожара;

- проведены теоретические исследования и разработана математическая модель развития пожара в помещении с учетом наличия вентиляционных потоков;

- выявлено влияние типа и схем размещения устройств автоматического пожаротушения, пожарных датчиков и вентиляционных потоков внутри помещения на эффективность применения этих устройств при возникновении пожара в закрытых и полужакрытых помещениях;

- созданы алгоритмы для СППР, базы данных по системам охранно-пожарной сигнализации и автоматическим системам пожаротушения для СППР;
- разработан программный код и интерфейс компьютерной программы.

При моделировании применялся метод, использующий численное решение уравнений сохранения массы и уравнений переноса для различных физических параметров, который позволяет получать распределение во времени и пространстве таких величин, как скорость, температура, тепловые потоки и т.п.

Созданная модель пожара, основанная на законах сохранения массы, импульса и энергии, а также на экспериментальных данных, позволяет учитывать тот факт, что в условиях реального пожара конвективная колонка в помещении с открытым проёмом имеет изгибающуюся геометрию из-за воздействия на пламя потоков воздуха, поступающих в зону горения со стороны проёма, и перемещения нагретых газов. Она также описывает распространение пламени по поверхности нагрузки и последующее его затухание. Учитывается динамика изменения массы основных компонентов газовой смеси в объеме комнаты (кислород, инертные газы, продукты сгорания).

В СППР предусмотрена возможность задания различных материалов для стен помещения, учитываются теплофизические свойства окна, а значит, и радиационный теплообмен до вскрытия оконного проема в процессе развития пожара (т.е. тот факт, что при достижении поверхностью окна температуры $\approx 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ стекло ломается и возникает более интенсивный тепло- и массообмен с окружающей средой).

На рис. 1 представлены графики изменения среднеобъемных температур в помещении при наличии вентиляционных потоков, показывающие хорошую сходимость результатов моделирования с результатами натуральных экспериментов.

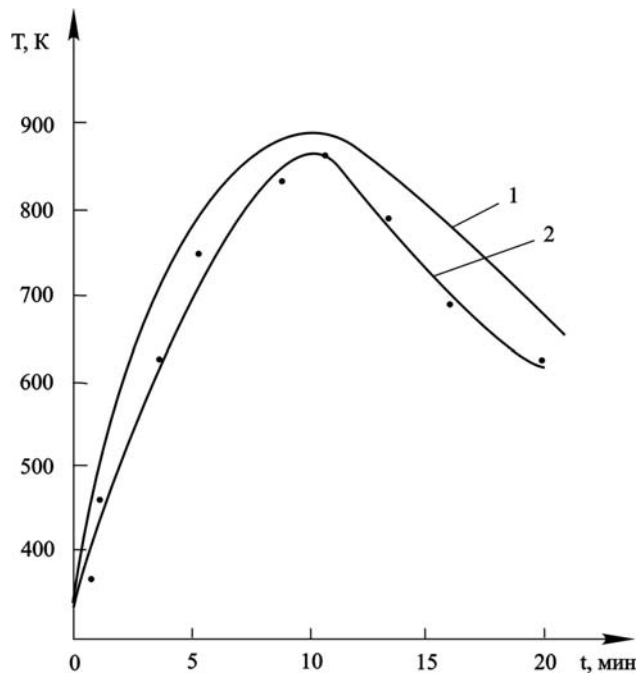


Рис.1. Изменение среднеобъемной температуры в помещении:
1 – кривая, полученная расчетным путем; 2 – кривая, полученная экстраполяцией экспериментальных данных

Вывод. Результаты, полученные в процессе исследований по разработке компьютерной модели пожара в помещении с наличием вентиляционных потоков, могут стать основой рекомендаций по оптимизации способов и средств пожарной безопасности в процессе проектирования конкретных объектов. Они позволят обосновывать применение тех или иных решений при разработке систем противопожарной защиты жилых и нежилых помещений, разрабатывать новые программные продукты в области пожаротушения объектов и использовать их в концепции «интеллектуального здания».

Литература

1. Пожежна безпека на залізничному транспорті. Навчальний посібник // Доманський В.А., Зеркалов Д.В., Потетюев С.Ю., Лінчевський Є.А., Дорошенко М.В. – К.: Основа, 2004. – 392 с.
2. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1990. – 421 с.
3. Дослідження пожеж. Довідково-метод. посібник. – К.: Пожінформтехніка, 1999. – 224 с.
4. Девлишев П.П., Мотин М.А. Исследование динамики пожара в помещениях // Огнестойк. строит. конструкций и обеспеч. пожар. безопасн. людей и матер. ценностей. – М., 1989. – С. 183 – 190.
5. Моргунов К.П., Моргунова Т.Ю. Численный расчет полей скоростей и температур воздуха в помещении при пожаре // Стр-во и архит. – 1989. – № 3. – С. 92 – 95.
6. Гувов В.Н. Зонная математическая модель развитой стадии пожара // Безопасн. людей при пожарах в зданиях и сооруж. – М., 1987. – С. 62 – 69.
7. Бородин А.Н., Корольченко А.Я., Молчадский И.С., Тягунов М.И. Интенсивность тепловыделения в условиях реальных пожаров // Обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений: Сб. науч. тр. ВНИИПО. – М., 1988. – С. 9 – 13.
8. Рыжов А.М. Трехмерное (CFD) моделирование пожаров с учетом процессов горения и излучения: некоторые проблемы и пути решения // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – №1. – С. 38 – 49.
9. Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. Экспериментальное исследование пожара в помещении // Вісник СХУ ім. В.Дала, №12 (82). – Луганск, 2004. – С. 99 – 104.
10. Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. Исследование плотности распыления порошка и плотности орошения жидкости по сечению струи при их транспортировании импульсным пламеподавителем // Вісник СХУ ім. В.Дала, №9 (55). – Луганск, 2002. – С. 217 – 224.
11. Сукава О., Ока Я., Хотта Х. Эксперименты по имитации пожара // Fire. – 1989. – 39, № 1. – С. 1 – 8.

УДК 621.039.586

В.А.Гречка, С.Г. Воробьёв

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Рассматриваются проблемы загрязнения окружающей среды региона твердыми отходами предприятий угледобычи и углепереработки, содержащими природные радиоактивные изотопы. Отмечается повышенный радиационный фон в зоне золоотвалов тепловых станций и промышленных площадок шахт. Предлагаются меры по обеспечению радиационной безопасности населения региона. Ист. 5.

Преобладание в Луганской области предприятий угольной и металлургических отраслей а также энергетики приводит к ежегодному накоплению боль-

шого количества твердых отходов шлаков, золы, породы содержащих соли урана, радия, тория, и др радиоактивных элементов.

В отвалах угледобычи, углеобогащения в золошлаковых отходах в условиях кислой среды увеличивается подвижность радионуклидов, а в некоторых случаях происходит их концентрация с существенным увеличением удельной радиационной активности отходов [1].

Известно, что при шахтной добыче 1 т угля в отвалы попадает 0,25-0,53 м³ породы занимающих 2-10 га площади под терриконами [2].

При работе тепловой станции в золоотвалы попадает от 25% до 40% и более от массы сжигаемого угля [3], поэтому площадь золоотвалов ТЭС г. Счастье занимает более 80 га при сжигании ежесуточно 1-2 тыс. т низкокачественного угля. Котельные шахт сжигают ежесуточно до 60 т каменного угля. Количество отходов ТЭЦ крупных городов, таких как г. Лисичанск, г. Северодонецк также вызывает ряд экологических проблем, одна из которых - повышение уровня радиационного фона по γ - и β -излучению и увеличению концентрации радона-222 в атмосфере региона.

Специалисты ВНУ им.В.Даля участвовали в разработке региональной программы защиты населения от воздействия ионизирующей радиации. В рамках этой программы под руководством директора НИИПЭ доц., к.т.н. О.Р.Игнатова и зам. нач. Государственного управления экологии и природных ресурсов в Луганской обл. Е.В.Решетникова были проведены измерения удельной активности и мощности излучения твердых отходов предприятий угледобычи, углеобогащения, ТЭС и ТЭЦ городов Теплогорск, Свердловск, Антрацит, Краснодон, Счастье, Луганск.

Мощность γ -излучения твердых отходов угледобычи и углеобогащения составляла от 40 до 450 мкР/час, а плотность потока β -излучения - от 10 до 180 част/см² в мин. Удельная активность породы зависела от изотопного состава (Cs-137, Th-232, Ra-226, K-40, U-238 и др.) и составляла в среднем около 300 БК/кг.

Наибольший уровень радиационной опасности наблюдался у ила отстойников шахтных сточных вод, где мощность излучения составляла 700-1000 мкР/час, а в некоторых случаях превышала 1500 мкР/час.

Удельная активность золы ТЭС превышала на 25% активность породных отвалов. Наблюдалось повышенная на 15% активность отвальных пород в южной части Луганской области.

Повышенная удельная активность отходов объясняется наличием солей урана и индия в количестве 2 10^{-4} % 2 10^{-6} % соответственно [3] в углях, которые переходят и в золу, а также частично содержатся в породе и шахтных сточных водах. Поскольку продуктом распада урана является радон-222, необходим более тщательный радиоактивный контроль территории области по данному радиоактивному газу в почве, приземном слое атмосферы и в зданиях (цокольные помещения и помещения первого этажа).

В Луганской области за последнее время состоялось закрытие около 18 нерентабельных шахт. Это решение значительно ухудшило экологическую ситуацию в традиционных горнодобывающих районах области, которым дали название "депрессивные". В особенности это касается радиационной безопасности [5]. Так, после закрытия, или "реструктуризации" на шахтах площадь промышленной площадки насчитывает до 7-10 км кв., где показатели γ -излучения превышают нормы в 15-40 раз.

Источниками радиации также являются шахтные сточные воды и отстойники, куда откачивалась вода из шахт до 400 куб. за час.

При дефиците водных ресурсов население поселков близ шахт использует эту воду для хозяйственных целей, что опасно для здоровья. Слив из от-

стойников к балкам в маленькие речки приводит к радиационному загрязнению грунтов балок с уровнем γ -излучения до 300-700 мкР/час. Местные жители собирают шахтный металлолом, поскольку большая часть населения осталась без работы после закрытия шахт. Но его элементы загрязнены радионуклидами и имеют уровень γ -излучения до 1300 мкР/час.

Исследования, проведенные нами, показали, что наибольшую опасность для населения шахтных поселков и городов имеют шламы сточных вод, которые загрязнены радиоизотопами цезия, урана, радия, индия, а в особенности тория, по которому наибольший пик в спектре излучения (проведен спектральный анализ по торию, цезию, урану).

Измерение β -излучения проведенное для шламов сточных шахтных вод дает уровень излучения 200-300 частиц/см кв. за минуту, что более чем в 50 раз превышает излучения гранита, базальта, диорита и габбро (пород вулканического происхождения) [5].

Учитывая неблагоприятные гидрометеорологические условия востока Украины (ветры до 20-25 м/сек.), а средний уровень 4-6 м/сек., отсутствие крупных лесных массивов, возможно рассеивание радиоактивной пыли из накопителей шахтных шламов, терриконов на большие площади, в том числе на поселковые и городские массивы. Возможно попадание радионуклидов с отстойников шахтных вод в водоносные горизонты, в сеть водоснабжения и речки региона.

Вышеприведенные факты коррелируют с повышением уровня онкобольных в последнее время. При общем уровне 1,5-2% годовой прирост заболеваемости составляет 0,3-0,4%, а в будущем возможны и еще большие показатели, которые связаны с большим периодом индукции этого типа заболеваний (15-20 лет).

Такая ситуация характерная для шахт близ городов Кировск, Стаханов, Красный Луч, Антрацит, Свердловск и других городов Луганской области.

Выводы. 1. Необходимо срочно обеспечить контроль над выделенными бюджетными средствами на рекультивацию промышленных площадок закрытых шахт.

2. Местные органы власти должны информировать население о радиационной опасности, устанавливать информационные указатели, ограждения промышленных зон и т.п.

3. Ученым необходимо обеспечить мониторинг экологической ситуации, по изменению гидрологических, геохимических и радиационных показателей, для чего крайне необходимо финансирование научных разработок из государственного бюджета и бюджет региона.

Литература

1. Смирный М.Ф., Зубова Л.Г., Зубов А.Р. Классификация отвалов угольных шахт Донбасса по их техногенной опасности // Збірник наукових праць СНУ ім. В.Даля. Екологія №1 (3) 2005. – С. 92.
2. Чипсикова О.А. Влияние промышленного производства на экологическую ситуацию городов Донецкой области // Збірник наукових праць СНУ ім. В.Даля. Екологія №1 (3) 2005. – С. 147.
3. Звонов В.А. Образование загрязнений в процессах сгорания // Луганск ВУГУ, 1998. - С. 36.
4. Степанов А.Е., Рублевский Н.Т. Содержание радиоактивных примесей в ископаемых углях Украины // Проблеми загальної енергетики. №3, 2000. - С. 66-68.
5. Темкин В. Армагедон локального масштаба / Газета XXI век, №48, от 16.11.2006. – С. 24.

Н.А.Касьянов, Г.Г.Басов, А.А.Мычко, Н.А.Пительгузов,
В.А.Малов

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ШУМОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПАССАЖИРСКОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

В статье получены зависимости, на основе которых рекомендовано использовать на пассажирском подвижном составе специальные облицовки с применением резонансных звукопоглотителей. В этом случае стоячие волны не возбуждаются и происходит значительное снижение шума, проникающего в кабину машиниста и пассажирский салон, от различных источников. Ист. 10.

Состояние вопроса. Постоянно возрастающий объем пассажирских перевозок требует значительного увеличения пропускной и провозной способности железных дорог. Основным направлением успешного решения этой задачи является повышение комфорта салонов пассажирских вагонов и скоростей движения поездов, что, в свою очередь, невозможно без совершенствования существующих и создания новых типов локомотивов и, в частности, дизель- и электропоездов.

Развитие пассажирского подвижного состава характеризуется увеличением комфорта пассажиров и конструкционной скорости, повышением экономичности, обеспечением высокой надежности агрегатов, увеличением межремонтных пробегов и улучшением условий работы обслуживающего персонала. Все это тесно связано с непрерывным повышением требований к снижению уровня шума и вибраций. Последние влияют на надежность и долговечность узлов и деталей, снижают их прочность, уменьшают работоспособность аппаратуры и приборов, вызывают дополнительный расход мощности на поддержание, например, вибрационных процессов. Шум и вибрация ухудшают условия труда локомотивных бригад и пассажиров, вызывают многочисленные нежелательные реакции в организме человека, приводят к повышенной утомляемости, специфичным профессиональным заболеваниям, расстройствам нервной и сердечно-сосудистой систем.

Таким образом, борьба с шумом, а также и вибрацией, является не только технико-экономической проблемой, но и социальной, так как от ее решения зависит и прогресс в области техники, и здоровье людей.

Национальной и отраслевой программами Минпромполитики Украины об улучшении состояния охраны труда на 2001-2005 гг. (утверждена Постановлением Кабинета Министров Украины 10.10.2001 г. №1320), а также Концептуальными направлениями Программы улучшения состояния, безопасности, гигиены труда и производственной среды на 2006-2010 г.г. [1] признаны приоритетными разработки новых высокоэффективных средств защиты от шума в промышленности и на транспорте. Поэтому проведение работ по изысканию эффективных средств снижения шума в кабинах машиниста и салонах пассажирских вагонов дизель- и электропоездов является одним из важных вопросов в решении проблемы улучшения условий труда обслуживающего персонала и безопасности жизнедеятельности пассажиров.

Постановка задачи. Холдинговой компанией «Лугансктепловоз» выпускаются различные виды пассажирского подвижного состава (ППС), каждый из которых имеет свои специфические источники шума, отличающиеся по уровням и частотным составляющим, при наличии ряда общих особенностей:

1. Существует два пути проникновения шума в кабину машиниста и салоны пассажирских вагонов дизель- и электропоездов: воздушный – по воздуху и структурный – по конструкциям.
2. Уровни шума ППС имеют значительные временные колебания, зависящие от режима работы оборудования и скорости движения.
3. Рабочие и пассажирские помещения ППС имеют ограниченные размеры в пределах габарита подвижного состава.
4. Железнодорожные транспортные средства перемещаются в пространстве по строго установленному маршруту – по линиям железной дороги.
5. Транспортные средства имеют два вида ходовых частей: с тяговыми электродвигателями и без них.
6. Транспортные средства имеют открывающиеся окна и двери.
7. Наличие значительного количества вспомогательного оборудования.
8. Наличие влияния отраженных звуковых волн от ограждений и экранов, расположенных вблизи железнодорожных линий.

В соответствии с санитарными нормами [8] уровни шума на рабочих местах дизель-поездов в октавных полосах частот от 31,5 до 8000 Гц не должны превышать [2...7] 107 ... 69 дБ, эквивалентный уровень – 80 дБА, а электропоездов – 99 ... 64 дБ и 75 дБА, в пассажирских вагонах – 99 ... 49 дБ и 60 дБА соответственно. Фактически уровни шума, по данным измерений, полученных в процессе испытаний указанных видов ППС, находятся в этих пределах. Однако в процессе эксплуатации наблюдаются превышения установленных норм, зависящие от режима работы ППС, состояния верхнего железнодорожного пути и срока эксплуатации. Исходя из этого, на новом ППС фактические уровни шума в кабинах машиниста и пассажирских салонах основных источников должны быть на 5 ... 10 дБ ниже установленных нормами.

Санитарные службы Украины, используя свой многолетний опыт и опыт стран СНГ, следят за состоянием шумовой нагрузки обслуживающего персонала различных категорий промышленности, устанавливая предельные уровни шума по октавным полосам частотой от 31,5 до 8000 Гц [8].

Поэтому возникла необходимость в проведении экспериментальных исследований по оценке воздушных и структурных составляющих шума основного и вспомогательного оборудования дизель- и электропоездов, результаты которых представлены ниже.

Материалы и результаты исследования. Звуковые колебания на железнодорожных транспортных средствах распространяются от места контакта колеса и рельса и от силовых и вспомогательных механизмов по воздуху (воздушная компонента) и по элементам металлоконструкций, образующих рабочее или пассажирское пространство внутри транспортного средства (структурная компонента).

Наиболее неблагоприятными, с точки зрения воздействия на обслуживающий персонал, являются стоячие звуковые волны в октавных полосах 31,5; 63 и 125 Гц, кратные основным гармоническим колебаниям при работе силовых и вспомогательных механизмов на дизель-поездах. На электропоездах и трамваях возникают значительные колебания при работе тормозных компрессоров и вентиляторов.

При движении транспортных средств наблюдается общая картина для всех видов рельсового подвижного состава. Шум в этом случае возникает от ударных явлений о стыки и из-за волнообразного износа рельсов при длительной эксплуатации верхнего строения пути. Изучив основные источники шума и пути распространения, можно предложить эффективные меры по его снижению на пассажирском подвижном составе.

На дизель-поездах эти проблемы являются сложными, поскольку количество источников значительно больше из-за автономности источника движения – дизель-генератора и вспомогательных механизмов.

При анализе путей распространения шума на конкретном подвижном составе установлено возможное влияние различных вариантов его источников:

1. Основными составляющими являются воздушные пути проникновения из-за недостаточной звукоизоляции ограждений, наличия неплотностей, щелей, открытых окон, дверей в тамбурах и т.д.

2. Основной составляющей общего уровня шума является структурная, вызванная вибрационными явлениями несущих конструкций и ограждений, передаваемых от силовых, вспомогательных механизмов и экипажной части.

3. Переменное влияние источников по воздушным и структурным составляющим из-за изменения режима работы, нагрузки и скорости движения, что, в общем, чаще всего и имеет место.

Величина уровней шума внутри пассажирского подвижного состава определяется наибольшими составляющими, и поэтому работа по его снижению представляет довольно сложную задачу и требует оценки величины влияния отдельных источников и их составляющих в спектре шума.

Имея данные по источникам шума и допустимым нормам шума внутри подвижного состава на рабочих местах и в пассажирских салонах, можно определить величину снижения шума каждого источника по его составляющим:

$$\Delta L_i = L_u - L_g, \quad (1)$$

где L_u – максимальная составляющая i -го источника шума в октавных полосах частот, дБ;

L_g – допустимый уровень шума на рабочем месте или в салоне пассажирского подвижного состава в той же полосе частот, дБ.

Рассматривая отдельные конструктивные элементы и участки, имеющиеся на пассажирском подвижном составе, можно выделить следующие помещения:

- кабины управления (кабины машиниста);
- машинные помещения дизель-поездов;
- пассажирские салоны в мотор-вагоне;
- пассажирские салоны прицепных вагонов без силовых и вспомогательных механизмов.

Составляющие излучения воздушного и структурного шума на пассажирском подвижном составе имеют различную природу возникновения, однако при его распространении есть общие положения в условиях объема воздушного пространства, ограниченного габаритами подвижного состава.

Кузов ППС можно представить как некоторую однородную эквивалентную цилиндрическую оболочку с радиусом, равным:

$$r_k = 0,56\sqrt{F_k} \leq 1,300 \div 1,700 \text{ м}, \quad (2)$$

где F_k – площадь поперечного сечения кузова ППС, м².

При этом предельное значение r_k зависит от конструкции и может изменяться, например: для трамваев r_k составляет 1,3; для дизель-поездов – 1,7 м.

Для анализа модели звукового поля в условиях некоторой оболочки используем волновую теорию звуковых колебаний, нашедшую широкое применение в последние годы в практике акустических расчетов транспортных средств.

Распределение звуковых колебаний в ограниченном объеме ППС может быть описано волновым уравнением [9, 10], в котором гармонические колебания имеют вид:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = -\frac{\omega^2}{c^2} \cdot \bar{P}, \quad (3)$$

где $\bar{P}(x, y, z)$ – амплитуда колебаний звукового давления;

ω – угловая скорость;

c – скорость звука в воздухе, м/с.

На границе условно принятых абсолютно жесткими конструкций ограждения можно записать следующие условия:

$$\frac{\partial \bar{P}}{\partial B_n} = 0, \quad (4)$$

где B_n – некоторый вектор внешней нормали, направленный на границу конструкции.

Для принятой цилиндрической формы решение краевой задачи может быть представлено произведением решений одномерной и двухмерной задач:

$$\bar{P} = P(x, y, z) \cos \frac{\pi \cdot n \cdot x}{l_x}, \quad (5)$$

где $n=0, 1, 2, 3$; l_x – размер исследуемого пространства вдоль оси x по длине пассажирского подвижного состава.

Подстановкой выражения (5) в (3) и (4) можно получить краевую задачу для определения скорости и частоты колебания в двух направлениях y и z :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} + \frac{\omega_y^2}{c^2} \cdot V = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial V}{\partial B_6} = 0, \quad (7)$$

где B_6 – вектор внешней нормали к боковой поверхности конструкции;

ω_y – угловая частота колебаний, зависит от угловой частоты возмущения;

$$\omega = \sqrt{\omega_y^2 + \frac{\pi^2 n^2 c^2}{l_x^2}}. \quad (8)$$

Решение краевой задачи, представленной выражениями (6) и (7), может быть сведено к упрощению при реализации метода конечных элементов с линейным законом распределения звукового давления.

Для стоячих волн звуковое давление во внутреннем воздушном пространстве ППС по граничным условиям может быть представлено в виде

$$\frac{\partial P}{\partial B_H} = -\rho \cdot a . \quad (9)$$

Решение выражения (9) имеет вид:

$$\bar{P} = \rho \cdot c^2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{E_m}{\omega^2 - \omega_m^2} \cdot P_m(x, y, z), \quad (10)$$

где E_m – энергетический параметр элементарной частицы колебаний

$$E_m = \iint_S P_m(S) \cdot a(S) dS , \quad (11)$$

где S – текущая координата на внутренней поверхности ограждений ППС;

ω_m – частота собственных колебаний воздушного объема;

P_m – звуковое давление в ограниченном объеме ППС.

Разложение выражения (10) показывает, что установившийся режим колебаний на определенной частоте зависит от размера угловых частот и величины энергетического параметра.

Выводы. На основе полученных зависимостей, можно рекомендовать на пассажирском подвижном составе использовать специальные облицовки с применением резонансных звукопоглотителей, изменяющих параметр E_m , который должен быть равен нулю. В этом случае стоячие волны не возбуждаются, и происходит значительное снижение шума, проникающего в кабину машиниста и пассажирский салон, от различных источников.

Литература

1. Лисюк М.О., Репін В.М. Концептуальні засади Програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2006-2010 р.р. // Інформ. бюлетень з охорони праці. – К.: УкрНДІОП. – 2005. – №1. – С. 29-39.
2. ГОСТ 12.1.050-86 «ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах».
3. ГОСТ 12.1.003-89 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».
4. ГОСТ 12.2.056-81. Электровозы и тепловозы колеи 1524. Требования безопасности.
5. ДСТУ 2867-94. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження.
6. ДСТУ 2325-93 «Шум. Терміни та визначення».
7. ОСТ 24.050.18-82. Вагоны пассажирские и рефрижераторные. Шумовые характеристики.
8. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
9. Справочник по технической акустике. Пер с нем. / Под ред. М. Хекла, Х. Мюлера. – Л.: Судостроение, 1980. – 440 с.
10. Малов В.А., Теоретический анализ звуковых колебаний воздуха внутри помещений кабин управления и салонов дизель-поездов // Вісник. СХУ ім. В.Даля – Луганськ, 2005. – № 8(90), Ч 2. – С. 252–255.

І.А.Пологович

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ ЗДРІБНЮЮЧИХ
ДЕТАЛЕЙ КОНІЧНИХ ВІБРОІНЕРЦІЙНИХ ПОДРІБНЮВАЧІВ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ**

Наведено результати дослідження зношування здрібнюючих металевих деталей конічних віброінерційних подрібнювачів у вібруючому суцільному потоці часток сипучого абразивного матеріалу, що подрібнюється, і запропоновані раціональні конструктивно-технологічні методи підвищення міжремонтного ресурсу їхньої роботи. Рис. 1. Дж. 6.

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Раціональна переробка мінеральної сировини і продуктів є важливою складовою всього промислового комплексу України. Центральним і найбільш енергоємним масовим технологічним процесом при цьому є здрібнювання. Природне бажання підвищити економічні показники цих процесів обумовило розвиток робіт з удосконалення прогресивних конічних віброінерційних подрібнювачів (КВП), основною відмінною ознакою яких є руйнування матеріалу, що подрібнюється (ПМ) у шарі в умовах інтенсивного вібраційного впливу і відсутність зазору між робочими поверхнями здрібнюючих деталей (ЗД) на холостому ходу [1]. У даному випадку істотно збільшується ударно-стираючий ефект, що визначає основну якість та кількісну картину процесу здрібнювання, а закономірності вібраційного здрібнювання наближаються до закономірностей абразивного зносу. Тому зношування ЗД у такого типу подрібнювачах є неминучим процесом, а їхня довговічність тісно пов'язана з зносостійкістю робочих поверхонь їх ЗД.

Вищенаведене свідчить про великі економічні втрати, пов'язані з відновленням і заміною ЗД такого типу подрібнювачів, і про актуальність вивчення процесу зношування їх ЗД у вібруючому суцільному потоці абразивних часток ПМ і розробки раціональних конструктивно-технологічних методів підвищення ресурсу їхньої роботи. При цьому усе більш актуальним є визначення впливу якості конструкції КВП на їхню експлуатаційну стійкість і термін їхньої служби.

Аналіз останніх досліджень, у яких позначено вирішення даної проблеми. У роботах [2-6] наведено результати досліджень і опис розроблених способів підвищення зносостійкості робочих деталей при їхньому виготовленні. Традиційними способами підвищення зносостійкості робочих деталей шляхом максимального збільшення твердості матеріалів з використанням твердих сплавів, твердого наплавлення, корунду на бакелітовому зв'язуванні, кам'яного лиття й інших прийомів [2] у ряді випадків успішно вирішують поставлену завдання. Однак при цьому результати не завжди позитивні. У залежності від умов експлуатації й інтенсивності швидкознашування деталей іноді корисніше підвищувати не тільки твердість їхнього матеріалу при виготовленні, а створювати умови роботи ЗД, що дозволяють зміцнювати їх без розбирання, а це дає можливість зменшити інтенсивність їхнього зношування і підвищити експлуатаційну стійкість.

В останні роки виконано багато наукових досліджень [2-6], спрямованих на вивчення зношування і підвищення довговічності ЗД такого типу подрібнювачів. У той же час складність і невивченість природи зношування конструкційних матеріалів ЗД при їхній експлуатації в контактній взаємодії з вібруючим суцільним потоком часток сипучих абразивних ПМ, велика номенклатура устаткування і умови експлуатації, що різко відрізняються, утрудняють застосування відомих методів для підвищення довговічності ЗД і ресурсу роботи КВП в процесі їхньої експлуатації.

Постановка завдання. Дослідження абразивного зношування здрібнюючих деталей у вібруючому суцільному потоці часток сипучих подрібнюваних абразивних матеріалів і розробка раціональних конструктивно-технологічних методів підвищення їхньої довговічності та міжремонтного ресурсу їхньої роботи.

Виклад матеріалу досліджень і його результати. Для вирішення цього проблемного завдання була розроблена фізична модель камери здрібнювання розробленого автором такого типу подрібнювача, принципова схема якої наведена на рис. 1. Основними деталями камери здрібнювання є дебалансні вібратори - 1 і 2, внутрішня конічна ЗД - 3, зовнішня кільцева ЗД - 4.

При коливальному русі внутрішньої ЗД 3 на частку 5 діють сила ваги G , сила інерції I , грузила вібратора при його обертанні, сила тертя T . Силу ваги G можна розділити на нормальну $N=G \cdot \cos \alpha$ і тангенціальну складову $S=G \cdot \sin \alpha$. При прямому ході ЗД 3 тиск частки 5 на її поверхню буде складатись із силою інерції вібратора, а при зворотному ході буде відніматися. При цьому швидкість V переміщення часток ПМ через камеру визначається конструктивними і технологічними параметрами камери здрібнювання.

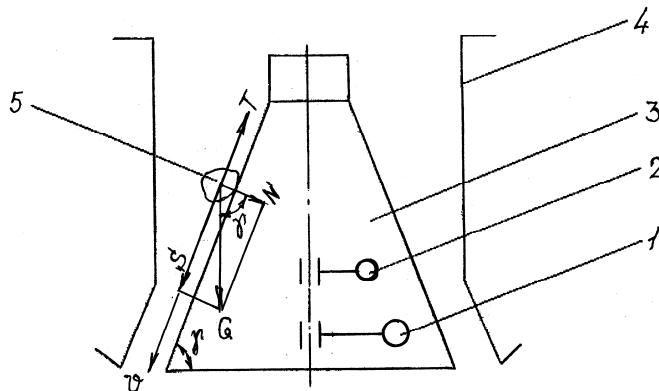


Рис. 1. Принципова схема камери здрібнювання

Необхідно відзначити, що при математичному моделюванні зношування передбачається, що частки, що подрібнюються, у ході процесу не руйнуються. Але в умовах здрібнюючого обладнання це неможливо [3], тому що саме здрібнювання є метою даного технологічного процесу. Ця обставина створює додаткові труднощі. З огляду на те, що зразки ЗД 3 за формою і розмірами перед кожним дослідженням були однакові, а в якості визначення інтенсивності зношування був прийнятий масовий критерій оцінки зносу, за якого інтенсивність зношування за масою може бути визначена з виразу [3]:

$$K_g = \frac{\Delta m}{Q}, \quad (1)$$

де Δm - утрата маси зразка після зношування протягом заданого часу тривалості випробувань, рівного для всіх дослідів, г;

Q - маса абразивного ПМ, що контактує в ході дослідження з поверхнею ЗД, M^3 .

Отже для відносного порівняння ресурсів ЗД, визначених при різних дослідженнях, формулу для визначення ресурсу деталі [3] можна спрощено визначати формулою:

$$T = \frac{\delta}{3,6 \cdot 10^{-2} \cdot \varphi \cdot K} = \frac{K_1}{K}, \quad (2)$$

де δ - товщина деталі, мм;

φ - концентрація часток, г/(см²·с);

K - інтенсивність зношування матеріалу, г/м³;

$K_1 = \delta / 3,6 \cdot 10^{-2} \cdot \varphi$ - постійний коефіцієнт.

В якості матеріалу для всіх зразків ЗД 3 при проведенні випробувань була застосована сталь 110Г13Л з вихідною твердістю 220НВ. Це зв'язано з тим, що ЗД відомих дробарок і млинів [1, 2] виконуються в більшості випадків з цієї сталі завдяки її властивості самонаклепуватися в процесі роботи, що забезпечує їй підвищену зносостійкість. Необхідно відзначити, що в інерційних конічних подрібнювачах наклеп має місце при руйнуванні вихідних кусків ПМ у контактні з поверхнями ЗД. У камері здрібнювання КВП процес здрібнювання ведеться усередині шару ПМ, тому контактні тиски на поверхні ЗД у цьому випадку є недостатніми для наклепу. У зв'язку з цим у камері здрібнювання відбувається звичайний абразивний знос поверхонь ЗД.

Величина зношування оцінювалася за втратою маси зразка. Час зношування для всіх зразків становить 150 хв. Зважувалися зразки до і після зношування на вагах з точністю до 0,01 г. В якості здрібнюючого матеріалу застосовувався вапняк, що складається з відсортованих часток з середнім діаметром, рівним 0,9 ширини розвантажувального отвору камери здрібнювання. Коливальний рух у горизонтальній площині ЗД 3 здійснювався від віброінерційного привода 1 з частотою коливань 1500 хв⁻¹ і амплітудою коливань 3-4 мм.

При дослідженні зразка ЗД 3, виготовленого з вихідної сталі 110Г13Л, з числом твердості за Бринелем, рівним 220, питома інтенсивність зношування металу ЗД 3 становила 2,8 г/м³.

При дослідженні зразка ЗД 3 виготовленого з такої ж сталі, але з двочастотними коливаннями ЗД 3 [5,6] з високою частотою коливань, рівною 2500 хв⁻¹, і амплітудою коливань, рівною 2-3 мм, виконуваною за допомогою віброінерційного привода 2 і низькою частотою коливань, рівною 1500 хв⁻¹, з більшою амплітудою, рівною 3-4 мм, здійснюваною приводом 1. Питома інтенсивність зношування металу ЗД 3 при цьому становила 2,23 г/м³, що менше ніж у попередньому досліді. Це можна пояснити тим, що при використанні двох приводів, що працюють у високочастотному і низькочастотному режимах, створюються умови для ефективної роботи КВП. При цьому знижуються енерговитрати на процес здрібнювання внаслідок зниження роботи сил тертя на поверхнях контактуючих між собою часток ПМ і ЗД, що сприяє зниженню питомої інтенсивності зношування металу ЗД 3. До того ж дослідження зношування ЗД показують, що при вібрації ЗД не всі частки потоку ПМ стикаються із зношеною поверхнею, тому що частина їх зіштовхується з частками, що відбилися від поверхні ЗД у результаті їхнього вібраційного коливання, тим самим затінюючи частину поверхні ЗД, що зношується.

При дослідженні зразка ЗД 3, виготовленого з тієї ж сталі, але з виконанням профілактичного зміцнення поверхонь за допомогою вібраційного наклепу металевими загартованими кульками з діаметром рівним діаметру часток ПМ амплітуда коливань ЗД 3 становила 2-4 мм, а частота коливань 1500 хв⁻¹ при часі обробки 150 хв. Питома інтенсивність зношування металу ЗД 3 при подальшому пропусканні потоку ПМ через камеру здрібнювання становила 1,7 г/м³.

Отримані дані дозволяють зробити висновок, що підвищення ресурсу ЗД 3 відбулося в другому досліді в порівнянні з першим на таку величину:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{K_1 \cdot 2,8}{2,23 \cdot K_1} = 1,26, \quad (3)$$

а в третьому досліді в порівнянні з першим дослідом підвищення ресурсу ЗД 3 становило

$$\frac{T_3}{T_1} = \frac{K_1 \cdot 2,8}{1,7 \cdot K_1} = 1,65, \quad (4)$$

Висновки і напрямки подальших досліджень. Наведені результати дослідження абразивного зношування здрібнюючих деталей у віброуючому суцільному потоці часток сипучих абразивних матеріалів, що подрібнюються, і запропоновані раціональні конструктивно-технологічні методи підвищення їхньої довговічності дозволяють зробити висновок, що найбільш ефективним методом підвищення ресурсу роботи здрібнюючих деталей є профілактичне зміцнення їх поверхневою пластичною деформацією. Далі необхідно провести додаткові дослідження зміцнення металевих здрібнюючих деталей віброінерційною динамічною поверхневою обробкою тиском.

Література

1. В.И.Ревнивцев, Г.А.Денисов, Л.П.Зарогатский, В.Я.Туркин. Вибрационная дезинтеграция твердых материалов. – М.: Недра, 1992.- 430 с.
2. Н.С.Пенкин, Е.П.Капралов, П.В.Маляров и др. Повышение износостойкости горно-обогатительного оборудования. / Под ред. Н.С.Пенкина. - М.: Недра, 1992. - 256 с.
3. Клейс И.Р., Ууэмыйс Х.Х. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия.-М.: Машиностроение, 1986. - 160 с..
4. Блехман И.И., Кацман Я.М., Титова Л.Г. Моделирование износа броней конусных дробилок//Обогащение руд. - №6. – 1989. – С.26-29.
5. Пологович И.А., Пологович А.И. Анализ возможных путей снижения металлоемкости и повышения ресурса дисковых истирающих измельчителей / Сб. научн. тр. ДонГТУ. - Алчевск: ДонГТУ, 2004. - Вып.18. – С. 187-191.
6. Пологович И.А. До технологічного розрахунку віброінерційного конічно-кільцевого здрібнювача / Сб. научн. тр. ДонГТУ – Алчевск: ДонГТУ, 2005. - Вып. 20. – С. 190–195.

УДК 621.387.143

К.А.Корсунов, В.С.Гаврыш, Е.А.Ашихмина

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЛОПАТКАХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с применением защитных покрытий в авиаремонтном производстве. Выполнен анализ отбраковки деталей при ремонте вертолетных двигателей в условиях государственного предприятия Министерства обороны Украины «Луганский авиационный ремонтный завод». Рис. 6. Табл. 1. Ист. 8.

Одной из важнейших задач совершенствования авиационных двигателей являются повышение надежности и ресурса их работы. Надежность работы газотурбинных двигателей в значительной степени зависит от стойкости лопаток компрессора и турбины, которые подвергаются действию статических, динамических и циклических нагрузок и являются основными высоконагруженными деталями.

Лопатка состоит из следующих конструктивных элементов, показанных на рис.1: пера, хвостовика, полка пера и хвостовика, а также антивибрационных и бандажных полков. В зависимости от назначения (для вертолетов, военных, транспортных и пассажирских самолетов) авиационной промышленностью изготавливаются различные газотурбинные двигатели – малой, средней и большой мощностью. Соответственно существует достаточно широкий размерно-конструктивный диапазон изготавливаемых лопаток компрессора и турбины (рис. 1) [1].

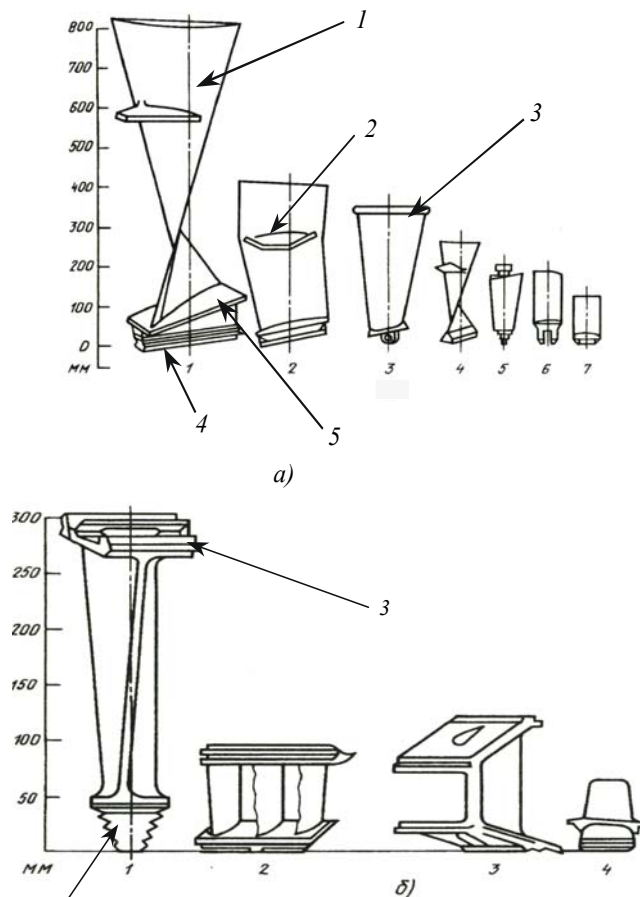


Рис. 1. Внешний вид лопаток [1]: а - компрессора двигателя; б - турбины двигателя:
 1 – перо лопатки; 2 – антивибрационная полка; 3 – верхняя бандажная полка;
 4 – хвостовик; 5 – нижняя бандажная полка

За время эксплуатации двигателя, особенно в тропическом климате, поверхностный слой лопаток интенсивно повреждается (рис. 2). В поверхности возникают и развиваются микротрещины, нередко образуются эрозионные повреждения (рис. 3), сколы материала, происходит внутреннее окисление металла, снижается концентрация защитных элементов, возникают поры, изменяются фазовый состав и структура поверхностного слоя. Степень и характер эрозионного износа компрессорных лопаток зависят от дисперсного состава и количества пыли, засасываемой в двигатель. По мере продвижения вдоль компрессора частицы пыли дробятся и сепарируются к периферийным сечениям лопаток, вследствие чего происходит эрозионный износ входных кромок лопаток [2].

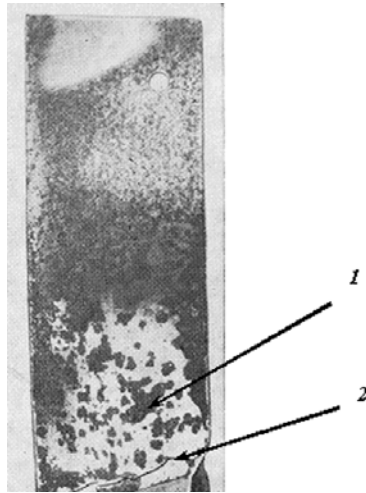


Рис. 2. Лопатка компрессора со следами коррозии и трещиной на радиусе перехода от пера к замку [7]: 1 – коррозия, 2 – трещина



Рис. 3. Лопатка компрессора вертолетного двигателя с эрозионными повреждениями

С целью защиты от разрушения материала лопаток при эксплуатации применяют разнообразные покрытия:

- 1) диффузионное хромо-алюминидное (Х-ДифА);
- 2) диффузионное алюминидно-силико-фосфатное (ДифА-СФ);
- 3) диффузионное алюминидное (алитирование);
- 4) металлокерамическое (ВП-АФЦ и Н-ВП-АФЦ);
- 5) никель-кадмиевое;
- 6) нанопокрyтия (из нитрида титана, нитрида циркония, карбида циркония и т.п.).

Покрyтия типа Х-ДифА, ДифА-СФ, алитирование, ВП-АФЦ и Н-ВП-АФЦ применяются на лопатках турбины и сопловых аппаратов в узлах горячей части двигателя с рабочей температурой выше $+700^{\circ}\text{C}$. Покрyтия типа никель-кадмиевое, нанопокрyтия применяются на лопатках компрессора двигателя, где рабочая температура может быть до $+350^{\circ}\text{C}$.

Диффузионные покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью при температурах, превышающих $+700^{\circ}\text{C}$, их микротвердость составляет от 500 до 800 кг/см^2 . Разнотолщинность покрытий по профилю пера не превышает 2 мкм при толщине покрытия 20 мкм. Вследствие диффузионного насыщения алюминием поверхностных слоев лопаток повышается их жаростойкость, и их применение расширяется до рабочих температур $+(850...900)^{\circ}\text{C}$ [3]. Если процессы нанесения покрытий Х-ДифА и ДифА-СФ достаточно трудоемки, то процесс нанесения алюминидного покрытия прост и применяется значительно чаще. Известно, что диффузионные покрытия используют на лопатках горячей части двигателя, состоящих из сталей 15Х12Н2МВФАБ-Ш, ВЖЛ-12У, ХН51ВМТЮКФР-ВД, ЖС-6К и др. Указанные покрытия можно применять на лопатках различных габаритов, поскольку они наносятся методами: окраски и последующего отжига, высокотемпературного диффузионного насыщения во взвеси из различных компонентов, насыщения в расплавленных электролитах необходимых веществ.

Металлокерамические покрытия (ВП-АФЦ и Н-ВП-АФЦ) обладают хорошей коррозионной стойкостью (3 балла по пятибалльной шкале [3]) при рабочих температурах до $+(400...450)^{\circ}\text{C}$. Однако у таких низкая эрозионная стойкость (1

балл по пятибалльной шкале). Покрытия отличаются от других выгодной технологичностью. Неравномерность напыления покрытий и низкая эрозионная стойкость приводят к выветриванию его с лопаток в эксплуатационных условиях, а в свою очередь места выветривания подвергаются коррозионному воздействию так же, как лопатки без покрытия. Покрытия ВП-АФЦ и Н-ВП-АФЦ наносят в основном на лопатках из сталей, сильно подвергающихся газовой коррозии. Используемый метод нанесения покрытий – газопламенный.

Никель-кадмиевое покрытие обладает достаточно неплохой коррозионной стойкостью при рабочих температурах до $+350^{\circ}\text{C}$ (2 балла по пятибалльной шкале) [3]. Однако при температурах, превышающих $+350^{\circ}\text{C}$ из-за наличия в покрытии больших внутренних остаточных напряжений растяжения происходит развитие питтинговой коррозии и трещин, имеющих преимущественно интеркристаллитный характер (на лопатках из стали 13X11H2B2MФ с помощью метода цветной дефектоскопии были выявлены трещины от 0,5 до 4 мм) [5].

Как показано в работе [3], коррозия и трещины на лопатках возникают из-за наводороживания металла в процессе восстановления никель-кадмиевого покрытия при ремонте лопаток. Вследствие этого необходимо проводить после каждого удаления дефектного покрытия обезводороживающий отжиг, что повышает трудоемкость и понижает технологичность процесса.

Никель-кадмиевое покрытие на лопатках компрессора (материал ст. 13X11H2BMФ-Ш, ЭИ961-Ш) обычно наносится гальваническим методом и толщина покрытия составляет приблизительно (9...15) мкм.

Износостойкие вакуумные покрытия обладают высокой эрозионной стойкостью (4 балла по пятибалльной шкале), но более низкой коррозионной стойкостью (1 балл по пятибалльной шкале [3]). Рабочая температура таких покрытий достигает всего $+350^{\circ}\text{C}$, поэтому их в основном используют в узлах двигателей, работающих до $+400^{\circ}\text{C}$. Диффузионные и металлокерамические покрытия не применяются на лопатках компрессора, а никель-кадмиевое покрытие уступает по эрозионным свойствам нанопоккрытиям, что немаловажно для компрессорных лопаток. Поэтому нанесение вакуумных покрытий считается одним из перспективных направлений по защите лопаток компрессоров.

Нанопоккрытия наносятся послойно: подслои из чистого металла (например, титан, цирконий и т.п.), слой или два из нитридов, карбидов или алюмонитридов соответствующего металла (рис. 4). Известно, что оптимальная толщина всего покрытия составляет (2...10) мкм, поскольку покрытия толще 10 мкм твердые и хрупкие и при эксплуатации растрескиваются, выкрашиваются, а на основном материале в свою очередь начинаются процессы коррозии и эрозии. Анализ литературы по нанопоккрытиям показал, что их наносили на следующие материалы: стали У8÷У13, Р6М5, Р9К9, сплав Т15К6 (материал режущих инструментов); сталь 14X17H2; сплавы ВК8, алюминиевый САП-2, титановые ВТ3-1, ВТ-20 [4].

Поскольку в двигателях часты так называемые титановые пожары, возникающие при трении титановых деталей, работающих до температур $+300^{\circ}\text{C}$, и приводящие к быстрому эрозионному разрушению многих деталей и узлов, то считается целесообразным нанесение нанопоккрытий из нитридов или карбидов ме-

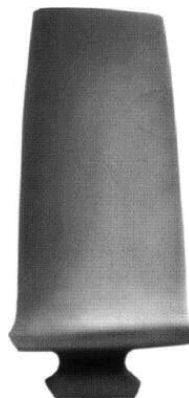


Рис. 4. Лопатка ротора компрессора с нанесенным покрытием из нитрида титана [8]

таллов вакуумным способом. Такие покрытия наносятся на вакуумном оборудовании типа «Булат», «Пуск-1», МАП-1, «Юниор», «ВУ» (белорусского Сморгонского завода); ВАТТ-1600 (Казанского завода «ФерриВатт») и др. Нанопокрyтия защищают лопатки от титановых «пожаров», выдерживают эрозийные испытания, вследствие чего ресурс лопаток увеличивается в 2÷3 раза (рис. 5). Так, например, на рис. 6 представлен ротор компрессора вертолетного двигателя ГЕТ64 после испытаний под струей песка (скорость песка 90 м/сек, дисперсность 100 мкм) с лопатками без покрытия (серые) и лопатками с покрытием. Видно, что покрытые лопатки остаются целыми, а непокрытые сильно повреждены, что приводит к снижению мощности двигателя на 25%.

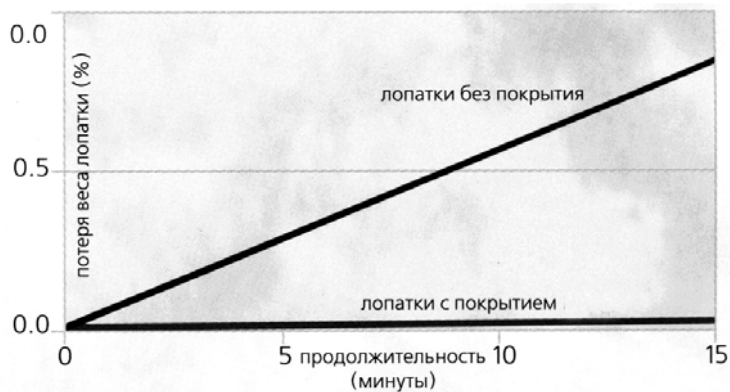


Рис. 5. Зависимость потери веса от времени испытания лопаток на эрозийный износ [8]

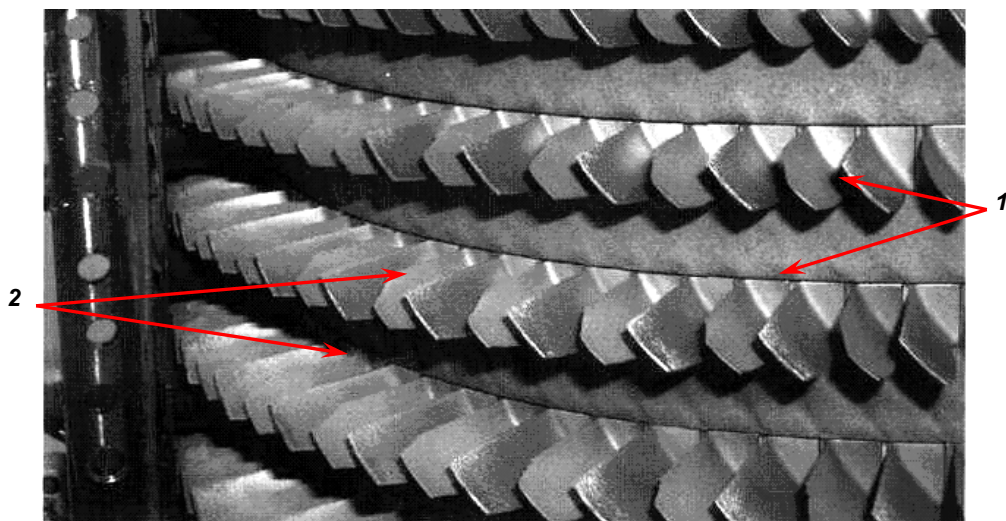


Рис. 6. Ротор компрессора вертолетного двигателя после испытаний на эрозийный износ лопаток [8]:

1 – лопатки с покрытием, содержащим нитрид титана; 2 – лопатка без покрытия

На ведущих предприятиях авиационной промышленности Украины и стран СНГ, например, ММП «Салют» (г. Москва), ЗАО «Авиакор-авиационный завод» (г. Самара), ОАО «Мотор Сич» (г. Запорожье), ОАО ПРАД «Уральский завод гражданской авиации» и др., используют передовые технологии по нанесению вакуумных покрытий. Покрытия наносят как на лопатки двигателей, так и на детали агрегатов [6].

На ГП МО Украины «Луганский авиационный ремонтный завод» производится ремонт вертолетных двигателей ТВЗ-117. Материалом лопаток указанного двигателя служит титановый сплав ВТ-8. Как показывает проведенный статистический анализ, в условиях ГП МО Украины «Луганский авиационный ремонтный завод» в процессе ремонта двигателей забраковывается большой процент лопаток (табл. 1), не имеющих защитных покрытий, что, в свою очередь, повышает стоимость ремонтных работ.

Таблица 1

Статистические данные по 80-ти двигателям ТВЗ-117

Деталь \ Степень компрессора	1	2	3	4	5
Лопатки компрессора (материал ВТ-8)	51%	30%	25%	22%	20%
Лопатки направляющего аппарата	27%	26%	26%	19%	5%

Согласно актам забраковки деталей, основные дефекты, по которым забраковываются лопатки, – эрозионный износ входных кромок и забоины по размерам больше требований технических условий на деталь.

Как видно из таблицы 1, процент забраковки этих лопаток достаточно высок, поэтому возникла потребность в изучении существующих защитных покрытий. Проанализировав достаточное количество литературных источников, было выбрано следующее защитное покрытие – износостойкое нанопокрытие, получаемое вакуумным способом на вышеуказанных установках и состоящее из нитрида титана либо карбида циркония. Как было сказано, данное покрытие имеет высокую эрозионную стойкость, что необходимо при работе лопаток двигателя.

Поскольку нет литературных данных по нанесению износостойких покрытий на материале ВТ-8, то на предприятии ведутся работы по исследованию технологии нанесения и качества нитрида титана и нитрид-титан-циркония – на лопатках направляющего аппарата и лопатках компрессора.

Литература

1. Крымов В.В., Елисеев Ю.С., Зудин К.И. Производство газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 2002. – 376 с.
2. Распределение пылевых частиц в проточной части компрессора ГТД / В.К. Алексеев, Л.Ф. Волкова, И.Л. Гликсон, В.С. Лукьянов //Авиационная промышленность. – 1989. – № 7. – С. 24-25.
3. Душкин А.М., Процин А.Б., Иванов Е.Г. Защитные покрытия для стальных лопаток компрессора ГТД // Авиационная промышленность. – 1988. – №7. – С. 13-15.
4. Розенблат В.В., Наглый Ю.К. Нанесение износостойких покрытий на инструмент методом ионной бомбардировки // Авиационная промышленность. – 1988. – №5. – С. 71-72.
5. Колтунов А.Е., Кузьмичев Б.П. Разрушение лопаток компрессора ГТД с никель-кадмиевым покрытием //Авиационная промышленность. – 1987. – №5. – С. 80.
6. Износостойкое покрытие из нитридов циркония для легких сплавов / В.А. Богомолов, Г.Б. Ларина, Б.А. Полянин, Ф.М. Хлыстов // Авиационная промышленность. – 1988. – №3. – С. 51-53.
7. Акимов В.М. Основы надежности газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1981. – 207 с.
8. Рекламный проспект ОАО «Уральский завод гражданской авиации». – Екатеринбург: 2004г.

Ю.С.Денищик, В.В.Мурга

АВТОМАТИЗАЦІЯ АСТРОНОМІЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

В работе показаны возможные пути автоматизации астрономических наблюдений, включая лазерно-локационные наблюдения космических объектов, проводимые в комплексе с GPS-коррекцией получаемых результатов. Показана возможность позиционирования телескопа по данным, получаемым с видеокамеры главного гида. Рис. 3.

При проведении астрономических наблюдений приходится решать задачи, связанные с определением местоположения небесных тел, их скорости перемещения. Проведение наблюдений в «ручном» режиме может сопровождаться ошибками, обусловленными различной яркостью небесных тел и очень малым углом их видимости.

Стандартная комплектация лазерно-локационных станций существенно уступает современным радиолокационным системам по сервисным устройствам, особенно – автоматического управления и диагностики.

Одним из полигонов для отработки вопросов автоматизации астрономических наблюдений является научный комплекс Алчевской астрономической обсерватории, который состоит из лазерно-локационной станции (ЛЛС) и перманентной GPS-станции наблюдений искусственных спутников Земли. Лазерно-локационный комплекс показан на рисунках 1, 2, 3. Комплекс предназначен для проведения геодинимических исследований и координатно-временного обеспечения работ заинтересованных организаций и ведомств. Обсерватория используется Укргеодезкартографией как опорный пункт нулевого класса точности перманентной геодезической системы Украины. Представленный комплекс успешно используется для поддержки геоинформационных систем, и проведения экологических исследований. Последнее имеет крайне важное значение для районов восточной Украины, ввиду бедственного экологического положения областей востока Украины.

Развитие научного комплекса Алчевской астрономической обсерватории связано с созданием системы диагностики для сбора и обработки информации о состоянии ЛЛС и внешних условиях ее работы с последующим переходом к оперативному управлению телескопом и приемо-передающей аппаратурой. Система управления и диагностики для ЛЛС основана на возможностях современных технологий по оцифровке изображений и распознаванию образов в реальном масштабе времени. Фотометрия звездного неба, контроль параметров излучения лазерного передатчика и его энергетических характеристик, учет метеопараметров должны обеспечить разрешение одной из самых актуальных проблем лазерно-локационной технологии - определение и постоянный контроль параметров выходного излучения передатчика, потерь излучения в атмосфере и в оптических трактах ЛЛС для нахождения поправок и прогнозирования реальной предельной дальности действия станции.

Решение подобных задач облегчается при использовании метода распознавания образа небесного тела. Использование данного метода сопровождается оцифровкой изображения с одновременной обработкой информации в реальном масштабе времени. Получение изображений звездного неба, фотометрирование слабых световых потоков возможно осуществить современными ПЗС

матрицами. Такие матрицы имеют достаточно высокую чувствительность (0,00005 лк), которая позволяет без применения электронно-оптического преобразователя работать в ночное время. Полученная информация может быть использована при работе лазерно-локационных станций. Помимо указанного применения ПЗС матрица выполняет функции контроля распределения интенсивности по полю излучения для лазерного передатчика и контроля его энергетических характеристик для оперативного управления при проведении лазерных наблюдений искусственных спутников Земли. Такой комплекс на базе ПЗС матрицы представляет собой диагностическую систему для лазерно-локационной станции (ЛЛС).

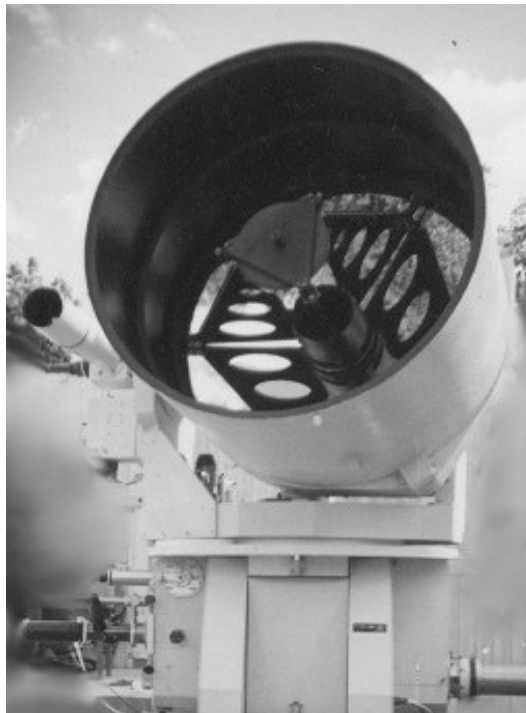


Рис. 1. Телескоп ТПЛ-1М лазерно-локационной станции с большим зеркалом главной оптической системы диаметром 1 м; справа внизу расположен приемник оптического излучения



Рис. 2. Рабочее место оператора; справа в стойке находятся компьютерные устройства управления телескопом и измеритель координат ИСЗ с компьютерной регистрацией



Рис. 3. Передатчик ЛЛС с пикосекундным лазером, генерирующим импульсы излучения на длине волны 0,53 мкм после удвоения частоты

Диагностическая система для ЛЛС, построенная с применением обработки информации от ПЗС матриц, позволяет автоматизировать ряд задач:

- точное позиционирование телескопа по фрагменту звездного неба;
- автоматическое сопровождение объектов локации и визуализация процесса на экране монитора без использования электронно-оптического усилителя яркости, имеющего сравнительно низкую надежность;
- фотометрирование участков неба в направлении наблюдения для определения параметров трассы распространения лазерного излучения с учетом метеорологических факторов;
- фотометрирование рассеянного лазерного излучения в процессе локации для учета влияния параметров атмосферы на точность измерений дальности;
- определение уровня посторонней паразитной засветки для оперативной настройки приемного устройства ЛЛС (без накопления);
- определение коэффициента потерь в телескопе с помощью фотометрирования эталонных источников (искусственных и естественных);
- контроль энергетических параметров лазерного передатчика и пространственно-временных характеристик его излучения;
- позиционирование телескопа в дневное время по внешним реперам для обеспечения круглосуточной локации;
- использование телескопа ЛЛС для решения астрономических задач при отсутствии объектов локации, например, обнаружение новых планет и астероидов.

Реализация диагностической системы может быть выполнена путем установки в канал главного гида телескопа телевизионной камеры типа VNC-743 и последующего согласования камеры с компьютером для обеспечения передачи изображения.

Для управления приводом и оптическим коммутатором телескопа используется управляющий сигнал с использованием LPT - порта, который обеспечивает используется - разработать интерфейсы для современных компьютеров, обеспечивающих управление и обмен управляющей и телеметрической информацией с передатчиком и приемником ЛЛС, метеостанцией.

При выполнении данной задачи можно использовать и другие порты. Однако в этом случае необходима разработка соответствующего интерфейса и программного обеспечения для обработки и хранения информации.

Подобное решение позволяет не только использовать лазерно-локационные станции с большей эффективностью, но и объединять ЛЛС с GPS – системами, которыми в настоящее время оборудуются многие астрономические обсерватории. В дальнейшем такие комплексы могут обеспечить оперативное управление навигацией, в режиме реального времени решать вопросы экологии, геодезии геодинамики, т.е. стать основой геоинформационных систем нового поколения.

УДК 538.31:621.3

Ю.А.Бранспиз

О ПРОБЛЕМЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Показано, что умаление роли физических основ в теоретической электротехнике как технической науке было до последнего времени объективным процессом. Показана также недостаточность для практического применения известных представлений об электромагнитных явлениях в конкретных электротехнических устройствах. Предлагается строить физические основы электротехники, применяя современные методы описания микроскопического магнитного поля. Ист. 17.

Введение. Теоретическое осмысление электротехники появилось вместе с самой электротехникой еще в середине XIX века. Причем это осмысление сразу пошло по двум основным направлениям:

- осмысление физических основ электротехники (для максимально эффективного использования тех физических явлений электромагнетизма, которые полагались в основу функционального действия соответствующих электротехнических устройств);

- разработка практических методик расчета электротехнических устройств на основе расчетов электромагнитных явлений в них, удовлетворяющих определенным требованиям точности.

Ясно, что при этом характер и содержание первого направления изменялись с развитием физики электромагнетизма. Но всегда присутствовало стремление на понимание физической сути (сущности) того или иного используемого в конкретном электротехническом устройстве явления (проявления) электромагнетизма. В качестве примера можно привести объяснение физической сути электродинамического взаимодействия двух прямолинейных проводников с токами – ситуация, часто встречающаяся в электротехнике. Первое объяснение (*старинное*) основывается на использовании силовых линий поля вокруг проводников с током и их взаимном *сложении* или *вычитании*. Второе объяснение (*современное*) основывается на рассмотрении взаимодействия потоков электронов в проводниках (см., например, соответствующий материал в [1])

Это стремление к уяснению физической сути явлений декларируется и в современной теоретической электротехнике. Так, в *Предисловии* к последнему изданию известного учебника по теоретическим основам электротехники под редакцией академика Демирчяна К.С. указывается: «... *первоначальная ориентация курса на первичность понимания особенностей электромагнитных процессов в рассматриваемом конкретном устройстве над формально расчетными методами приобретает все более важное значение*» [2].

В этой связи отметим, что, согласно приведенному тексту:

- с одной стороны, «первичность понимания» была первоначальной ориентацией и должна, следовательно, уже быть в теоретической электротехнике;

- с другой же стороны, эта «первичность» все еще должна приобретать, иначе говоря, доказывать, свое «важное значение», по сравнению с «формально расчетными методами».

То есть имеет место явное несоответствие, которое обусловлено тем, что декларируемая «первичность понимания» только и декларируется, а реальное положение дел заключается в приоритете второго пути в теоретическом осмыслении электротехники.

В самом деле, констатируя, что вначале была *первоначальная ориентация на первичность понимания* (на что указывается и в [2]), следует признать, что затем эта ориентация была потеряна. И это наглядно проявляется в том, что если ранее в курсах теоретических основ электротехники присутствовал значительный по объему раздел физических основ электротехники (см., например, [3, 4]), то в современных курсах теоретической электротехники (см., например, [1, 5]) ориентация на изложение именно физических основ электротехники, а не сводки законов физики электромагнетизма, утеряна.

Это может рассматриваться как проблема физических основ теоретической электротехники, которая обуславливает определенные трудности и в преподавании и в практическом применении результатов теоретической электротехники как технической науки. Уяснение некоторых особенностей этой проблемы и является целью данной работы.

1. Объективность проблемы (первый гносеологический аспект). Потеря ориентации на изложение именно физических основ электротехники в современных курсах основ теоретической электротехники произошла, конечно, не сразу.

Это косвенно признается и в [1], когда отмечается, что: «*Развитие возможностей ЭВМ и их программного обеспечения в настоящее время и в перспективе таковы, что изучение расчетных методов для их освоения и развития перестает быть приоритетным*». Значит, все-таки развитие именно расчетных методов было до этого приоритетным; значит, все-таки имеется необходимость приобретать (доказывать) значение *первичности понимания* (в указанном выше смысле).

При этом проблема, повторимся, заключается в том, что сами физические основы собственно изъяты из теоретических основ электротехники.

Так, в [1] оставлен лишь первый вводный раздел «Основные понятия и законы теории электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей», много меньший других разделов. Здесь отметим характерное объединение теории электромагнитного поля и теории цепей. Характерное, потому что оно отражает общую тенденцию в теоретической электротехнике рассмотрения и исследования преимущественно электрических цепей (в последнее время – электронных цепей), к которым сводятся, например, даже задачи расчета электромагнитов (метод эквивалентных схем замещения). Эта тенденция проявляется, в частности, в том, что практически во всех курсах теоретической электротехники изложение теории линейных электрических цепей составляет наибольшую по объему часть. Именно эта тенденция и позволила утверждать профессору Нетушилу А.В. о том, что современная теоретическая электротехника находится в состоянии *оцепенения* [6].

Профессор Нетушил А.В. наряду с утверждением об *оцепенении* теоретической электротехники утверждал также и об *обессиливании* ее, имея в виду отсутствие в ней интереса к рассмотрению вопросов преобразования энергии в

электротехнических устройствах и сопутствующих такому преобразованию силовых взаимодействий элементов этих устройств [6].

Но все дело в том, что указанные *оцепенение* и *обессиливание* теоретической электротехники не являются просто чьей-то «злой волей», а объективно обусловлены:

во-первых, характером развития теоретической электротехники как *технической науки*;

во-вторых, характером того знания о проявлениях электромагнитного поля, которое дает нам современная физика.

Что касается указанного «во-первых», то развитие теоретической электротехники именно как технической науки ставит перед ней одну из основных задач всех технических наук – создание полезных (практически применимых) моделей явлений в соответствующих технических устройствах [7, 8]. Поэтому в теоретической электротехнике достаточно давно возникли способы описания конкретных проводов и катушек с током, конкретных систем заряженных тел на основе использования таких понятий, как сопротивление, индуктивность, емкость, представляющие собой идеальные (теоретические) объекты с сосредоточенными параметрами, которые позволяют обобщенно (интегрально) описать реальные электромагнитные процессы в соответствующих объектах, являющиеся проявлениями электромагнитного поля. Практическое удобство применения этих понятий привело к разработке достаточно развитой теории цепей, которая и предлагается в настоящее время как основной инструмент рассмотрения различных электрических и магнитных явлений в различных электротехнических устройствах. При этом достаточным является простое знание о тех идеализациях реальных объектов, которые дали указанные понятия. Как следствие, на таком понимании теоретическая электротехника и *оцепеневает* (ясно, что в этом случае физические основы электротехники являются излишними).

Кроме того, если теоретическая электротехника и рассматривает какие-то электромагнитные процессы вне теории цепей, то это делается на основе системы уравнений электромагнитного поля (уравнения Максвелла), которые в этом случае могут рассматриваться как исходная система некоторых *аксиом поля*. Как следствие, любые построения теоретической электротехники являются в этом случае дедуктивными (из общего – уравнений Максвелла, ищутся частные решения этих уравнений). Такой дедуктивный характер теоретической электротехники не делает ее ближе к физике (к физическим основам ее), являющейся наукой преимущественно индуктивной [8].

Таким образом, указанное *обессиливание* и *оцепенение* теоретической электротехники является объективно обусловленным, приводя, как следствие, к возникновению и рассматриваемой проблемы. Такая объективная обусловленность рассматриваемой проблемы развитием теоретической электротехники как технической науки может быть названа гносеологическим аспектом объективности этой проблемы. Конечно, недостаточно просто указать на этот аспект. Требуется его подробный анализ, который требует соответствующих исследований. Здесь лишь отметим, что основу этих исследований может составить анализ теоретического знания, приведенный в [9].

Что же касается указанной выше объективной обусловленности *обессиливания* и *оцепенения* теоретической электротехники характером имеющихся современных физических знаний об электромагнитных явлениях, то несмотря на всю глубину и обширность этих знаний, их можно определить понятием «недостаточность для практического применения». Эта *недостаточность* также имеет определенный гносеологический аспект, который рассматривается далее более подробно.

В качестве же примеров такой *недостаточности*, чтобы не быть голословными, укажем на принцип действия двигателя постоянного тока и объяснения явления электромагнитной индукции. Современная физика по сути принципа действия двигателя постоянного тока дает следующее: рассматривается сила на проводник с током в магнитном поле в ситуации (см., например, [10]), которая практически в двигателях не встречается, поскольку в реальных двигателях проводники с током размещаются в пазах, в которых индукция магнитного поля равна нулю. Что же касается явления электромагнитной индукции, то современная физика, указывая на универсальный характер этого явления (проявляется в форме записи соответствующего закона, не зависящего от способа изменения магнитного потока), объясняет его лишь через силу Лоренца на электроны проводимости в проводниках контура, что не объясняет возникновение ЭДС индукции, когда, например, поток через контур изменяется в некоторой локальной зоне, которая не содержит проводников контура.

2. Второй гносеологический аспект проблемы – микроскопическая основа макроскопического электромагнитного поля. Недостаточность современных физических представлений об электромагнитных явлениях можно рассмотреть, прежде всего, в той проблеме расчета силового воздействия постоянного магнитного поля на вещества с магнитными свойствами, которая возникает в теоретической электротехнике ввиду существенных различий, имеющих место для тех расчетных выражений, которые предлагает нам физика [11]. Конечно, с точки зрения сути указанного силового воздействия, на качественном уровне имеется общепризнанная позиция, заключающаяся в том, что это силовое воздействие есть результат силового воздействия магнитного поля на структурные составляющие вещества. Различия проявляются, условно говоря, на количественном уровне. Например, согласно электронной теории строения вещества Лоренца, силовое действие магнитного поля на любое вещество, в том числе и магнитное, определяется как суммарный эффект действия электромагнитного поля на движущиеся заряженные составляющие вещества (микроскопические токи).

Собственно, так и рекомендуется поступать при определении силового воздействия постоянного магнитного поля на вещества с магнитными свойствами в [12]. Но при последовательном проведении способа Лоренца в рассмотрение надо принимать микроскопический характер структурных составляющих вещества и соответствующих их движениям токов, а также микроскопический характер действующего на эти токи электромагнитного поля. Но именно при таком последовательном использовании микроскопического подхода разными исследователями были получены существенно различающиеся результаты (неочевидная эквивалентность этих различных результатов показана автором в [11]).

Здесь, не касаясь причин указанных различий, отметим лишь тенденцию современной физики, ее преимущественную направленность на «микроскопическое», которая обусловлена:

- и тем, что уровень «микроскопичности» позволяет найти соответствующую основу для истолкования разных явлений (например, объяснение существования магнитных веществ с разными типами магнитного порядка с помощью решеток Нееля);

- и тем, что именно на этом уровне «микроскопичности» были экспериментально обнаружены многие микроскопические магнитные явления, которые потребовали своего, соответственно тоже микроскопического, истолкования.

Что же касается причин отмеченных различий в расчете силового воздействия постоянного магнитного поля на вещества с магнитными свойствами, то она кроется, прежде всего, в различии предлагаемых современной физикой

способов аналитического описания микроскопического электромагнитного поля (сводку соответствующих уравнений см. в [13]). Но ведь именно усреднение микроскопического электромагнитного поля (усреднение величин, которыми оно характеризуется) дает макроскопическое электромагнитное поле, которое, собственно, и является объектом рассмотрения в теоретической электротехнике. При этом не является очевидным, что соответствующее усреднение даст одинаковый результат для макроскопического электромагнитного поля.

Поэтому, хотя микроскопический подход и не вызывает, вроде бы, сомнений как основа для описания электромагнитного поля на макроскопическом уровне, но разногласия и трудности по поводу аналитического описания микроскопического магнитного поля обуславливают то, что такое описание осуществляется лишь в статистической физике (см., например, [14]). Причем, как на это указано в [15], соответствующее описание не является однозначным по своим результатам. Тем не менее именно эти результаты после соответствующей адаптации их применительно к техническим задачам, могут составить физические основы современной электротехники, аналогично тому, как физика микроскопических явлений составляла физические основы электротехники в прошлом. Это, впрочем, требует привлечения к указанной адаптации специалистов-физиков (собственно, к этому, с позиции повышения общего уровня образованности электротехников, призывал и профессор Нетушил А.В. в [17]), которые владеют соответствующими результатами, что возможно, например, осуществить как разработку соответствующих прикладных разделов физики.

В подтверждение этого укажем, что в последнее время на страницах различных электротехнических журналов появились публикации, в которых их авторы ставят перед собой задачу выяснения сути тех или иных явлений электромагнетизма в различных электротехнических устройствах. Но, например, в дискуссии на страницах журнала «Электричество» по поводу сущности явлений электромагнетизма все свелось, по сути, к отказу от современных представлений, известных в физике, с возвратом к представлениям об электромагнитном поле, основанным на введении в рассмотрение силовых линий (см., например, [16]). Это и понятно, поскольку понятие силовых линий показало свою эффективность во многих случаях как полезная практическая модель. Но если идти не от феномена, а стремиться к сущностному пониманию электромагнитных явлений, что, собственно, и требуется при разработке новых электротехнических устройств, то такой модельный подход является недостаточным (потому и появляются в последнее время публикации по описанию сути электромагнитных явлений в электротехнических устройствах).

В этой ситуации важными являются как раз знания, накопленные физикой, которая должна обратить внимание на остающуюся насущной необходимость обоснования макроскопических явлений электромагнитного поля на основе микроскопического подхода. Иначе умаление роли физических основ электротехники объективно мотивированное, как указано выше, на предыдущем этапе ее развития, станет тормозом для дальнейшего развития и теоретической электротехники (технической науки) и самой электротехники.

В заключение следует отметить, что указанная выше недостаточность существующих физических представлений об электромагнитных явлениях предполагается а priori относительно легко преодолимой именно со стороны физиков-специалистов, к которым и обращена данная работа (эта априорность неявно предполагается и в [17]).

Выводы. 1. Объективные условия развития теоретической электротехники как технической науки, направленность этого развития на создание практически полезных моделей, обеспечивающих инженерные расчеты электротехни-

ческих устройств с достаточной точностью, способствовали уменьшению роли физических основ в теоретической электротехнике, что привело в итоге к преимущественному развитию теории цепей.

2. Одной из причин, способствовавших уменьшению роли физических основ в теоретической электротехнике, является недостаточность того обоснования и описания проявлений электромагнетизма в конкретных электротехнических устройствах, которые дает физика.

3. В настоящее время в связи с актуальностью вопросов преобразования энергии в электротехнических устройствах и силовых взаимодействиях элементов этих устройств, возникла необходимость существенного рассмотрения соответствующих проявлений электромагнитного поля, что требует развития физических основ электротехники на новом современном уровне, который может быть обеспечен при использовании имеющихся в физике результатов по описанию электромагнитных явлений на микроскопическом уровне.

Литература

1. Парселл Э. Электричество и магнетизм: Берклевский курс физики, Т.2. – М.: Наука, 1975. – 440 с.
2. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Т. 1 / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. – СПб.: Питер, 2003. – 463 с.
3. Круг К.А. Основы электротехники: В 2-х т. Т.1. Физические основы электротехники. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1946. – 472 с.
4. Поливанов К.М. Теория электромагнитного поля.– М.: Энергия, 1975.– 208 с.– (Теоретические основы электротехники. В 3-х т. / Под общ. ред. К.М. Поливанова.– Т.3).
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. – М.: Высш. шк., 1978. – 231 с.
6. Нетушил А.В. Фарадей и проблемы современной теоретической электротехники // Электричество. – 1992.– №4.– С. 1-4.
7. Горохов В.Г., Розин В.М. Введение в философию техники. – М.: Инфра-М, 1998. – 224 с.
8. Канке В.А. Основные философские направления и концепции науки. – М.: Логос, 2004. – 328 с.
9. Степин В.С. Теоретическое знание. – М.: Прогресс-Традиция, 2003. – 744 с.
10. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике: Вып. 6. Электродинамика. – М.: Мир, 1977. – 347 с.
11. Бранспиз Ю.А. Электромагнитные (пондеромоторные) силы постоянного магнитного поля (основы теории и практики расчета): Дис. ... д.т.н.– Луганск, 2003. – 416 с.
12. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 928 с.
13. Бранспиз Ю.А. О моделировании взаимодействия магнитного поля и вещества на микроскопическом уровне // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.– 2005.– №7(89). – С. 19-26.
14. Ахиезер А.И., Пелетминский С.В. Методы статистической физики. – М.: Наука, 1977. – 368 с.
15. Макаров В.П., Рухадзе А.А., Самохин А.А. Волны с отрицательной групповой скоростью. Условия существования в изотропной среде // Український фізичний журнал. – 2005. – Т. 50. – №8а. – С. 159-169.
16. Гандилян С.В., Иванян М.И., Гандилян У.В. Эволюция физических основ электротехники и электродинамики// Электричество.– 1992.– №9.– С. 52-56.
17. Нетушил А.В. О двух позициях в изложении физических основ электротехники // Электричество. – 1993. – №5. – С. 40-44.

Ю.С.Денищик, В.В.Мурга, Е.В.Мурга**КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЛАЗЕРНЫХ СРЕДАХ**

Представлены пути повышения энергетической эффективности импульсных лазеров при использовании коллективных эффектов, возникающих в возбужденной активной среде. Показаны возможные методы реализации коррелированных состояний излучающих активных центров. Даны оценки по адаптивному режиму возбуждения и по изменениям параметров генерируемого излучения. Рис. 2. Ист. 3.

В настоящее время энергетическая эффективность традиционных методов лазерной генерации приблизилась к своему теоретическому пределу. Дальнейшее совершенствование методов лазерной генерации идет по пути создания новых оптических схем, порой очень сложных, которые могут существовать только в лабораторных условиях. Исследования процессов, протекающих в возбужденной активной среде лазеров, проводимых в лаборатории ДМЦ «Орион», позволило выделить ряд явлений, которые могут обеспечить существенное повышение энергетических характеристик лазеров без каких-либо изменений оптической схемы генерации. В данном случае вопрос касается неиспользованных до сих пор резервов, которые обусловлены коллективными явлениями, протекающими в возбужденной среде лазеров.

Коллективные эффекты проявляются только в возбужденной активной среде и являются одним из проявлений коррелированного состояния возбужденных активных центров. Наблюдение этих эффектов возможно в течение времени, определенного временем поперечной релаксации данного сорта атомов [1]. Однако в сильных полях коррелированные состояния могут наблюдаться в течение времени, превышающего время поперечной релаксации [2].

На практике использование таких коллективных явлений, как суперлюминесценция и сверхизлучение, позволяет существенно повысить энергетическую эффективность лазера. Данные эффекты наблюдаются в активной среде при достаточно высоком уровне инверсии населенностей. Так как дифференцировать эти два вида коллективных явлений довольно тяжело, и в большинстве случаев это носит условный характер, в дальнейшем будем использовать название «сверхизлучение».

Наши исследования показали, что при периодическом внешнем воздействии высокой интенсивности возможно установление коррелированного состояния возбужденных активных центров. Излучение активных центров, находящихся в коррелированных состояниях, носило характер сверхизлучения.

Одним из вариантов сильного вынуждающего воздействия может служить последовательность интенсивных импульсов накачки, подаваемых после достижения в активной среде половинного уровня инверсии. Длительность и скважность импульсов, накладываемых на опорный импульс накачки, зависит от параметров активной среды (геометрические размеры кристалла, сорт и концентрация активных центров). При таком воздействии возникает волнообразный процесс распространения возмущений в кристалле, направленный от периферии к оси кристалла. Эти волны были названы волнами динамической поляризации [3]. При согласовании волн динамической поляризации и коэффициента связи возбужденных активных центров, между ними устанавливаются коррелированные состояния. В этих состояниях активные центры находятся в течение действия волн динамической поляризации. При низкой добротности резонатора снижение инверсии за счет потерь на спонтанное излучение невелико. Поэтому

при включении добротности помимо гигантского импульса в выходном излучении наблюдается излучение, обусловленное коллективными эффектами.

Исследование временных и пространственных характеристик генерируемого излучения указывает на то, что данная добавка происходит за счет сверхизлучения. Характер добавочного излучения заметен на осциллограммах огибающей генерируемого излучения при малых значениях коэффициента отражения выходного зеркала, т.е. при высоких значениях полезных потерь. В этом случае излучение, обусловленное коллективным эффектом, происходит сразу после включения затвора, в то время как гигантский импульс развивается дольше и на осциллограмме просматривается как отдельный импульс.

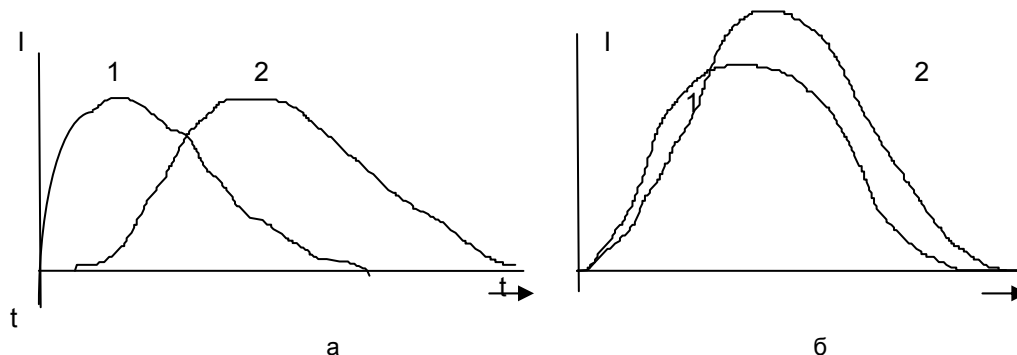


Рис. 1. Сверхизлучение (1) и гигантский импульс (2) на временной диаграмме при больших полезных потерях (а) и при малых (б)

При высоком значении коэффициента отражения выходного зеркала развитие гигантского импульса происходит значительно быстрее, и излучение обоих типов накладывается друг на друга. Энергия выходного импульса возрастает. При этом также отмечено существенное укорочение результирующего гигантского импульса. Изучение распределения поля излучения в дальней зоне показало, что расходимость излучения уменьшается в 1,5 раза, что свидетельствует о коллективном характере излучения и увеличении размеров излучающих областей (нитей).

Использование режима накачки с указанными особенностями позволяет за счет вклада коллективных эффектов повысить энергию выходного излучения в 1.3 - 1.4 раза, уменьшить расходимость излучения и улучшить распределение интенсивности по торцу кристалла в плане равномерности, что очень существенно для таких технологических операций, как лазерная фотолитография и размерная обработка материалов.

В процессе экспериментальных исследований зависимости интенсивности излучения лазера от режима накачки выявлены некоторые характерные особенности излучения, проявляющиеся при возбуждении активной среды импульсом сложной формы. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что возбуждение среды импульсом накачки в виде последовательности коротких пиков с периодом следования τ приводит к увеличению интенсивности излучения при меньшем уровне инверсной заселенности среды, чем для "гладкой" накачке с той же интегральной энергией.

$$\tau = \frac{L}{v_r},$$

где L – диаметр лазерного кристалла,

v_r – групповая скорость распространения возбуждения в активной среде лазера.

Согласно широко распространенной методике расчета лазерных параметров, качественную зависимость энергии моноимпульса от плотности инверсной населенности Δ_0 можно представить выражением, которое получено на основании решения балансных уравнений:

$$W = \frac{h\nu_{21}S\Delta_0}{4\beta} \ln \frac{1}{r_2}.$$

Возникающее отличие экспериментальных данных для возбуждения активной среды периодической последовательностью коротких импульсов от результатов расчета при помощи балансных уравнений указывает на появление нелинейности в зависимости выходной интенсивности от числа возбужденных активных центров. Это подтверждает предположение о введении возбужденных активных центров в коррелированные состояния путем периодического внешнего воздействия, согласованного со свойствами среды.

На рис.2 представлены экспериментальные осциллограммы развития сверхизлучения и гигантского импульса, снятые при помощи скоростного осциллографа 6ЛОР01 для различных значений полезных потерь.

В общем случае можно говорить о суперпозиции интенсивностей, создаваемых излучением областей сфазированных диполей и областей, характеризующихся отсутствием корреляций в состояниях излучающих диполей.

При резонансной накачке с ростом размеров области, характеризующейся когерентным состоянием диполей активных центров, растет вклад в общую интенсивность коллективного излучения, что приводит к нарушению линейности зависимости интенсивности генерируемого излучения от величины инверсии среды.

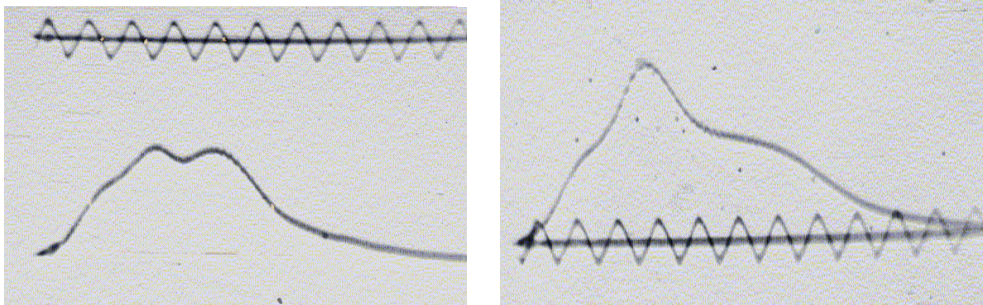


Рис. 2. Развитие сверхизлучения и гигантского импульса при различных значениях полезных потерь в резонаторе. Период калибровочной синусоиды 3 нс

Исследуя эволюцию формы моноимпульса при изменении режима возбуждения, можно отметить, что при резонансной накачке улучшается форма, в данном случае повышается симметричность огибающей выходной энергии при сохранении величины превышения начального возбуждения над пороговым ($n_{нач.}/n_{пор.}$), что заметно отличается от данных, приводимых в литературе.

Спад интенсивности за вершиной импульса определяется величиной потерь и происходит с постоянной времени:

$$t_e \cong \frac{L}{c} (\alpha L - \ln \sqrt{r_1 r_2}),$$

где c – скорость света в активной среде;
 α – коэффициент, характеризующий поглощение среды, который пропорционален $(N_2 \frac{g_1}{g_2} - N_1)$, и в конкретно рассматриваемом случае равен:

$$\alpha = 2 \frac{N_1 - N_2 \frac{g_1}{g_2}}{N},$$

где g_1 и g_2 – вырождение уровней;
 N – общее число активных центров.

При прохождении активной среды интенсивность излучения возрастает по закону $I(z) = I_0 \exp(\gamma z)$. Для большого превышения начальной инверсии ($n_{нач}$) над ($n_{пор}$) время нарастания импульса оказывается короче t_c (в силу большого значения коэффициента усиления γ), тогда как время спада близко к t_c . Это происходит вследствие того, что указанным этапам формирования импульса соответствуют существенно разные соотношения между усилением и потерями в резонаторе. В частности, при спаде потери увеличиваются по сравнению с периодом, соответствующим нарастанию интенсивности, и поэтому характерная постоянная времени спада приближается к t_c .

Существование бегущей волны поляризации приводит к эффекту перемещения возбуждения по кристаллу, и тем самым происходит компенсация потери усиления среды, возникающей из-за локального уменьшения инверсии при излучении фотонов на переднем фронте импульса. В данном случае эффект "выгорания дыр" уменьшается, и для фиксированной моды фотонного поля в пределах длительности всего гигантского импульса усиление среды сохраняется неизменным. Этим можно объяснить симметричность заднего фронта импульса переднему [102].

Рассматривая явление уменьшения расходимости излучения при возбуждении активной среды сложным импульсом накачки, можно сделать заключение, что этот результат находится в согласии с предыдущими выводами. С физической точки зрения данный эффект проявляется благодаря интерференции интенсивностей отдельных излучателей. В результате этого яркость повышается в центральной части снимка. Сохранение интенсивности излучения на некотором уровне в периферийной области происходит из-за того, что коллективизирован не весь объем кристалла, и остаются области, характеризующиеся некогерентным состоянием диполей возбужденных активных центров.

Использование режима возбуждения, при котором проявляются коллективные эффекты, позволяет практически без изменения оптической схемы генерации повысить энергию выходного излучения в 1.3 - 1.4 раза и уменьшить расходимость излучения. Подобные решения могут найти широкое применение как в технологических лазерных системах, лазерных локационных комплексах, так и для проведения научных исследований.

Литература

1. Вейлстеке А. Основы лазерных усилителей и генераторов / Пер. с англ. – М., 1963. – 408 с.
2. Электромагнитное сверхизлучение / Сборник трудов. Казанский физико-технический институт. – Казань, 1975. – С. 226.
3. Денищик Ю.С., Колпаков Н.Д., Мурга В.В. О возможности использования взаимного влияния активных центров лазерных рабочих сред для повышения эффективности накачки // Электронная техника. Сер. Лазерная техника и оптоэлектроника. – М., 1990. – № 4 (56). – С. 63-64.

П.И.Голубничий, Ю.М.Крутов, Д.В.Решетняк

ДИНАМИКА ПАРОГАЗОВОЙ ПОЛОСТИ В ЖИДКОСТИ В ПОЛЕ КОРОТКОГО БИПОЛЯРНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА

В работе проанализирована динамика парогАЗОВОГО пузырька, пульсирующего в поле короткого биполярного акустического импульса разной полярности. Рассчитаны термодинамические условия и состав парогАЗОВОЙ смеси в коллапсирующем пузырьке в рамках модели, включающей тепло-массообмен между пузырьком и окружающей жидкостью. Установлены и объяснены различия в динамике пузырька и параметрах парогАЗОВОЙ смеси в коллапсе для импульсов разной полярности, а также отличия в этих параметрах для разных смесей. Рис. 1. Табл. 1 Ист. 15.

Введение. Открытие однопузырьковой сонолюминесценции (СЛ) [1] стимулировало многочисленные работы по изучению светоизлучающих процессов, генерации ударных волн, химических реакций и других явлений с высокой концентрацией энергии в кавитирующей под действием акустических полей жидкости, а также работы по построению моделей этих процессов (см. обзоры [2, 3]). При однопузырьковой СЛ короткие (~ 100 пс) световые вспышки испускаются в момент коллапса пузырька (достижения им минимального размера), пульсирующего в акустической камере и имеют тепловую природу. Вместе с тем механизм возникновения СЛ в многопузырьковых кавитационных полях на современном этапе наиболее полно описывается теорией локальной электризации пузырьков [2].

Актуальной проблемой является установление условий, при которых в многопузырьковых системах могут быть реализованы плотности энергий и характеристики соноосвещения, свойственные однопузырьковой СЛ. Например, исследование свечения из пузырькового кластера, который образуется в жидкости в фокальной области сходящейся ударно-акустической волны, указывает на его термоадиабатическую природу [4]. Многократное увеличение интенсивности свечения (свойственное однопузырьковой СЛ) наблюдается также в импульсно-модулированном акустическом поле; в этом случае проявляется эффект просветления кавитационной зоны, т.е. объемная концентрация пузырьков будет значительно меньше, чем в случае стационарной волны, а акустическая проницаемость зоны выше [5]. Это приводит к ослаблению взаимодействия пузырьков, они сохраняют устойчивость сферической формы, что повышает концентрацию энергии при схлопывании; поэтому коллапс отдельных полостей будет сходен с условиями однопузырьковой кавитации. Теоретического моделирования процессов внутри кавитационных пузырьков в этих работах, однако, не проводилось.

Мы полагаем, что исследования СЛ в умеренных импульсных акустических полях также позволят прояснить этот вопрос, т.к. за время действия импульса не успеет образоваться плотное кавитационное облако, и пузырьки будут взаимодействовать слабо. Это дает основание полагать, что в поле одиночных акустических импульсов (АИ) в коллапсирующих полостях возможны такие же термодинамические условия, как и в однопузырьковой СЛ или даже более критические. Поэтому для установления особенностей схлопывания пузырька в данной работе проанализирована его динамика в поле короткого биполярного АИ разной полярности, а также рассчитаны термодинамические условия и состав парогАЗОВОЙ смеси (ПГС) в нем в момент первого коллапса в рамках модели, включающей тепло-массообмен между пузырьком и жидкостью. В качестве жидкости рассматривалась вода.

Динамика одиночной парогазовой полости. Закон изменения радиуса пузырька в сжимаемой вязкой жидкости определялся обобщенным уравнением Рэлея-Плессета в форме [6]:

$$\left(1 - \frac{U}{c}\right)R \frac{dU}{dt} + \frac{3}{2}\left(1 - \frac{U}{3c}\right)U^2 = \left(1 + \frac{U}{c}\right)\frac{P_R - P_0 - P_a}{\rho} + \frac{R}{\rho c} \frac{d}{dt}(P_R - P_a), \quad (1)$$

где $U = dR/dt$, R – скорость стенки и переменный радиус пузырька, c – скорость звука в жидкости, ρ – плотность жидкости, P_0 – гидростатическое давление, P_a – внешнее переменное акустическое давление, $P_R = P_{gv} - 2\sigma/R - 4\mu\dot{R}/R$ – давление на границе пузырька. Здесь σ , μ – коэффициент поверхностного натяжения и динамическая вязкость жидкости, P_{gv} – давление ПГС в пузырьке, которое задавалось уравнением состояния:

$$P_{gv} = \frac{(\rho_g R_g + \rho_v R_v)T}{V - (b_g \rho_g + b_v \rho_v)},$$

где ρ_g , ρ_v , R_g , R_v , b_g , b_v – плотность, газовые постоянные и постоянные Ван-дер-Ваальса газа и пара соответственно, T – температура ПГС, V – объем пузырька.

Переменное внешнее давление задавалось в виде плоского синусоидального АИ разной полярности:

$$P_a = \mp P_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)F(t), \quad (2)$$

где P_m , T – амплитуда и длительность импульса, $F(t) = \{1 + \exp[-(t-T)/(0.01T)]\}^{-1}$ – функция Ферми. Знак (-) соответствует импульсу растяжение-сжатие (Р-С), знак (+) – импульсу сжатие - растяжение (С-Р).

Тепломассообмен между полостью и жидкостью. Состав ПГС в пузырьке в течение его пульсаций может изменяться в результате процессов испарения и конденсации на стенке, а также диффузии газа из жидкости. В работе [7] было показано, что в масштабе времени одной пульсации диффузия газа оказывает очень незначительное влияние на состав ПГС, поэтому количество газа в полости можно считать постоянным:

$$N_g = \frac{(P_0 + 2\sigma/R_0)}{kT_0}V_0 = const, \quad (3)$$

где R_0 , V_0 – начальные радиус и объем полости (микропузырькового зародыша), k – постоянная Больцмана, T_0 – температура жидкости.

Процессы испарения, конденсации и теплообмена в настоящей работе учитывались с помощью приближения граничного диффузионного слоя [8]. В данном приближении объем пузырька условно делится на 2 области: “горячая” в момент коллапса внутренняя зона, и “холодный” граничный слой, находящийся в термическом равновесии с окружающей жидкостью. Уравнение потока молекул пара через поверхность полости в используемой модели имеет вид:

$$\frac{dN_v}{dt} = 4 \pi R^2 D_{gv} \frac{n_{v0} - n_v}{l_{diff}}, \quad l_{diff} = \min \left(\sqrt{\frac{RD_{gv}}{|U|}}, \frac{R}{\pi} \right), \quad (4)$$

где D_{gv} – коэффициент бинарной диффузии, n_{v0} , n_v – равновесная и текущая концентрация пара в полости, l_{diff} – толщина диффузионного слоя.

По аналогии с (4) уравнение теплопроводности будет:

$$\frac{dQ}{dt} = 4 \pi R^2 \kappa_{gv} \frac{T_0 - T}{l_{th}}, \quad l_{th} = \min \left(\sqrt{\frac{R\chi_{gv}}{|U|}}, \frac{R}{\pi} \right), \quad (5)$$

где κ_{gv} , χ_{gv} – теплопроводность и температуропроводность смеси в слое, l_{th} – толщина термодиффузионного слоя.

Поскольку предполагается, что граничный слой находится в термическом равновесии с жидкостью, то коэффициенты переноса в (4) и (5) принимаются при температуре T_0 :

1) коэффициент бинарной диффузии определялся выражением [9]:

$$D_{gv} = D_{gv}^0 \frac{n_0}{n_{gv}},$$

где D_{gv}^0 – коэффициент бинарной диффузии при нормальном давлении, n_0 , n_{gv} – концентрация газа при нормальном давлении и текущая концентрация молекул смеси;

2) теплопроводность двухкомпонентной смеси в зависимости от давления (плотности) в рамках данной работы определялась выражением:

$$\kappa_{gv} = \kappa_{gv}^0 + \Delta\kappa_g(\rho_g) + \Delta\kappa_v(\rho_v),$$

где κ_{gv}^0 – теплопроводность смеси при нормальном давлении, которая рассчитывалась по методу Линдсея-Бромли [10], $\Delta\kappa_g(\rho_g)$, $\Delta\kappa_v(\rho_v)$ – избыточная теплопроводность компонент как функция их плотности; они задавались в виде полиномов, полученных аппроксимацией табличных данных [11].

Уравнение для расчета температуры в пузырьке, полученное в [8], имеет вид:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C_v} \frac{dQ}{dt} - \frac{P_{gv}}{C_v} \frac{dV}{dt} + \left[4T_0 - 3T - T \sum_j \left(\frac{\theta_j/T}{\exp(\theta_j/T) - 1} \right) \right] \frac{k}{C_v} \frac{dN_v}{dt}, \quad (6)$$

где C_v – теплоемкость смеси, $\theta_j = 2255$ К, 5255 К, 5400 К – характеристические колебательные температуры молекул водяного пара.

С учетом колебательных степеней свободы молекул теплоемкость ПГС в пузырьке в общем случае равна:

$$C_v = \left[\frac{n}{2} + \sum_i \left(\frac{(\theta_i/T)^2 \exp(\theta_i/T)}{(\exp(\theta_i/T) - 1)^2} \right) \right] kN_g + \left[3 + \sum_j \left(\frac{(\theta_j/T)^2 \exp(\theta_j/T)}{(\exp(\theta_j/T) - 1)^2} \right) \right] kN_v,$$

где n , θ_i – число степеней свободы и характеристические колебательные температуры молекул газа.

Влияние химических процессов на условия при коллапсе в данной работе мы не рассматривали, поскольку точно не известны показатели скорости неравновесных реакций при высоких давлениях и температурах.

Результаты и обсуждение. Численное интегрирование системы уравнений (1), (4), (6) проводилось методом Рунге-Кутты 5 порядка. В расчете использовались значения параметров АИ, определяемого (2) из работы [12]: $P_m = 6$ атм, $\tau = 7$ мкс. Константы воды и пара: $\rho = 998$ кг/м³, $c = 1483$ м/с, $\sigma = 0.073$ Н/м, $\mu = 0.001$ Па·с, $T_0 = 293$ К, $P_v = 2383$ Па, гидростатическое давление $P_0 = 1$ атм. Начальный радиус полости принимался $R_0 = 1.5$ мкм. Такие газовые микропузырьки присутствуют в реальной жидкости в количестве $10^3 - 10^4$ см⁻³ [13]; в каждом из них, согласно (3), содержится примерно 7×10^8 молекул газа.

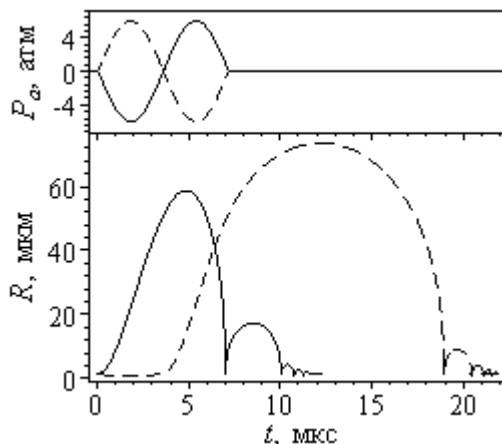


Рис. 1. Динамика пузырька в импульсном акустическом поле

На рис. 1 представлены результаты расчетов динамики парогазовой полости (газ – аргон) в поле импульса Р-С (сплошная линия) и С-Р (пунктирная линия). В первом случае пузырек расширяется до несколько меньшего размера, т.к. в момент времени $t/2$ на него начинает действовать полуволна сжатия, препятствующая дальнейшему росту.

Расчетные значения минимального радиуса, процентного содержания пара $\zeta = N_v / (N_g + N_v)$, пиковой температуры, давления и плотности смеси в момент первого коллапса пузырька, содержащего инертные газы или воздух¹, даны в таблице 1. В последней колонке приведены значения D_{gv}^0 парогазовых смесей.

Таблица 1

Расчетные значения параметров пузырька в момент коллапса

ПГС	R_{min} , мкм		ζ , %		T_{max} , К		P_{max} , 10^5 атм		ρ_{gv} , кг/м ³		D_{gv}^0 , 10^{-6} м ² /с
	Р-С	С-Р	Р-С	С-Р	Р-С	С-Р	Р-С	С-Р	Р-С	С-Р	
пар-Kr	0.96	0.63	98.9	95.8	4900	5100	0.77	0.95	524	590	20.21
пар-Ar	0.80	0.44	98.0	88.7	5400	6100	1.01	1.49	531	603	24.99
пар-Ne	0.46	0.27	90.2	56.0	7400	10500	2.13	2.80	570	687	37.53
пар-He	0.23	0.22	31.0	19.0	19000	21700	4.73	3.48	286	220	81.41
пар-воздух	0.82	0.47	98.2	90.0	5280	5540	0.98	1.41	522	558	24.44

¹ Характеристические колебательные температуры молекул воздуха: 3350 К (N₂), 2273 К (O₂).

Более высокая температура в момент коллапса пузырька при импульсе С-Р по сравнению с таким же пузырьком в поле импульса Р-С объясняется различным количественным составом ПГС (и ее теплоемкостью) в окрестности коллапса в этих двух случаях (см. табл. 1). В поле импульса С-Р пузырек схлопывается только под действием гидростатического давления, поэтому средняя скорость стенки на стадии сжатия у него будет меньше, чем в случае импульса Р-С. Это приведет к тому, что при АИ С-Р конденсация пара на стенке будет происходить интенсивнее, и к моменту коллапса в полости окажется меньше молекул пара, т.е. теплоемкость смеси будет ниже. Также за счет более интенсивной конденсации давление в полости будет расти не так быстро, как в случае АИ Р-С. По этим причинам в случае АИ С-Р коллапс пузырька будет более глубоким, а пиковая температура и давление в нем выше. Исключения составляют пузырьки, содержащие гелий: в них давление и плотность ПГС в момент коллапса в случае АИ С-Р будет меньше. Такая особенность, по-видимому, связана с тем, что в обоих случаях пузырек сжимается до примерно одинакового размера, близкого радиусу шара с наиболее плотной упаковкой молекул (приблизительно 0.22 и 0.20 мкм соответственно). Причем в случае АИ С-Р масса пузырька в момент коллапса в 1.47 раза меньше, а «свободный» объем в нем в 1.15 раза больше, что приводит к менее высокой плотности и давлению ПГС. Пиковая температура при смене полярности импульса ведет себя так же как в других пузырьках.

Из расчетов также следует, что в пузырьках, содержащих данные смеси, с уменьшением молекулярной массы неконденсируемого газа снижается доля пара, а термодинамические условия становятся более экстремальными. Это можно объяснить тем, что с уменьшением молекулярной массы газов растет коэффициент бинарной диффузии смесей (табл. 1). Соответственно убыль пара из пузырька происходит быстрее, из-за чего коллапс становится более глубоким, а теплоемкость ПГС в нем уменьшается (аналогично случаю АИ С-Р). Таким образом, процессы испарения и конденсации на «медленной» стадии пульсации кавитационной полости существенно влияют на термодинамические условия при ее коллапсе. Отметим, что расчетные данные качественно подтверждаются экспериментами по исследованию однопузырьковой СЛ [14], установленная в них последовательность увеличения «чернотельной» температуры и интенсивности сонолечения пузырька, содержащего инертные газы, также имеет вид: $Kr < Ar < Ne < He$.

Заключение. В работе рассчитана динамика парогазовой кавитационной полости, которая пульсирует в поле одиночного биполярного АИ, а также найдены термодинамические параметры и состав ПГС в полости в момент коллапса. В моделировании учитывались процессы тепломассообмена между полостью и жидкостью в рамках модели граничного диффузионного слоя.

Были установлены и объяснены различия в динамике полости и параметрах ПГС в коллапсе для импульсов Р-С и С-Р, а также отличия в этих параметрах для разных смесей. В частности, показано, что при смене полярности импульса с Р-С на С-Р, а также с уменьшением молекулярной массы неконденсируемого газа, коллапс пузырька становится более глубоким, а условия в нем более экстремальными. Полученные результаты объясняются различным характером конденсации пара при схлопывании пузырька в рассмотренных случаях. Так, для повышения концентрации энергии при изучении кавитации в импульсных полях умеренной амплитуды целесообразно насыщать жидкость гелием и использовать АИ полярности С-Р. Этот подход может оказаться перспективным для инициирования реакций термоядерного синтеза в коллапсирующих пузырьках [15] при специфических условиях создания кавитации и в сонохимических технологиях, для которых необходимы высокие плотности энергий.

Использование импульсных акустических полей в медицине и прикладных направлениях сонофизики и сонохимии требует в дальнейшем более полного компьютерного моделирования процессов при воздействии таких полей на газо-жидкостные системы. В моделировании следует учитывать многие факторы, которые в той или иной степени влияют на ход этих процессов, такие как: неравновесные химические реакции и плазменные процессы внутри коллапсирующих пузырьков, динамику парогазовой смеси, образование ударных волн в пузырьковых системах, движение пузырьков, электрокинетические явления на их стенках и т.д. Комплексное описание процессов в пузырьковых системах при импульсной акустической кавитации необходимо для установления оптимальных условий эксперимента, при которых будет наилучшее концентрирование энергии.

Литература

1. Gaitan D.F., Crum L.A., Church C.C., Roy R.A. Sonoluminescence and bubble dynamics for a single, stable, cavitation bubble // *J. Acoust. Soc. Am.* – 1992. – V. 91, № 4. – P. 3166-3183.
2. Маргулис М.А. Сонолюминесценция // *УФН.* – 2000. – Т. 170, № 3. – С. 263-287.
3. Brenner M.P., Hilgenfeldt S., Lohse D. Single-bubble sonoluminescence // *Rev. Mod. Phys.* – 2002. – V. 74, № 2. – P. 425-484.
4. Санкин Г.Н., Меттин Р., Лаутерборн В., Тесленко В.С. Вторичные акустические волны при ударно-волновой кавитации // “Физическая акустика. Распространение и дифракция волн”. Сб. трудов XI сессии Росс. акуст. общества. – 19-23 ноября 2001 г., Москва, Россия. – Т. 1. – С. 175-178.
5. Francescutto A., Ciuti P., Iernetti G., Dezhkunov N.V. Clarification of the cavitation zone by pulse modulation of the ultrasound field // *Europhys. Lett.* – 1999. – V. 47(1). – P. 49-55.
6. Prosperetti A., Lezzi A. Bubble dynamics in a compressible liquid. I. First-order theory // *J. Fluid. Mech.* – 1986. – V. 168. – P. 457-478.
7. Ахатов И.Ш., Вахитова Н.К., Топольников А.С. Динамика пузырька в жидкости при лазерном пробое // *ПМТФ.* – 2002. – Т. 43, № 1. – С. 52-59.
8. Toegel R., Gompf B., Pecha R., Lohse D. Does water vapor prevent upscaling sonoluminescence ? // *Phys. Rev. Lett.* – 2000. – V. 85, № 15. – P. 3165-3168.
9. Lu X., Prosperetti A., Toegel R., Lohse D. Harmonic enhancement of single-bubble sonoluminescence // *Phys. Rev. E.* – 2003. – V. 67, 056310.
10. Рид Р., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. – Л.: Химия, 1971.
11. Варгафтик Н.В. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972.
12. Веремеенко И.Л., Голубничий П.И., Крутов Ю.М., Решетняк Д.В. Динамика пузырька в жидкости в поле короткого биполярного акустического импульса // *Материалы науч.-практ. конф. “Перспективные разработки науки и техники”.* – 2004 г., Белгород, Россия. – С. 35-38.
13. Кедринский В.К. Гидродинамика взрыва: эксперимент и модели. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.
14. Barber B.P., Hiller R.A., Lofstedt R. et al. Defining the unknowns of sonoluminescence // *Phys. Rep.* – 1997. – V. 281. – P. 65-143.
15. Taleyarkhan R.P., Cho J.S., West C.D. et al. Additional evidence of nuclear emissions during acoustic cavitation // *Phys. Rev. E.* – 2004. – V. 69, 036109.

Т.В.Краснякова, С.А.Митченко, И.В.Жихарев

**РЕНТГЕНОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ
МЕХАНОАКТИВАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ НА
СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА K_2PtCl_4**

Исследовалось влияние механической обработки кристаллического вещества на физико-химические свойства твердого тела. В результате обработки в различных средах происходит перераспределение интегральных интенсивностей ряда рентгеновских максимумов, свидетельствующее о возникновении наноразмерных кластерных включений. Рис. 3. Ист. 3.

При механической обработке твердых тел происходит изменение физико-химических свойств вещества. Механическое воздействие на твердое тело приводит к диспергированию и активации. Качественные преобразования твердого вещества связаны с переходом части механической энергии в структурные дефекты кристаллической решетки и возникновением избыточной энергии. Запасенная энергия может релаксировать различными способами: выделением тепловой и световой энергии, эмиссией электронов, образованием новой поверхности, увеличением концентрации дислокаций, возбуждением химических реакций. Увеличение реакционной способности связывается с возникновением в поверхностном слое состояний, обуславливающих протекание химических реакций: дефектов кристаллической решетки, вакансий, свободных радикалов, протяженных нарушений структуры и др. [1,2].

Для рентгеновских исследований использовали порошок из группы комплексных соединений платины – тетрахлоороплатоат калия K_2PtCl_4 , механообработанный в различных средах. Исходный образец был получен путем восстановления гексахлороплатеата калия K_2PtCl_6 гидразинхлоридом [3].

Измельчение образца (соль платины массой 0.3 г) происходило в микровибромельнице MMVE-0.005, содержащей стеклянные мелющие тела. Удельная энергонапряженность микровибромельницы составляет 15 Вт/кг. Время измельчения составляло 1 ч 30 мин. Механохимическая обработка была произведена в атмосфере воздуха и ацетилена. Освобождение от ацетилена осуществлено пропуском потока сухого аргона.

Рентгеноструктурные исследования проводили на дифрактометре ДРОН-3 в монохроматическом $CuK\alpha$ -излучении с использованием никелевого фильтра.

Исследования кристаллической структуры образцов K_2PtCl_4 исходного и механоактивированных в атмосфере воздуха и ацетилена показали присутствие всех рентгеновских максимумов, соответствующих K_2PtCl_4 (рис. 1, 2 и 3)

Для исходного порошка наблюдается перераспределение интенсивности линий, которое свидетельствует о том, что полученный вышеуказанным способом образец не отвечает нормальному распределению структурных плоскостей. Это объясняется влиянием химических процессов восстановления на матричную структуру кристаллического вещества

Механообработка в атмосфере ацетилена приводит к перераспределению интегральных интенсивностей некоторых рентгеновских максимумов, что свидетельствует об изменении количества отражающих плоскостей. Исходя из этого, механоактивация может рассматриваться как метод, позволяющий получать наноразмерные кластерные включения в матричной структуре.

Из сравнения дифрактограмм образцов, механоактивированных в атмосфере воздуха и ацетилена, можно сделать вывод, что механоактивация в атмосфере ацетилена приводит к уменьшению размеров зерен, возрастанию количества разорванных связей, частичной аморфизации приповерхностного слоя.

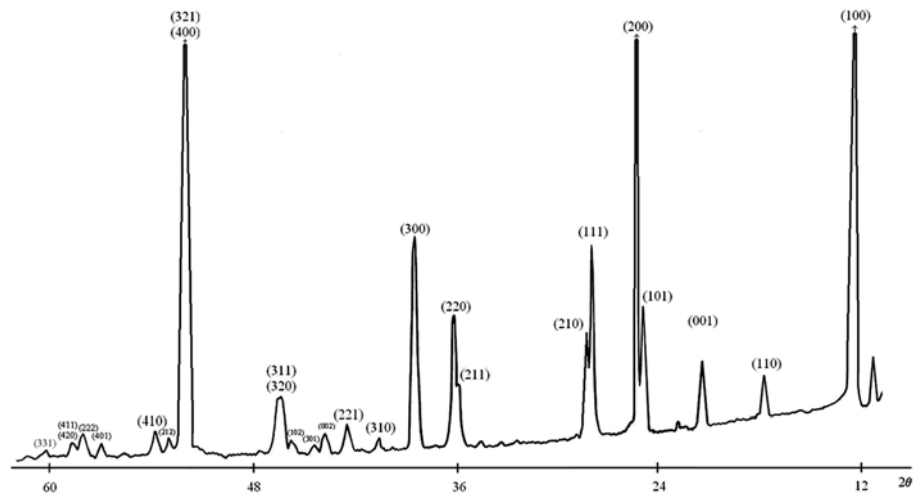


Рис. 1. Дифрактограмма исходного образца K_2PtCl_4

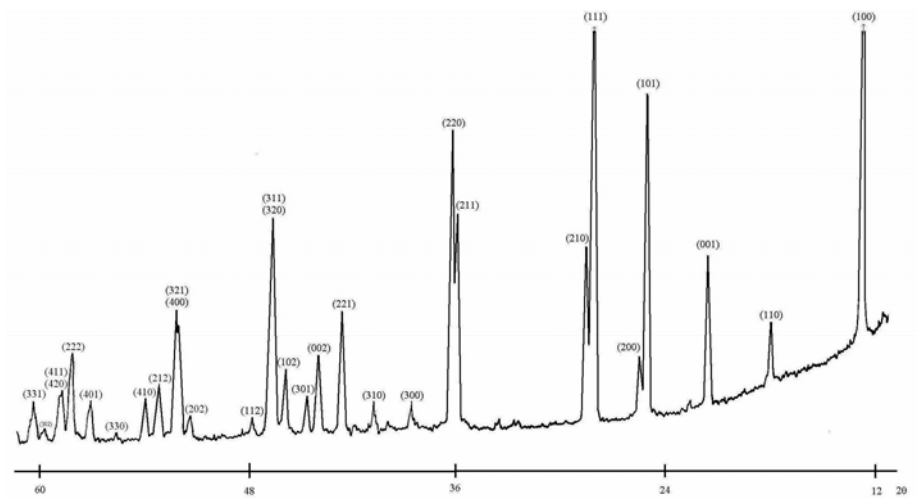
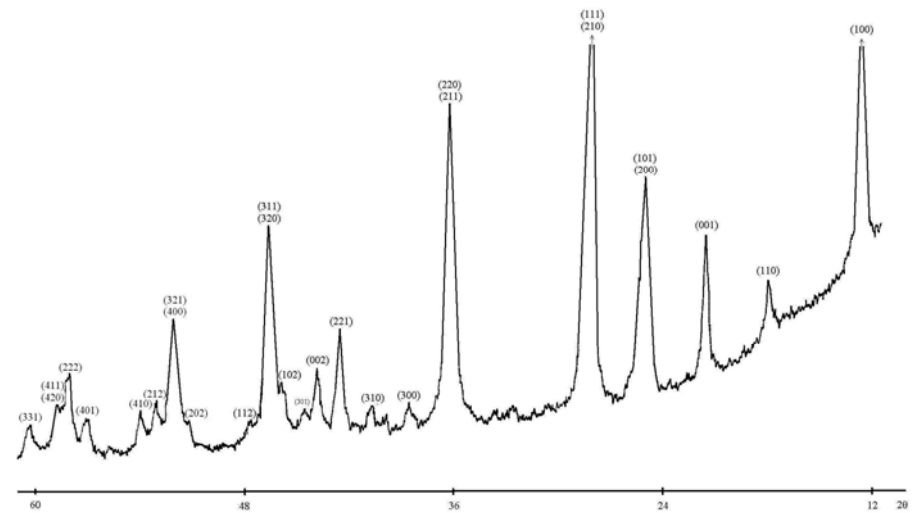


Рис. 2. Дифрактограмма образца K_2PtCl_4 , механоактивированного в атмосфере воздуха



Литература

1. Митченко С.А. Металлоорганические производные ацидокомплексов платины: синтез, реакционная способность и дизайн каталитических реакций / С.А.Митченко, А.А.Шубин. - Донецк: ДонГУЭТ, 2004.
2. Болдырев В.В. Экспериментальные методы в механохимии твердых неорганических веществ. – Новосибирск: Наука, 1983.
3. Синтез комплексных соединений металлов платиновой группы. Справочник. – М.: Наука, 1964.

УДК 533.901, 533.9.072

**П.И.Голубничий, В.М.Громенко, Т.С.Семиохина,
А.П.Снижко**

СПЕКТРЫ ПОСЛЕРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ В ВОДЕ И ИХ АНАЛИЗ

Представлены спектральные данные послеразрядной плазмы, образовавшейся при высоковольтном разряде в воде, а также их анализ, который позволил определить колебательные квантовые числа и энергию электронного перехода. Рис.1. Табл. 2. Ист. 4.

В работах [1, 2] сообщалось, что при некоторых режимах энерговыделения плазма внутри расширяющейся полости не исчезает, а распадается на отдельные долгоживущие светящиеся объекты, то есть светящиеся образования возникают (конденсируются) из релаксирующей плазмы и затем двигаются независимо друг от друга, меняя свою светимость и видимые размеры пульсирующим образом. Движение объектов в основном направлено радиально от центра и не связано с движением стенок камерны. Время жизни (свечения) этих образований на несколько порядков больше времени релаксации разрядной плазмы и определяется периодом пульсации полости. Период пульсации полости $2 \cdot 10^{-3}$ с. Размер светящихся объектов составлял 10^{-4} - 10^{-3} м, а их количество внутри полости от опыта к опыту менялось от нескольких единиц до нескольких десятков штук. Свечение образований в ряде случаев носило пульсирующий характер, причем увеличение или уменьшение светимости сопровождалось соответственно увеличением или уменьшением их размеров. В некоторых случаях светящиеся образования существовали не только в условиях сильно меняющихся концентраций и температуры внутри полости во время пульсации, но и вне её – в жидкости.

Энерговыделение осуществлялось при помощи генератора импульсного напряжения, позволяющего получать пробойное напряжение $14 \cdot 10^3$ В. Энергия, накапливаемая конденсаторами, составляла 5 Дж. Камера, в которой производился разряд, имела объем $1,5 \cdot 10^{-3}$ м³ и была снабжена двумя смотровыми окнами, расположенными на её противоположных сторонах вдоль одной оси. Максимальный диаметр пульсирующей полости, образующейся после разряда, равнялся $2,5 \cdot 10^{-2}$ м.

Поскольку плазменные образования формируются из молекул и радикалов, которые образуются в разряде и сразу после него, то, зная, какие молекулы присутствуют в послеразрядной плазме, можно определить химический состав

плазменных образований. Для этого были проведены спектральные исследования, которые показали, что в спектрах послеразрядной плазмы присутствуют линии кислорода и водорода, свечение которых прекращается сразу после завершения разряда. По истечении 20 мкс после окончания разряда остаются очень слабые полосы, которые можно разделить на три группы. Одна лежит в области 7300 Å – 8000 Å, другая в области 5500 Å – 5800 Å и третья в области 4200 Å – 4500 Å. Все эти полосы прослеживаются в течение 100 мкс после окончания разряда.

На рис. 1 представлена фотография спектра послеразрядной плазмы в области 4200 Å – 4500 Å. Время фоторегистрации (25 – 75) мкс после окончания разряда (время разряда 5 – 6 мкс).

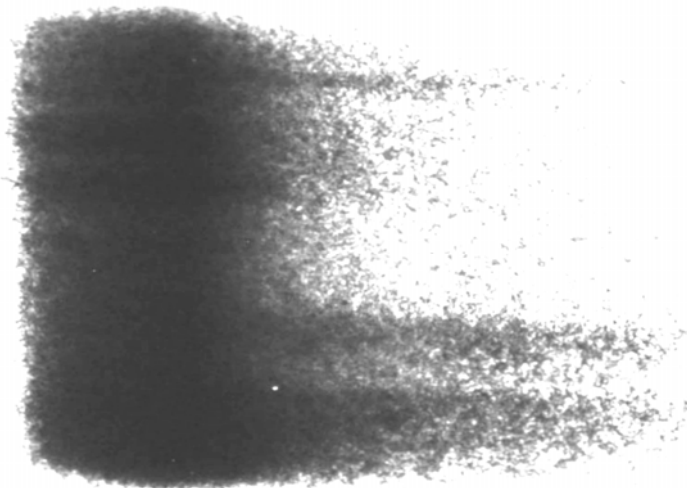


Рис. 1. Спектр послеразрядной плазмы (4270 Å)

Для определения длин волн полученных полос в одних и тех же условиях был снят спектр излучения никеля, у которого в данном диапазоне присутствуют линии, использованные в качестве эталонных.

Длины волн наблюдаемых полос спектра приведены в табл. 1.

Таблица 1

Длины волн края полос спектра послеразрядной плазмы, снятого в области 4270Å

№ п/п	λ , Å	T, cm^{-1}
1	4268,96	23424,91
2	4278,81	23370,98
3	4288,99	23315,51
4	4294,71	23284,46
5	4307,74	23214,03
6	4317,27	23162,79
7	4330,62	23091,38
8	4339,20	23045,72
9	4357,00	22951,57
10	4378,93	22836,63
11	4393,23	22762,30
12	4407,54	22688,39
13	4423,79	22605,05

Полосы спектра, полученного при съемке в области 4270 Å, не одинаковые по интенсивности и имеют различный вид. Три полосы (4288,99Å, 4393,23Å

и 4423,79Å) интенсивные, а все остальные прослеживаются не более 10 мкс и скорее всего являются горячими, так как наблюдаются только при высокой температуре плазмы.

Три интенсивные полосы различны по виду: первая – узкая, а вторая и третья – обширные. Эти полосы могут принадлежать молекулам, которые содержат атомы кислорода, водорода, азота и атомы материала электродов.

Для того чтобы определить влияют ли электроды на эмиссионный спектр, была произведена их замена. При одних и тех же условиях спектр снимали, сначала используя вольфрамовые электроды, а затем угольные. Это не привело к изменению вида спектра, что указывает на отсутствие атомов материала электродов в плазменных образованиях.

Для определения наличия атомов водорода было проведено изотопическое замещение воды H_2O на тяжелую воду D_2O . При этом полосы спектра не сместились. Это однозначно указывает на то, что молекулы плазменных образований не содержат атомов водорода.

Так как при изотопическом замещении воды на тяжелую воду, при замене электродов и при замене воздуха в разрядной камере на кислород спектр после разрядной плазмы не изменился, то можно предположить, что исследуемый спектр обусловлен молекулами, в которые входит только кислород.

Полученные эмиссионные полосы не совпадают с полосами излучения двухатомной молекулы O_2 (полосы Шумана-Рунге) и атомарного кислорода, поэтому можно предположить, что молекулы, ответственные за излучение в области 4270 Å, скорее всего трехатомные (озон).

Нелинейная трехатомная молекула (озон) имеет три колебания – валентное симметричное, деформационное и валентное антисимметричное. Для каждого колебания характерна своя частота колебания [3]. Для основного состояния:

$$\omega_1'' = 1134,90 \text{ см}^{-1} \text{ – валентное симметричное колебание,}$$

$$\omega_2'' = 716,00 \text{ см}^{-1} \text{ – деформационное колебание,}$$

$$\omega_3'' = 1089,20 \text{ см}^{-1} \text{ – валентное антисимметричное колебание.}$$

Дарлинг и Лю-Чанг-Ванг на основании выполненного ими теоретического анализа возбужденных электронных состояний озона интерпретировали полосы Хюггинса и показали, что они связаны с колебаниями ω_3'' , ω_3' и ω_2' [4]. Это позволило найти значения частот колебаний молекулы озона в возбужденном состоянии и оценить структурные параметры O_3 в возбужденном состоянии.

Для возбужденного состояния:

$$\omega_1' = 660 \text{ см}^{-1} \text{ – валентное симметричное колебание,}$$

$$\omega_2' = 347 \text{ см}^{-1} \text{ – деформационное колебание,}$$

$$\omega_3' = 620 \text{ см}^{-1} \text{ – валентное антисимметричное колебание.}$$

Эти данные позволяют рассчитать энергию электронного перехода и колебательные квантовые числа для обнаруженных полос.

Для нелинейной трехатомной молекулы энергия колебаний имеет вид:

$$\begin{aligned}
E_v = & (v_1 + \frac{1}{2})\omega_1 + (v_2 + \frac{1}{2})\omega_2 + (v_3 + \frac{1}{2})\omega_3 + \\
& + x_{11} (v_1 + \frac{1}{2})^2 + x_{22} (v_2 + \frac{1}{2})^2 + x_{33} (v_3 + \frac{1}{2})^2 + \\
& + x_{12} (v_1 + \frac{1}{2})(v_2 + \frac{1}{2}) + x_{13} (v_1 + \frac{1}{2})(v_3 + \frac{1}{2}) + \\
& + x_{23} (v_2 + \frac{1}{2})(v_3 + \frac{1}{2}), (\text{см}^{-1}); \quad v_i = 0,1,2,\dots
\end{aligned} \tag{1}$$

Здесь $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – частоты (в см^{-1}) трех нормальных колебаний, x_{ik} – постоянные ангармоничности, v_1, v_2, v_3 – колебательные квантовые числа для трех нормальных колебаний.

Для основного состояния молекулы озона получены также постоянные ангармоничности [3]:

$$\begin{aligned}
x''_{11} = -4,9, & & x''_{22} = -1,0, & & x''_{33} = -10,6, \\
x''_{12} = -9,1, & & x''_{13} = -34,8, & & x''_{23} = -17,0.
\end{aligned}$$

Энергия колебаний для основного состояния имеет вид:

$$\begin{aligned}
E''_v = & (v''_1 + \frac{1}{2})\omega''_1 + (v''_2 + \frac{1}{2})\omega''_2 + (v''_3 + \frac{1}{2})\omega''_3 + \\
& + x''_{11} (v''_1 + \frac{1}{2})^2 + x''_{22} (v''_2 + \frac{1}{2})^2 + x''_{33} (v''_3 + \frac{1}{2})^2 + \\
& + x''_{12} (v''_1 + \frac{1}{2})(v''_2 + \frac{1}{2}) + x''_{13} (v''_1 + \frac{1}{2})(v''_3 + \frac{1}{2}) + \\
& + x''_{23} (v''_2 + \frac{1}{2})(v''_3 + \frac{1}{2}), (\text{см}^{-1}); \quad v''_i = 0,1,2,\dots
\end{aligned} \tag{2}$$

Энергия возбужденного состояния:

$$\begin{aligned}
E'_v = & E_e + (v'_1 + \frac{1}{2})\omega'_1 + (v'_2 + \frac{1}{2})\omega'_2 + (v'_3 + \frac{1}{2})\omega'_3 + \\
& + x'_{11} (v'_1 + \frac{1}{2})^2 + x'_{22} (v'_2 + \frac{1}{2})^2 + x'_{33} (v'_3 + \frac{1}{2})^2 + \\
& + x'_{12} (v'_1 + \frac{1}{2})(v'_2 + \frac{1}{2}) + x'_{13} (v'_1 + \frac{1}{2})(v'_3 + \frac{1}{2}) + \\
& + x'_{23} (v'_2 + \frac{1}{2})(v'_3 + \frac{1}{2}), (\text{см}^{-1}); \quad v'_i = 0,1,2,\dots
\end{aligned} \tag{3}$$

Тогда наблюдаемая разность энергий равна:

$$E_n = E'_v - E''_v. \tag{4}$$

Так как энергия электронного перехода для озона неизвестна, то для определения колебательных квантовых чисел наблюдаемых трех полос, используется разность энергий между ними (табл. 2).

Таблица 2

Длины волн спектра послеразрядной плазмы

№ п/п	$\lambda, \text{Å}$	$E_i, \text{см}^{-1}$	$\Delta E_i, \text{см}^{-1}$
1	4288,99	23315,51	
			553,22

2	4393,23	22762,30	
			157,24
3	4423,79	22605,05	

Полосы полученного спектра послеразрядной плазмы прослеживаются в течение 100 мкс, что характерно для «замороженных» полос, то есть наиболее вероятно в возбужденном состоянии колебательные квантовые числа имеют значения $\nu'_1 = \nu'_2 = \nu'_3 = 0$.

Квантовые числа для основного состояния каждой наблюдаемой полосы были найдены, учитывая, что:

1. Уровень энергии в основном состоянии, на который переходят электроны, имеет значение порядка $5000 - 7000 \text{ см}^{-1}$.

2. Симметрия колебательной волновой функции второй и третьей полос сохраняется (обе полосы диффузные и широкие), а первой – меняется.

3. Разность энергий наблюдаемых переходов первой и второй полос равна $553,22 \text{ см}^{-1}$, а второй и третьей – $157,24 \text{ см}^{-1}$.

В результате было определено, что первая полоса обусловлена переходом с нулевого колебательного уровня возбужденного состояния на уровень (112) основного состояния, вторая полоса – переход (000) – (023), а третья – переход (000) – (221).

Энергия электронного перехода озона для данного электронного состояния определяется по формуле:

$$E_e = E_{n1} - \Delta I, \quad (5)$$

где $E_{n1} = 23315,51 \text{ см}^{-1}$ – энергия первого наблюдаемого перехода, а $\Delta I = 4202,06 \text{ см}^{-1}$ – разность энергий возбужденного уровня (000) и уровня (112) основного состояния.

Вычисленная энергия электронного перехода $B_2 \rightarrow A_1$ получилась равной 27550 см^{-1} (3,42 eV).

Литература

1. Голубничий П.И., Громенко В.М., Крутов Ю.М. Долго живущие светящиеся образования внутри пульсирующей каверны, инициированной мощным энерговыделением в воде. Доклады АН СССР, 1990, т.311, №2.
2. Голубничий П.И., Громенко В.М., Крутов Ю.М. Образование долгоживущих светящихся объектов при распаде плотной низкотемпературной водяной плазмы. Журнал технической физики, 1990, т.60, вып.1.
3. Иванов С.В., Панченко В.Я. Инфракрасная и микроволновая спектроскопия озона: исторический аспект. Успехи физических наук, 1994, т.164, №7.
4. Герцберг Г. Электронные спектры и строение многоатомных молекул. – М.: Мир, 1969.

УДК 681.785

В.В.Свиридов, Н.А.Радкевич, С.П.Романченко

ЦИФРОВОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ В СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ

С целью увеличения пространственного разрешения в конструкции сканирующего эллипсометра в качестве детектора применена цифровая камера. Обнаружено распределение интенсивности отраженного света в площади зонди-

рующего излучения на образце. Показана возможность проведения исследований приповерхностных слоев со сложной геометрией и сложными градиентами оптических параметров. Рис. 3. Табл. 1. Ист. 12.

Развитие микро- и нанотехнологий привело к повышению интереса к тонким и сверхтонким пленкам, которые широко применяются в современной электронике [1-6]. Существует большое количество экспериментальных методик для исследования характеристик пленок на различных подложках. Прежде всего это метод сканирующей эллипсометрии и метод сканирующей оптической ближнепольной микроскопии [7-10]. Для увеличения пространственного разрешения эллипсометра применяется уменьшение площади пучка света [7, 9]. Это осуществляется либо фокусировкой, либо диафрагмированием. При фокусировке необходима оптика, которая позволяет получить хорошо сфокусированные пучки. При диафрагмировании требуется использование пучков с высокой плотностью энергии. В обоих случаях эффекты, связанные с размером пучка, играют существенную роль.

Нами проведена замена традиционного детектора (типа ФЭУ, ФС, ФД) цифровой камерой. При этом не требуется ограничивать зондирующий пучок коллиматорами и диафрагмами. Отраженный от образца пучок свободно проходит оптический канал плеча анализатора и соответствующим образом заполняет матрицу камеры. Матрица, выполненная по CMOS-технологии, в цифровой форме фиксирует интенсивность отраженного луча. Каждый разрешенный элемент цифровой фотографии несет информацию об оптических параметрах физически малой поверхности из площади сечения пучка на образце.

Аппаратное решение

Работа выполнена на сканирующем эллипсометре оригинальной конструкции [11, 12]. Оптическая схема эллипсометра представлена на рис. 1. Для проведения эксперимента оптическая схема была упрощена – исключены поляризатор и компенсатор. Источником зондирующего излучения является He-Ne лазер (TEM_{00} , $\lambda = 632,8 \text{ nm}$, $P_{\text{вых}} = 1 \text{ mW}$, полуконфокальный резонатор с радиусом перетяжки гауссова пучка на выходе не более $w_0 = 0,5 \text{ mm}$). Расстояние между выходным зеркалом лазера и образцом составляет $0,4 \text{ m}$. В технической документации на данный He-Ne лазер указано, что это расстояние обеспечивает диаметр сечения пучка на образце не более $0,8 \text{ mm}$.

В качестве образца выбрана пластина из плавленного кварца КУ-1, обработанная не хуже 14 класса и с отклонением от плоскости 2 кольца. Вместо традиционного детектора использовалась стандартная цифровая камера, которая снабжена CMOS матрицей размером $2 \times 1,7 \text{ mm}$.

После отражения от поверхности образца вблизи угла Брюстера зондирующий луч в своем сечении получает сложное распределение интенсивности. Это распределение матрица камеры фиксирует каждым своим пикселем.

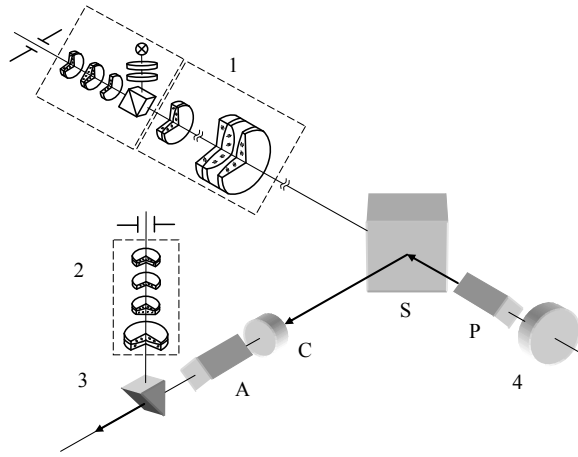


Рис. 1. Оптическая схема сканирующего эллипсометра:

1 – автоколлимационная труба с окуляр-кубом; 2 – вспомогательная труба с измерительным окуляром Гюйгенса; 3 – призма полного внутреннего отражения; 4 – выходное зеркало лазера; А – анализатор; С – компенсатор; S – поверхность образца; P – поляризатор

Численный анализ

Для достижения цели был проведен эксперимент по брюстеровскому отражению. Для построения зависимости отражательной способности от угла падения необходимо иметь серию цифровых фотографий отраженного луча. Фотографии были получены в интервале углов падения от 55° до 56° с шагом $10'$. В технических условиях на базовый гониометр указано, что его отсчетное устройство имеет предел допускаемой погрешности при измерении угла одним приемом $\pm 5''$.

Математическая обработка каждой фотографии проведена математическим редактором. После обработки редактор строит 3D поверхность в виде гистограммы. Каждый элемент гистограммы представляет собой интенсивность света, отраженного от соответствующего участка образца, положение которого задается плоскими координатами в пикселях (рис. 2).

Примененная цифровая камера обеспечивает размер одного пикселя порядка $10 \times 10 \mu\text{m}$. Необходимо отметить, что для стандартных оптических схем с коллиматорами и диафрагмами такое пространственное разрешение является предельным [7, 9]. Для цифровых технологий такие пределы еще не установлены. К тому же исключены эффекты, связанные с размером пучка.

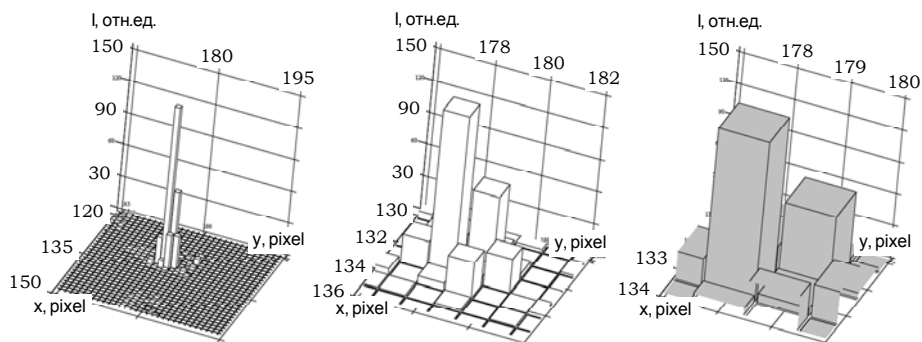


Рис. 2. 3D поверхность в виде гистограммы. Каждый элемент гистограммы представляет собой интенсивность света, отраженного от соответствующего участка образца, положение которого задается плоскими координатами в пикселях

Нами обнаружено, что по сравнению с гистограммой фотографии зондирующего луча, который имеет гауссово распределение, гистограммы фотографий отраженного луча имеют закономерные нарушения. Чтобы установить вид этих закономерностей, для каждого пикселя были построены брюстеровские кривые.

На рис. 3 приведены результаты регрессии общего вида для трех соседних пикселей. Экспериментальные зависимости интенсивности отраженного света от угла падения согласуются с теорией брюстеровского отражения. Наблюдается различие в значениях интенсивности и в значениях углов минимальной интенсивности. Соответствующие вычисления брюстеровских параметров сведены в табл. 1.

Таблица 1
Экспериментальные данные к сравнению отражательной способности трех соседних физически малых поверхностей образца

Условные координаты, pixel	φ_B , градусы	$n = \operatorname{tg} \varphi_B$	I_{\min} , отн. ед.
2,2	55,59283	1,46007	2,062
2,3	55,57461	1,45908	3,529
2,4	55,59257	1,46006	4,07

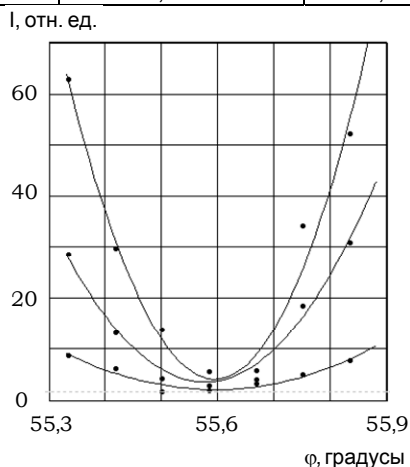


Рис. 3. Экспериментальные зависимости интенсивности отраженного света от угла падения для трех близких физически малых поверхностей образца. Размер поверхностей $10 \times 10 \mu\text{m}$. Образец – кварц КУ-1, обработанный не хуже 14 класса

Выводы. Замена традиционных детекторов (типа ФЭУ, ФС, ФД) цифровой камерой позволяет увеличить пространственное разрешение эллипсометров без применения коллиматоров и диафрагм. Использование стандартной неоптимизированной цифровой камеры увеличило разрешение до $10 \times 10 \mu\text{m}$, что является предельным для традиционных методов.

Обнаружено распределение интенсивности по сечению отраженного пучка света, поддающееся пикселизации и математической обработке в рамках данного аппаратного решения. Экспериментальные зависимости интенсивности отраженного света от угла падения согласуются с теорией брюстеровского отражения. Обнаруженное распределение интенсивности является следствием оптической неоднородности поверхности образца. Неоднородность поверхности образца объясняется существованием нарушенного слоя, который неизбежно появляется в результате механической обработки.

Так как пространственное разрешение при цифровом детектировании может быть увеличено более чем $10 \times 10 \mu\text{m}$, то тем самым показана возможность проведения исследований приповерхностных слоев со сложной геометрией и сложными градиентами оптических параметров.

Литература

1. Mitin V., Kochelap V., Strasio M. Quantum Heterostructures. Microelectronics and Optoelectronics, Cambridge: University Press, 1998, p. 634.
2. Devies J. The Physics of Low-dimensional Semiconductors, Cambridge: University Press, 1998, p. 438.
3. Craighead H.G., Glass A.M. // Opt. Lett. V.6, №5, 1981, p. 248.
4. Звездин А.Л., Котов В.А. Магнитооптика тонких пленок. – М.: Наука, 1988.
5. Garoff S., Weits D.A., Gramila T.J., Hanson C.D. // Opt. Lett, V.6, №5, 1981, p. 245.
6. Glass A.M., Liao P.F., Bergman J.G., Olson D.H. // Opt. Lett, V.5, №9, 1980, p. 368.
7. Azzam R.M.A., Bashara N.M. Ellipsometry and Polarized Light. – Amsterdam, New York, Oxford: North-Holland Publishing Co, 1977.
8. Горшков М.М. Эллипсометрия. – М.: Сов. радио, 1974.
9. Ржанов А.В., Свиташев К.К., Семенов А.И. и др. Основы эллипсометрии – Новосибирск: Наука, Новосибирское отделение, 1979.
10. Гадомский О.Н., Кадочкин А.С. // Опт. и спектр., Т.96, №4, 2004, с. 646.
11. Свиридов В.В., Радкевич Н.А., Жихарев И.В. // в сб.: Матеріали І-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Науковий потенціал світу 2004».– Дніпропетровськ 2004, с. 42-43.
12. Свиридов В.В., Радкевич Н.А., Жихарев И.В. // ФТВД, Т.16, №2, 2006, с. 43-49.

УДК 551.465

Д.С.Левко, В.В.Поневчинский, Ю.И.Лысиков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА

В работе рассмотрены нелинейные волны, распространяющиеся по поверхности океана. Проведен численный эксперимент по изучению этих волн. Рис. 4. Ист. 5.

1. Введение

События, связанные с цунами, произошедшие в конце 2004 года на побережье Индийского океана и унесшие тысячи жизней людей, заставили активизировать усилия не только политиков, но и ученых: физиков, экологов и др. В связи

с этим представляет интерес более детальное теоретическое изучение смертоносных цунами.

Цунами – это волны высотой в несколько десятков метров и длиной в несколько сотен километров, возникающие в результате смещения литосферных плит на дне океана. Кроме того, цунами могут возникать в результате подводных землетрясений (см.[1]). В [2] была рассмотрена возможность появления новых цунами в результате давления на земную кору, оказываемого движущимся цунами.

Цунами относятся к числу так называемых солитоноподобных волн (уединенные волны), описываемых в области постоянной глубины уравнением Кортевега–де Фриза (далее КдФ). В [3] были приведены результаты эксперимента для уединенных волн, распространяющихся в канале постоянной глубины. Результаты эксперимента согласуются со вторым приближением КдФ.

В этой работе будет рассмотрено возмущенное КдФ, точного аналитического решения которого не существует. В связи с этим авторами выбрана соответствующая разностная схема и проведен численный эксперимент.

2. Постановка задачи

В теории уединенных волн на поверхности жидкости принято работать с безразмерными величинами t, x, y, H , определение которых см. в [4]. Здесь x, y есть пространственные координаты, t есть время, H – глубина океана. Кроме того, при выводе КдФ (см. [4]) вводятся канонические переменные согласно формулам:

$$\theta = x - t, \quad (1)$$

$$X = \varepsilon x, \quad (2)$$

$$\tau = \frac{1}{6} \int D^{\frac{1}{2}} dX, \quad (3)$$

$$D = 1 + H, \quad (4)$$

где

$$\varepsilon = \left(\frac{h_0}{l} \right)^2. \quad (5)$$

Здесь h_0 глубина океана вдали от берега, l ширина волны у основания.

В таких переменных КдФ имеет вид ([4]):

$$q_\tau + 6qq_\theta + q_{\theta\theta} = 0. \quad (6)$$

Решением такого уравнения будет солитоноподобная волна, описываемая уравнением:

$$q(\theta, \tau) = 2\eta_0^2 \operatorname{sech}^2 \eta_0 (\theta - 4\eta_0^2 \tau - \theta_0). \quad (7)$$

Функция вида (7) относится к так называемым безотражательным потенциалам, т.е. объект, попадающий в такой потенциал, проходит сквозь него не отражаясь. С этим связан тот факт, что вдали от берега корабли, под которыми проходит цунами, не испытывают никакого воздействия.

При приближении волны к берегу профиль волны начинает изменяться. Это связано с тем, что в области переменной глубины скорость передней области волны и скорость задней области волны неодинаковы. В связи с этим КдФ в виде (6) неприменимо – необходимо учесть изменение глубины воды. Поэтому КдФ записывают в виде (см. [4]):

$$q_\tau + 6q q_\theta + q_{\theta\theta} = -\frac{9}{4} \frac{D_\tau}{D} q. \quad (8)$$

Аналитическое решение (8) крайне сложно. Существует три основных способа решения (8): метод малого параметра, метод обратной задачи рассеяния и метод, включающий в себя использование законов сохранения (см. [4]). Решение методом малого параметра громоздко и приводит к неточным результатам. В [4] уравнение (8) решается до первого порядка, что приводит к нарушению закона сохранения массы жидкости в волне. Попытка искать решение до второго порядка не представляется возможной из-за сложности уравнения:

$$q_s^{(2)} - 4\eta^2 q_\xi^{(2)} + q_{\xi\xi\xi}^{(2)} + 6q^{(0)} q_\xi^{(2)} + 6q^{(2)} q_\xi^{(0)} = -\frac{9}{4\sigma} \frac{D_s}{D} q^{(1)} - 6q^{(1)} q_\xi^{(1)}. \quad (9)$$

Здесь

$$\xi = \theta - \bar{\theta}, \quad (10)$$

$$s = \tau, \quad (11)$$

где $\bar{\theta}$ – фазовая скорость солитона, σ – малый параметр. В нулевом приближении солитон описывается уравнением (7), первое приближение решения см. в [4]. В связи с этим представляет интерес решение исходного уравнения численными методами.

3. Результаты численного эксперимента

В этом пункте будут рассмотрены результаты численного эксперимента, проводившегося в среде программирования Delphi 7.

Ранее указывалось на тот факт, что аналитическое решение КдФ с правой частью неточно, поэтому его удобнее решать численно. Для численного решения рассматриваемого уравнения авторами была выбрана конечно-разностная схема с чередованием, которая использовалась Забуски и Крускалом при численном решении КдФ без правой части (см. [5]).

На рис.1-4 приведены результаты численного эксперимента.

На рис.1 приведен начальный профиль уединенной волны, попадающей в область переменной глубины. Этот профиль описывается функцией:

$$\propto \operatorname{sech}^2 \eta_0 (\theta - 4\eta_0^2 \tau - \theta_0).$$

Здесь η_0 и θ_0 являются начальными условиями для КдФ, записанного в канонических переменных.

На рис. 2 приведен профиль волны в начале роста. Ранее указывалось на то, что уединенная волна при движении в области переменной глубины начинает опрокидываться за счет того, что скорости передней и задней части фронта неодинаковы.

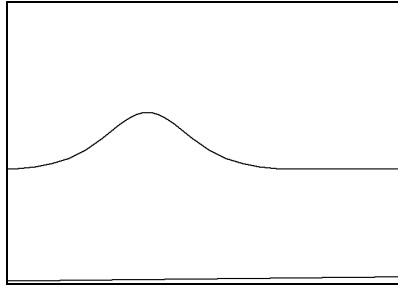


Рис.1. Начальный профиль волны

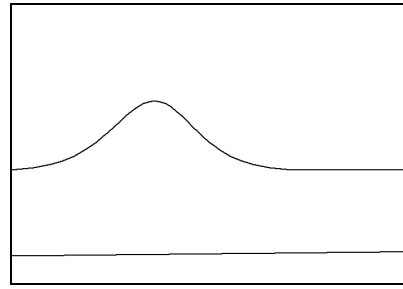


Рис.2. Профиль волны в начале роста

На рис. 3 приведен профиль волны, начинающей опрокидываться. Из этого рисунка видно, что в вершине волны касательная к кривой становится почти вертикальной. Этот факт свидетельствует о том, что волна начинает опрокидываться.

Случай опрокидывающихся волн представляет интерес не только в теории волн на поверхности жидкости. В теории плазмы рассмотрение опрокидывающихся волн приводит к интересным результатам, а именно: в таких волнах возможно ускорение как положительно, так и отрицательно заряженных частиц (см. [5]).

На рис. 4 приведен профиль волны на конечном этапе своего развития: волна “выбрасывается” на берег.

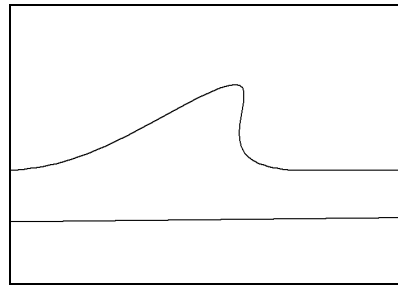


Рис.3. Начало опрокидывания

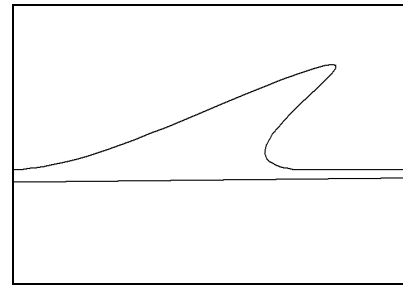


Рис.4. Волна в конце своего развития

Из рис. 4 видно, что на этом этапе касательная в вершине профиля все время вертикальна. Этот факт свидетельствует о неизбежном опрокидывании. В КДФ без правой части опрокидывание невозможно из-за нелинейности, вносимой слагаемым, содержащим третью производную. В области переменной глубины необходимо вводить возмущение, представляющее собой правую часть уравнения (8). Введение этого слагаемого нарушает баланс в противостоянии нелинейности, стремящейся опрокинуть волну, и дисперсии, стремящейся к тому, чтобы волна расплывалась. Кроме того, опрокидывание связано с тем, что в области переменной глубины скорость волны зависит от расстояния, проходимого волной.

Вдали от берега длина уединенной волны может достигать нескольких сотен километров. Однако пока волна находится в области постоянной глубины (а вдали от берега мы считаем, что это именно так), она не представляет опасности. После вхождения в область переменной глубины волна начинает перегруппировываться: ее длина уменьшается, а амплитуда увеличивается: волна как бы растет. Этот факт представлен на рис.2-4. Именно этот рост волны и представляет опасность: количество потенциальной энергии волны увеличивается и при выбрасывании на берег приводит к значительным разрушениям.

Литература

1. Г.Е.Коненкова. Динамика морских волн – М.: Изд. МГУ, 1969. – с. 230.
2. С.А.Арсеньев, О.А.Живогина, Н.К.Шелковников. Вестник МУ, сер.3, №3, 2000. - с. 47.
3. С.А.Арсеньев. Вестник МУ, сер.3, №1, 2004. - с.52.
4. А.Ньюэлл. Солитоны в математике и физике – М.: Мир, 1989. – с. 324.
5. Р.Д.Додд, Дж.Эйлбек, Дж.Гиббон, Х.Моррис. Солитоны и нелинейные волновые уравнения – М.: Мир, 1988. – с. 694.

УДК 521.481:681.306

Ю.С.Денищик, С.Б.Денищенко, В.В.Мурга

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА БАЗЕ GPS – И ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В работе обращается внимание на причины, которые приводят к необратимым изменениям в окружающей природной среде. Показана необходимость проведения постоянного экологического мониторинга, позволяющего своевременно обеспечить природоохранные мероприятия. Одним из инструментов подобного мониторинга могут стать комплексные GPS – и лазерно-локационные наблюдения. Рис. 3.

Активное вмешательство человека в природную среду, что раньше носило определение «Антропогенный фактор», привело к ее глобальным изменениям, которые в настоящее время просто невозможно не учитывать. Причем эти изменения постоянно накапливаются. Необходимы постоянное изучение происходящих изменений и их учет при проектировании предприятий, в строительстве, при введении в действие технологических комплексов, в экологии, сельском хозяйстве, при развитии инфраструктур, в навигации и в других областях жизнедеятельности человека.

До недавнего времени термин «Геоинформационные системы» использовался узким кругом специалистов в области геодезии и геофизики. Однако все возрастающая потребность в информации об изменениях в окружающей среде привела к необходимости создания геоинформационных систем (ГИС) как на государственном уровне, так и на местах. Этому свидетельствует масса постановлений Правительства и законов Украины, которые вышли в последнее время.

Внимание к состоянию окружающей природной среды вызвано в последнее время не столько проблемой эффективности работы промышленных предприятий (что тоже немаловажно), сколько – изменениями условий жизни в Украине. Особенно остро этот вопрос стоит в густонаселенных промышленных областях Украины, и в первую очередь – в Луганской и Донецкой областях.

Луганская и Донецкая области находятся на стыке двух геотектонических плит. Причем разлом земной коры проходит с севера на юг Луганской области. Образование полостей в местах шахтных выработок и движение тектонических плит увеличивают геодинамическую активность в районе Донбасса, и особенно в его восточной части. Ситуация осложняется подтоплением большого числа выведенных из эксплуатации шахт. Поэтому в настоящее время помимо вертикальных смещений поверхности Земли увеличилась оползневая активность, обусловленная обводнением обширных земных массивов. В результате неравномерной по толщине смачиваемости слоев на значительной площади и давления налегающих более сухих слоев происходит раздавливание смоченных слоев с образованием сдвига на большой площади.

Указанные изменения традиционными средствами, которые до настоящего времени использовались в геодезии, учесть практически невозможно. Возни-

кает необходимость использования более совершенных технологий, основанных на изучении глобальных геодинамических процессов методами наблюдений искусственных спутников Земли.

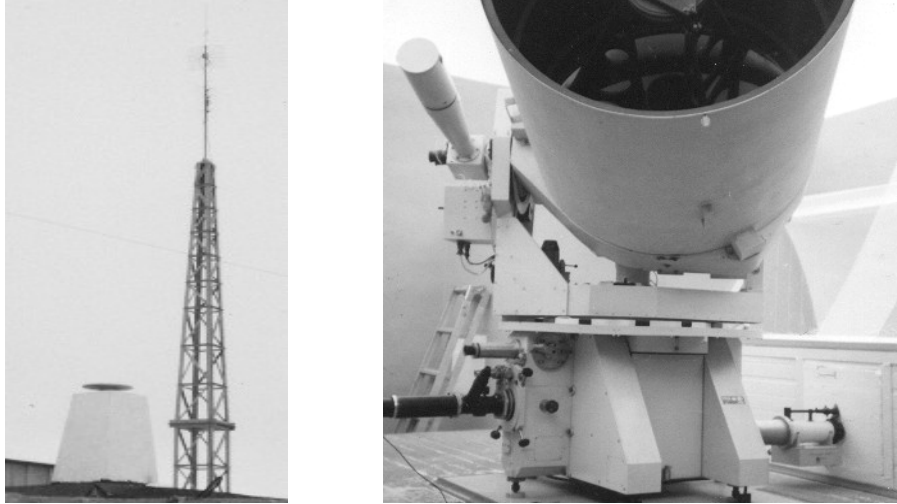


Рис. 1. Геодезический тур с антенной GPS и лазерный телескоп ТПЛ-1М

По проекту Государственного межвузовского центра «Орион» Донбасского горно-металлургического института в 1992 – 2001 г. была создана сеть лазерно-локационных станций для спутниковой геодезии и космической навигации, которая состоит из трех пунктов, расположенных в астрономических обсерваториях Львовского, Ужгородского национальных университетов и ГМЦ «Орион» Донбасского государственного технического университета в Алчевске (рис. 1). Эти пункты интегрируются в глобальную геодезическую систему WGS-84, которая позволяет осуществлять привязку к центру тяжести Земли независимо от вида выбранной модели поверхности. Эта процедура выполняется путем наблюдения искусственных геодезических спутников Земли. Телескоп ТПЛ-1М, рабочее место оператора и аппаратура для регистрации и обработки информации показаны на рис. 2.



Рис. 2. Телескоп ТПЛ-1М. Рабочее место оператора, устройства компьютерного управления телескопом, а также аппаратура для обработки и регистрации информации

В 2003 г. на Астрономической обсерватории ГМЦ «Орион» с помощью Укргеодезкартографии и НККУ была создана GPS-станция Украинской перманентной сети. Эта станция войдет в Государственную сеть мониторинга глобальных навигационных спутниковых систем. GPS-приемник «Trimble 5700» в комплексе с компьютером для сбора и обработки информации позволяет круглосуточно вести наблюдения (рис.3). В настоящее время данные, получаемые GPS-станцией, подвергаются обработке и передаются в НИИ геодезии и картографии одноименного департамента Минэкологии.

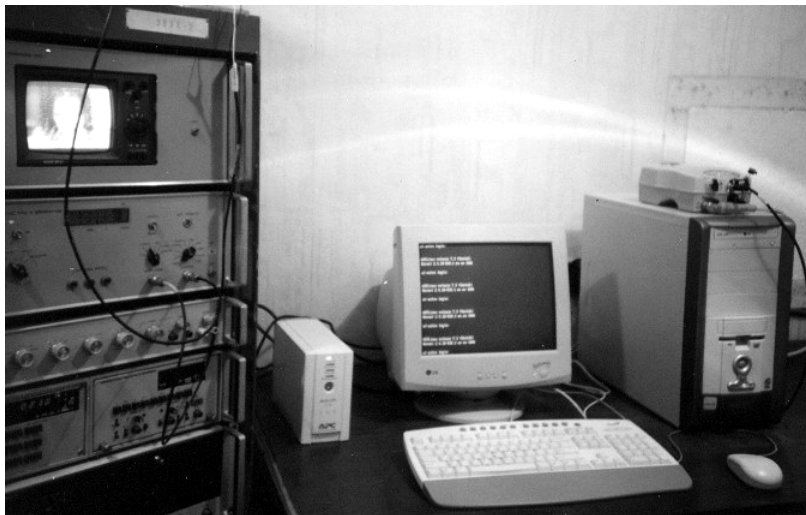


Рис. 3. Спутниковый GPS-приемник, слева – служба времени обсерватории.

ГМЦ «Орион» ДГТУ с участием соответствующих управлений Луганской областной госадминистрации и администрации г. Алчевска разрабатывают проект использования научного комплекса Астрономической обсерватории ГМЦ «Орион» и GPS-технологий для выполнения геодезических и картографических работ, а также для геодинимических и экологических исследований на территории Донбасса с учетом техногенных особенностей данного региона Украины.

Особое внимание уделяется влиянию на окружающую природную среду горных выработок, хранилищ отходов металлургического производства и топливно-энергетического комплекса.

УДК 530.182

Д.С.Левко, Ю.И.Лысиков

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОТЕНЦИАЛОВ БАРГМАНА К ТРЕХСОЛИТОННОМУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ

В работе рассмотрено трехсолитонное взаимодействие с использованием потенциалов Баргмана. Ист. 5.

1. Введение

В настоящее время нелинейная физика находит все большее применение. Предполагается, что нелинейные эффекты ответственны за ускорение частиц, прилетающих на Землю из космоса, до сверхвысоких энергий (см. [1]). Также существуют предложения использовать нелинейные волны в плазме (в частности, солитоны Кортевега - де Фриза) для ускорения заряженных частиц (см. [2]). В связи с этим представляет интерес изучение N-солитонного взаимодействия.

В данной работе будут рассмотрены солитоны уравнения КдФ для $N=3$. Уравнение КдФ описывает магнитозвуковые и ионно-звуковые волны в плазме, акустические волны в кристаллах, поверхностные и внутренние волны в океане. Случай трехсолитонного рассеяния заслуживает внимания в связи с его ролью в нелинейной оптике. Например, резонансное рамановское рассеяние (это рассеяние света, сопровождающееся изменением его длины волны, которое связано с колебаниями и вращением молекул вещества) при условии слабого изменения населенностей энергетических уровней атомов или молекул среды, а также рассеяние оптических волн на звуковой волне можно рассматривать как специальные случаи трехсолитонного взаимодействия. В частности, уравнения, описывающие перечисленные процессы, обладают свойством, выделяющим солитонные уравнения среди других уравнений: они обладают бесконечным набором законов сохранения (однако в настоящее время физический смысл определен только у первых трех законов сохранения – это закон сохранения импульса, энергии и момента импульса).

Столкновения солитонов КдФ можно наглядно представить как взаимодействие нерелятивистских частиц, между которыми действуют парные силы отталкивания (см. [3]).

В [4] подробно рассмотрено применение метода потенциалов Баргмана к двухсолитонному взаимодействию. Суть этого метода заключается в следующем. Если решать стационарное уравнение Шредингера для произвольного потенциала, то решение может быть найдено для узкого класса потенциалов в виде разложения по специальным функциям. Если же сделать предположение, что потенциал удовлетворяет КдФ, то решение может быть найдено в виде произведения экспоненты и полинома от волнового числа. Полиному первой степени соответствует единичный солитон, полиному второй степени – двухсолитонное взаимодействие и т.д.

В данной работе будет рассмотрено трехсолитонное взаимодействие. Метод потенциалов Баргмана выбран специально: он позволяет наглядно про-

демонстрировать сходство аналогии взаимодействия солитонов с взаимодействием нерелятивистских частиц. Будут получены результаты, подтверждающие, что при взаимодействии солитонов действуют парные силы отталкивания.

2. Получение основных дифференциальных уравнений

В [5] на основании формализма Хироты рассмотрено трехсолитонное взаимодействие. Это рассмотрение имеет преимущество над примененным в данной работе подходом: оно позволяет получить общие соотношения, которые применимы к случаю N-солитонного взаимодействия. Однако подход, примененный к задаче в данной работе, имеет свои преимущества. Одним из преимуществ примененного подхода является возможность сведения системы дифференциальных уравнений второго порядка к одному дифференциальному уравнению порядка 2N, допускающему решение в виде суммы 2N экспонент.

Стационарное уравнение Шредингера имеет вид:

$$y'' + (k^2 - U(x,k))y = 0. \quad (1)$$

Во введении указывалось на тот факт, что если потенциал удовлетворяет КдФ, то решение можно искать в виде:

$$y = e^{ikx} \cdot F(k,x). \quad (2)$$

Чтобы исследовать трехсолитонное взаимодействие, полином $F(k,x)$ следует положить равным:

$$F(x,k) = \alpha \cdot k^3 + \beta \cdot a(x) \cdot k^2 + \gamma \cdot b(x) \cdot k + c(x), \quad (3)$$

где постоянные α, β, γ будут определены далее, а для функций $a(x), b(x), c(x)$ будут составлены дифференциальные уравнения. Подставив (2) и (3) в (1), приравняв множители при одинаковых степенях k , получим систему уравнений для $a(x), b(x), c(x)$:

$$8ia' - \alpha \cdot U = 0, \quad (4a)$$

$$c'' - cU = 0, \quad (4б)$$

$$2i\gamma \cdot b' + \beta \cdot a'' - \beta \cdot aU = 0, \quad (4в)$$

$$2ic' + \gamma \cdot b'' - \gamma \cdot bU = 0. \quad (4г)$$

Сравнение полученных уравнений с уравнениями для случая двухсолитонного взаимодействия (см. [4]), позволяет определить постоянные α, β, γ :

$$\alpha = -8i, \beta = -4, \gamma = 2i. \quad (5)$$

Видим, что в случае трехсолитонного и двухсолитонного взаимодействий три уравнения одинаковы. Отличием первого случая от второго является появление еще одного уравнения (4г). Видим, что это уравнение по своей природе сходно с уравнением (4в). Это позволяет сделать вывод, что именно это уравнение описывает парное отталкивание солитонов. (В общем случае при рассмот-

рении N-солитонного взаимодействия получается всего (2N-1) таких уравнений.) Окончательно уравнения (4) можно записать в следующем виде:

$$a' = -U, \quad (6a)$$

$$c'' = cU, \quad (6б)$$

$$b' + a'' = aU, \quad (6в)$$

$$c' + b'' = bU. \quad (6г)$$

Видим, что если $c = 0$, то возвращаемся к случаю двухсолитонного взаимодействия. Если $c = 0$ и $b = 0$, то приходим к односолитонному случаю.

Взаимодействие солитонов интересно в связи с тем, что оно похоже на взаимодействие упругих частиц. Однако это не совсем так. В случае взаимодействия двух солитонов установлено, что один солитон проходит сквозь другой, не изменяя первоначальную форму. При этом один солитон относительно другого смещается по фазе: более быстрый солитон смещается вперед относительно своего движения, а медленный солитон смещается назад. Аналогичный результат следует ожидать и в рассматриваемом случае, то есть итоговый фазовый сдвиг солитона будет складываться из сдвигов при прохождении солитона поочередно через первый, а затем через второй солитон. Именно рассмотрение трехсолитонного взаимодействия позволяет проследить отличие взаимодействия солитонов и упругих частиц: каждый из солитонов взаимодействует с двумя другими, в случае взаимодействия трех частиц, движущихся по одной прямой, каждая из крайних частиц взаимодействует только со средней.

3.Решение уравнений

Обратимся к решению системы уравнений (6).

Введем функцию Хироты посредством преобразования Коула-Хопфа:

$$a = \frac{2 \cdot \omega'}{\omega}. \quad (7)$$

Это позволит свести систему уравнений (6) к одному дифференциальному уравнению шестого порядка.

Свойства функции Хироты подробно изучены в [5].

Связь функций b и c с функцией Хироты имеет вид:

$$b = -\frac{2 \cdot \omega''}{\omega}, \quad (8a)$$

$$c = \frac{4 \cdot \omega'^2 \omega''' - 2 \cdot \omega' \omega''^2 + \omega^2 \omega^{(5)} - 3 \cdot \omega \omega' \omega^{(4)}}{\omega \cdot (\omega'^2 - \omega \omega'')}. \quad (8б)$$

Не приводя конечного уравнения ввиду его громоздкости, укажем его решение:

$$\omega = \sigma(\alpha \cdot e^{\rho x} + \alpha^{-1} \cdot e^{-\rho x}) + \rho(\beta \cdot e^{\delta x} + \beta^{-1} \cdot e^{-\delta x}) + \delta(\gamma \cdot e^{\sigma x} + \gamma^{-1} \cdot e^{-\sigma x}). \quad (9)$$

Это уравнение можно упростить, введя три фазы:

$$\alpha = e^{-\varphi}, \beta = e^{-\psi}, \gamma = e^{-\xi}. \quad (10)$$

Тогда (9) преобразуется в выражение:

$$\omega = 2 \cdot (\sigma \cdot \operatorname{ch}(\rho x - \varphi) + \rho \cdot \operatorname{ch}(\delta x - \psi) + \delta \cdot \operatorname{ch}(\sigma x - \xi)). \quad (11)$$

Продифференцировав один раз полученное выражение по x , получим выражение для $a(x)$, а продифференцировав два раза – для $U(x)$. Кроме того, подставив выражение для $U(x)$ в КдФ, можно определить временную зависимость потенциала от времени. Здесь не приводится уравнение для зависимости фаз от времени – оно аналогично уравнению, полученному в [4].

Проанализируем теперь полученные результаты. Прежде всего, стоит обратить внимание на уравнения (6б) и (8а). Переписав первое из уравнений в виде:

$$2 \cdot a' = -\frac{2 \cdot c''}{c}, \quad (12)$$

заметим, что должна существовать некоторая функция $d(x)$, для которой функция $c(x)$ являлась бы функцией Хироты. Связь новой функции с функцией $a(x)$ дается выражением:

$$2 \cdot a' = -\frac{1}{2}d^2 - d'. \quad (13)$$

Аналогичная формула связывает функции $a(x)$ и $b(x)$:

$$b = -\frac{1}{2}a^2 - a'. \quad (14)$$

Более подробное исследование затронутого вопроса авторы оставляют для дальнейших публикаций.

Таким образом, приходим к выводу, что рассмотрение N -солитонного взаимодействия методом потенциалов Баргмана позволяет представить решения системы уравнений, описывающих процесс, в виде функции Хироты, которая в свою очередь равна сумме экспонент.

Литература

1. Г.Н.Кичигин. ЖЭТФ, т.119, вып.6, с.1038-1049 (2001).
2. Д.Фарина, С.В.Буланов. Физика плазмы, т. 27, №8, с.680-692 (2001).
3. Физическая энциклопедия, т.4 – М., Большая Российская энциклопедия, с.704 (1994).
4. Дж.Л.Лэм. Введение в теорию солитонов – М., Мир, с. 294 (1983).
5. А.Ньюэлл. Солитоны в математике и физике – М.: Мир, с.324 (1989).

УДК.537.61

С.В.Бухтиярова, И.В.Жихарев, Т.В.Лаптева, А.Ф.Прун

СПИН-ПЕРЕОРИЕНТАЦИОННЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОСЛОЯХ С КОНКУРИРУЮЩИМИ АНИЗОТРОПИЯМИ

В статье на основе использования известной феноменологической теории наведенной магнитной анизотропии проведен расчет кривых намагниченности в ферромагнитных наноструктурах, равновесных параметров в области спонтанного фазового перехода первого рода, определены границы существования промежуточного состояния. Рис. 2. Ист. 8.

В массивных образцах доминирующей составляющей в энергии магнитной анизотропии является магнитокристаллическая анизотропия, связанная с симметрией кристалла [2]. В магнитных тонких пленках наведенная поверхностью анизотропия носит конкурирующий характер с магнитокристаллической [3-4]. Такая наведенная анизотропия отличается нелинейной и немонотонной зависимостью от толщины пленки, что не соответствует описаниям теории Нееля. Длительное время осуществлялись попытки избавиться от несоответствия путем расширения теории Нееля [5-6], что в свою очередь дает спорные результаты.

Природа наведенной одноосной анизотропии является одной из наиболее интересных проблем физики тонких магнитных пленок. Возникновение наведенной перпендикулярной анизотропии приписывается поверхностной анизотропии.

Магнитная энергия может быть описана следующей формулой:

$$W = \int dV \left[A \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial M}{\partial x_i} \right)^2 - \mathbf{H} \cdot \mathbf{M} - \frac{1}{2} \mathbf{H}_d \cdot \mathbf{M} + \omega_a \right], \quad (1)$$

где первый член представляет собой неоднородную обменную энергию с константой A , энергию взаимодействия с внешним магнитным полем \mathbf{H} , энергию размагничивающего поля \mathbf{H}_d и энергию магнитной анизотропии. В магнитных тонких пленках, что являются предметом исследования, наведенная поверхностью анизотропия $\omega_a^{(i)}$ сравнима по величине с магнитокристаллической $\omega_a^{(c)}$, и в ряде случаев существенно превышает ее [2-4], в отличие от идеальных больших кристаллов, в которых магнитокристаллическая анизотропия определяется магнитным взаимодействием, и отражает его симметрию. Наведенная одноосная анизотропия, возникающая из-за наведенной поверхностными взаимодействиями анизотропии спин-орбитального взаимодействия, строго не ограничивается поверхностью, а простирается в глубину магнитного слоя.

Такая наведенная анизотропия отличается пространственной неоднородностью и сильно зависит от физических и геометрических параметров наноструктуры [7-8]. Следовательно, наведенная анизотропия не является константой материала, а подобно намагниченности, является переменной величиной.

В данной работе в качестве модели магнитного нанослоя рассматривается пластина, не ограниченная вдоль осей x и y и имеющая толщину d вдоль оси z (рис.1). Нанослой ограничен физически идентичными поверхностями.

Рассмотрим нанослой с кубической магнитокристаллической анизотропией (K) и одноосной наведенной анизотропией (B):

$$\omega_a = B(z)M_z^2 + K(M_x^2 + M_y^2 + M_z^2). \quad (2)$$

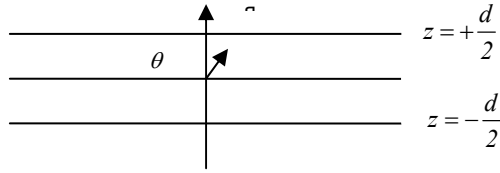


Рис. 1. Наноструктурная пластина, ограниченная поверхностями $z = \pm d/2$

Положим, магнитное поле расположено в плоскости $хоz$. Введем угол θ между осью x и вектором намагниченности, тогда однородная часть плотности энергии может быть записана так:

$$\bar{w} = \frac{\bar{W}}{V} = -2KM_0^4 \cos^4 \theta + (2K - \tilde{B}(d))M_0^2 \cos^2 \theta - \mathbf{H} \cdot \mathbf{M}, \quad (3)$$

где $M_0 = |\mathbf{M}|$.

Потенциал (3) удобно представить в следующем виде:

$$\bar{w} = -\cos^4 \theta + (1 - k) \cos^2 \theta - h_z \cos \theta - h_x \sin \theta, \quad (4)$$

где $k = \frac{\tilde{B}(d)}{2K}$, $h = \frac{HM_0}{2K}$.

В данной работе в рамках рассматриваемой модели при условии зависимости одноосной анизотропии от толщины рассчитаны линии ФП I и равновесные состояния в конкурирующих фазах. Необходимым условием существования доменных структур является наличие в системе ФП I, индуцированного внешним магнитным полем, а в доменах реализуются состояния, соответствующие конкурирующим фазам ФП I.

Построим $h_x - h_z$ - фазовые диаграммы для различных соотношений между \tilde{B} и k . Для этого проанализируем потенциал (4), описывающий тонкие пленки.

Линии лабильности представлены параметрическим видом уравнений критических кривых:

$$\begin{cases} h_z = 2 \cos^3 \theta (5 - k - 6 \cos^2 \theta), \\ h_x = 2 \sin^3 \theta (5 + k - 6 \sin^2 \theta) \end{cases} \quad (5)$$

Как показывает анализ потенциала (4) и уравнений линий лабильности (5), при $k \geq 5$ линия фазового перехода на $h_x - h_z$ - фазовой диаграмме представляет собой отрезок прямой $h_z = 0$, $|h_x| \leq 2(k-1)$ и разделяет состояния θ и $\pi - \theta$, для которых $h_x = 2 \sin \theta (2 \cos^2 \theta - 1 + k)$, где $\pi/2 \leq \theta \leq 3\pi/2$. На рис.2, а показаны линии лабильности соответствующих фаз. В предельном случае $\tilde{B}(d) \gg K (k = \infty)$ задача сводится к решению для легкоосного ферромагнетика с квадратичной анизотропией. Равновесные значения θ на линии фазового перехода первого рода определяются уравнением $h_z = 2(k-1)\sin \theta$, а границы устой-

чивости представляют собой астроиду и определяются из системы уравнений (5).

Если $0 < k < 5$, то линии устойчивости модифицируются (рис 2, б), а на линии фазового перехода первого рода, разделяющей состояния с θ и $\pi - \theta$, появляется точка с координатами:

$$h_x = 2 \sin \theta_0 (2 \cos^2 \theta - 1 + k), \quad h_z = 0,$$

в которой сосуществуют три фазы:

$$\theta_1 = \arcsin \frac{-1 + \sqrt{1 + 3k}}{3}, \quad \theta_2 = \pi - \theta_1, \quad \theta_3 = \frac{\pi}{2}.$$

К этой точке примыкают две линии фазового перехода первого рода между угловыми фазами, эти линии заканчиваются в критических точках b_1, b_2 с координатами:

$$\begin{cases} h_{11} = \pm 8 \left[\frac{5-k}{10} \right]^{5/2}, \\ h_{12} = \pm 8 \left[\frac{5+k}{10} \right]^{5/2}. \end{cases} \quad (6)$$

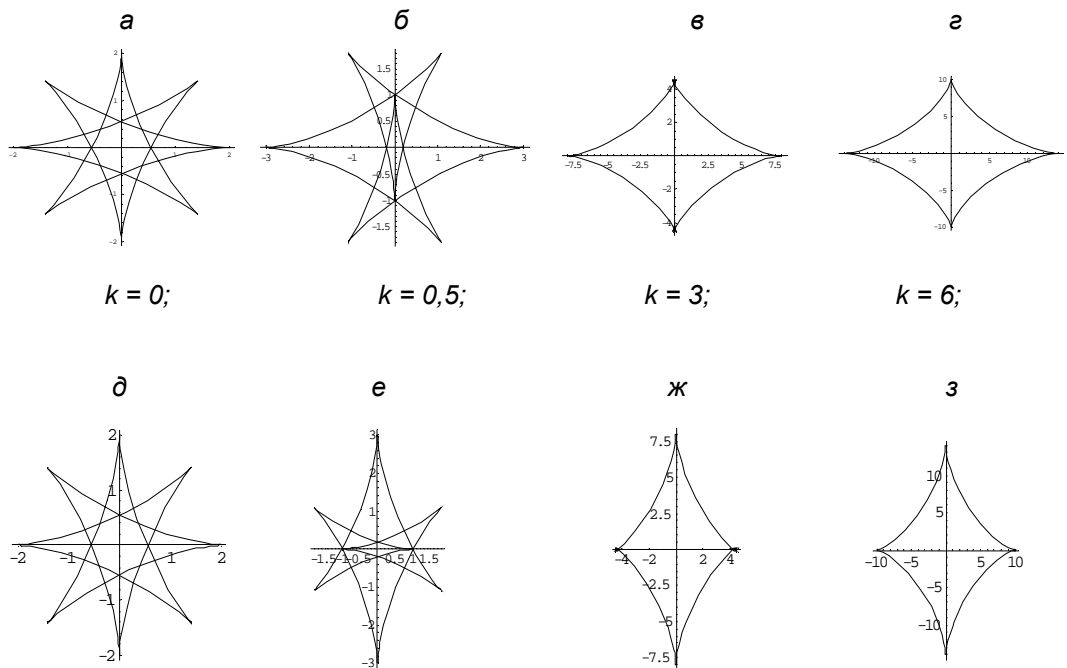


Рис. 2. $h_x h_z$ – фазовая диаграмма при различных значениях k

С уменьшением k в интервале $0 < k < 5$ точка a «приближается» к оси ox (рис.2, в) и при $k = 0$ достигает ее. В этом случае потенциал (4) фактически описывает энергию легкоплоскостного тетрагонального магнетика и в точке

$h_x = h_z = 0$ имеет место сосуществование 4-х фаз $\theta = \pi n/2$ ($n = 0, 1, 2, 3$). К этой точке примыкают четыре отрезка прямых, являющихся линиями фазового перехода первого рода между угловыми фазами. Анализ (4) при $k < 0$ сводится к рассмотренному заменой $h_z \leftrightarrow h_x$, $\theta \rightarrow \frac{\pi}{2} - \theta$.

Литература

1. A.N. Bogdanov, U.K. Röbber, et. al. JMMM, 238 (2002).
2. Hubert, Schaefer 98. W.J.M. de Jonge, P.G.H. Bloemen, et. al. Ultrathin Magnetic Structures. Berlin, Springer, (1994).
3. M.T. Johnson, P.J.H. Bloemen, F.J.A. den Breeder, J.J. de Vries. Rep. Prog. Phys., 59, 1409 (1996).
4. P.Poulopoulos, K. Baberschke, J. Phys.: Condens. Matter, 11, 9495 (1999).
5. R. Jungblut, M.T. Johnson et al. J. Appl. Phys., 75, 6424 (1994).
6. G. Bochi, C.A. Ballentine et al. Phys.Rev. B, 53, 1729 (1996).
7. Bogdanov A.N., Röbber U.K. Phys.Rev, 87, 4 (2001).
8. A.N. Bogdanov, U.K. Röbber, Phys. Rev. Lett., 87 (2001).

УДК 535.14

Д.С.Левко, Ю.И.Лысиков

РЕШЕНИЕ ВОЗМУЩЕННОГО НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА

В работе рассмотрено решение нелинейного уравнения Шредингера с 4правой частью методом квадратур. Рис. 3. Ист. 8.

Введение

Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ) в настоящее время находит применение в самых разнообразных областях физики. Оно применяется в нелинейной оптике, в теории сверхтекучести, в физике плазмы, при изучении конденсата Бозе-Эйнштейна. Уравнения типа НУШ с произвольной нелинейностью нельзя решить аналитически (например, методом обратной задачи рассеяния). Однако существует возможность находить частные решения таких уравнений.

В последнее время все больше внимания уделяется решению НУШ с правой частью. В [1] рассмотрено рассеяние солитонов на простейших потенциальных стенках. В результате показано, что солитоны при определенных условиях ведут себя как классические частицы. Также изучен переход между поведением солитонов как классических частиц и поведением солитонов как волн. Уравнения типа НУШ с правой частью применяются при описании удержания конденсата Бозе-Эйнштейна (в этом случае оно называется уравнением Гросса-Питаевского).

В [2] впервые рассмотрены вихревые солитоны на поверхности между двумя различными материалами. Для расчетов материалы рассматриваются как две периодические пространственные решетки. Это позволяет записать возмущенное уравнение типа НУШ (с правой частью) для двух пространственных измерений. В общем виде это уравнение не решается аналитически (невозможно найти пару Лакса, что указывает на неприменимость метода обратной задачи

рассеяния для уравнения). В связи с этим в [2] представлены результаты численного эксперимента по решению уравнения.

В данной работе будет рассмотрено упрощенное уравнение, и для него будет получено решение, позволяющее провести некоторый анализ рассматриваемой системы.

Решение возмущенного НУШ

Исходное уравнение имеет вид:

$$iq_t + q_{xx} + \frac{q|q|^2}{1+S|q|^2} = -R(x)q,$$

где

$$R(x) = -\frac{\rho}{4}(1 - \cos(\Omega x)).$$

Здесь ρ – глубина периодической части решетки, Ω – частота повторения узлов решетки.

Прежде чем рассматривать уравнение с правой частью, решим вспомогательную задачу: НУШ без правой части:

$$iq_t + q_{xx} + \frac{q|q|^2}{1+S|q|^2} = 0. \quad (1)$$

Это уравнение решаем методом квадратур (см. [3]-[6]), то есть решение ищем в виде:

$$q(t, x) = y(z) \cdot e^{i(pz + t\omega)}, \quad (2)$$

где $z = x - Vt$ – запаздывающая координата, $p = \frac{V}{2}$, ω – несущая частота.

Тогда получаем уравнение:

$$y_{zz} = -\frac{1}{2} \frac{\partial U}{\partial z}, \quad (3)$$

где эффективный потенциал определяется из соотношения:

$$U = -2 \int F(y') y' dy' + E_0 y^2; \quad (4)$$

Здесь

$$F(y) = \frac{|y|^2}{1+S|y|^2},$$

а $y(z)$ – действительная функция.

В результате находим эффективный потенциал:

$$U(y) = \left(E_0 - \frac{1}{S} \right) y^2 + \frac{1}{S} \ln(1 + Sy^2), \quad (5)$$

$$E_0 = p^2 - \omega,$$

$$U'(0) = 0, \quad U''(y) > 0, \quad U'(y) < \infty.$$

Величина E_0 есть константа интегрирования (энергия).

В таком подходе частные решения ОДУ определяются параметрами E_0 и E .

Из (3) получаем:

$$z - z_0 = \pm \int \frac{dy}{\sqrt{E - U(y)}}. \quad (6)$$

Таким образом, задача сводится к отысканию интеграла в правой части. Будем рассматривать сепаратрисные решения (им соответствует случай $E = 0$). Такие решения описывают класс уединенных волн ([7]). Рассмотрим сначала случай, когда $E_0 = 0$.

При больших z потенциал (5) можно моделировать потенциалом вида

$$\tilde{U}(y) = -Cy^2, \quad (7)$$

(не стоит путать введение такого потенциала с НУШ с кубической нелинейностью, которое решается методом обратной задачи) где постоянная $C > 0$ определяется постоянными, входящими в (5).

Решение получаем в виде:

$$y(z) = e^{(z - z_0)\sqrt{C}}. \quad (8)$$

Видим, что при стремлении координаты к бесконечности решение расходится. Таким образом, рассмотренный случай, когда $E_0 = 0$, не имеет физического смысла.

Рассмотрим теперь случай, когда $E_0 > 0$. Моделирующий потенциал в этом случае имеет вид:

$$\tilde{U}(y) = B - Cy^2. \quad (9)$$

Это выражение для потенциала было найдено при сравнении графиков для исходного потенциала и потенциала (9) (см. рис. 1-2). Здесь, как и ранее, постоянные определяются величинами E_0 и S .

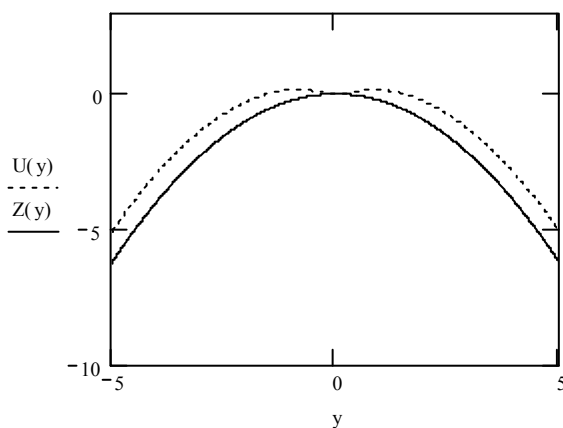


Рис. 1. Моделирующий потенциал на малых расстояниях

На рис. 1 предоставлено сравнение моделирующего потенциала (сплошная линия) и потенциала (5) (пунктирная линия) на малых расстояниях.

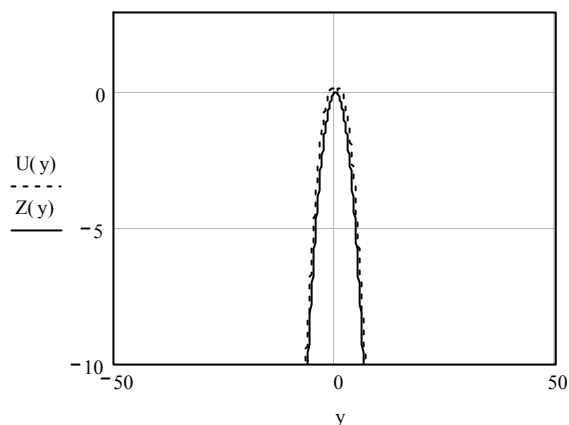


Рис. 2. Моделирующий потенциал на больших расстояниях

На рис. 2 предоставлено сравнение моделирующего потенциала и потенциала (5) на больших расстояниях. Простые вычисления показывают, что значения потенциалов, например при $z = 30$, совпадают с точностью до 0,01.

Солитонное решение отвечает движению изображающей точки на фазовой плоскости между точкой остановки (точка, достигаемая изображающей точкой за конечное время) и точкой поворота (точка, не достигаемая изображающей точкой за конечное время).

В этом случае решение имеет вид:

$$y(z) = \sqrt{\frac{B}{C}} \cdot \sin \sqrt{C}(z - z_0). \quad (10)$$

И, окончательно,

$$q(z, t) = \sqrt{\frac{B}{C}} \cdot \sin \sqrt{C}(z - z_0) \cdot e^{i(\omega t + pz)}. \quad (11)$$

На рис. 3 приведен фазовый портрет сепаратрисных решений НУШ (1).

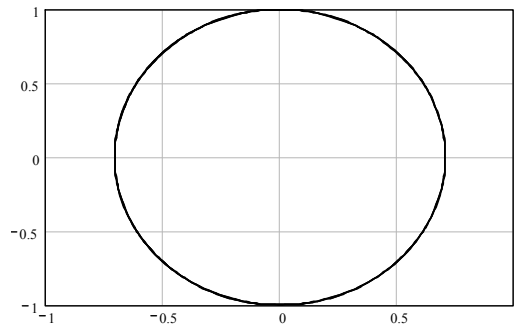


Рис.3. Фазовый портрет сепаратрисных решений

Перейдем к исследованию НУШ с правой частью. Рассмотрим случай медленных солитонов. Тогда, ища решение в виде (2), получим уравнение Хилла:

$$y_{zz} + (\lambda + \mu \cdot \cos(\Omega z))y = 0, \quad (12)$$

в котором

$$\lambda = \frac{\rho}{4} - C,$$

$$\mu = \frac{\rho}{4}.$$

Здесь рассматривается случай $\lambda > 0$, так как в обратном случае получаем расходящиеся на бесконечности и не имеющие физического смысла решения.

Считаем величину μ малым параметром. Будем искать решение методом возмущений по этому малому параметру ([8]):

$$y(z) = y_0 + \mu \cdot y_1 + \dots$$

Подставив в (12), получаем систему уравнений на нахождение нулевого и первого приближений:

$$\begin{cases} y_{0zz} + \lambda y_0 = 0, \\ y_{1zz} + \lambda y_1 = y_0 \cos(\Omega z), \end{cases} \quad (13)$$

с начальными условиями

$$\begin{aligned} y_0(0) = 0, \quad y_0'(0) = 1, \\ y_1(0) = y_1'(0) = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Не приводя промежуточных расчетов, запишем окончательное решение:

$$y(z) = \sin(\sqrt{\lambda}z) + \mu \frac{\Omega^2 - 2\lambda}{\Omega\sqrt{\lambda}(\Omega^2 - 4\lambda)} \sin(\sqrt{\lambda}z) + \mu \frac{1}{2\Omega(\Omega + 2\sqrt{\lambda})} \sin(\Omega + \sqrt{\lambda})z + \\ + \mu \frac{1}{2\Omega(\Omega - 2\sqrt{\lambda})} \sin(\Omega - \sqrt{\lambda})z. \quad (15)$$

Видим, что выражение (15) в нулевом приближении совпадает с решением (10) невозмущенного уравнения. Выражение (15) достаточно точно описывает решение уравнения Хилла (15), что подтверждается численным моделированием. Оно было проведено при помощи пакета MatLab методом Рунге-Кутты со схемой четвертого порядка точности. Кроме того, численный эксперимент позволил выяснить условия, налагаемые на величины λ и μ . Так, при значениях этих величин, больших 0,1, решение расходится на бесконечности. Иначе, то есть при малых λ и μ , решение устойчиво.

Вывод

Проанализируем формулу (15). Первые два слагаемых представляют собой падающую на потенциальную стенку волну. Третье и четвертое слагаемые – прошедшая и отраженная волны соответственно. Видим, что частоты этих волн сдвигаются на величину частоты повторяемости узлов решетки Ω . Полученный результат справедлив только при $z \rightarrow \pm\infty$ (выражение (9) применимо именно в этом предельном случае).

Литература

1. H.Sacaguchi, M. Tamura // arXiv: nlin.PS / 0410060 v.1 27 Oct 2004.
2. Y.V.Kartashov, et al. // J. Opt. Soc. Am. B 22, 1366 (2005).
3. А.Г.Корниенко, А.Р.Френкин, Г.А.Чижов // Вестн. МУ, сер.3, Физика, астрономия, 1997, №5, С.10.
4. А.Р.Френкин // Вестн. МУ, сер.3, Физика, астрономия, 1999, №2, С. 9.
5. Е.Г.Барина и др. // Вестник МУ, сер.3, Физика, астрономия, 1998, №1, С. 12.
6. Д.Баскаран и др. // Вестник МУ, сер.3, Физика, астрономия, 2000, №3, С. 3.
7. Физическая энциклопедия. Т.4 – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994, – 704 с.
8. А.Д.Мышкис. Математика для технических ВУЗов – С.-П.: Лань, 2002. – 640 с.

УДК 544.226

И.Е.Драгунов, С.В.Бухтиярова, И.В.Жихарев

СПИН-ПЕРЕОРИЕНТАЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ДОМЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ

Определены равновесные параметры ферромагнетика с доменной структурой в области спонтанного фазового перехода рассматриваемого как переход I рода. Построена фазовая диаграмма в координатах «поле-угол» для внешнего и внутреннего поля. Проведено исследование доменной структуры для данных случаев. Построены кривые намагничивания. Рис. 2. Ист. 5.

Введение

Магнитные материалы с размерами в несколько нанометров (сверхтонкие магнитные пленки, различные многослойные магнитные системы, нанопроволоки, системы магнитных наночастиц и нанокластеров) обладают целым рядом необычных физических свойств, неизвестных в массивных магнетиках. С

фундаментальной точки зрения такие системы являются уникальными моделями для изучения магнитных взаимодействий и поверхностного магнетизма. Поэтому теоретическое описание процессов намагничивания в наноматериалах является одной из актуальных задач современного магнетизма.

Сложные изменения электронных и магнитных свойств на поверхностях магнетиков приводят к ряду эффектов, известных как поверхностный магнетизм. В наноматериалах влияние поверхностных взаимодействий распространяется на весь объем образца и существенно сказывается на их магнитных свойствах, в отличие от массивных образцов, где поверхностные области занимают только незначительную часть объема и не оказывают влияния на свойства магнетика в целом. В нанослоях магнитных металлов наведенная одноосная анизотропия может во много раз превышать величины магнитокристаллической анизотропии и приводит к образованию уникальных пространственно-неоднородных состояний и вызывает необычные реориентационные эффекты. В ряде таких систем влияние объемной и наведенной анизотропий носит конкурирующий характер, что приводит к сложным процессам намагничивания, особенно при отклонении магнитного поля от симметричных направлений. Такая конкуренция является причиной необычных явлений, таких как гистерезисные кривые со смещением, двойным смещением и образование полидоменных состояний.

Как известно, процессы намагничивания в массивных магнетиках и системах микронных размеров описываются в рамках феноменологической теории магнетизма (называемой также микромагнетизм). При расчетах наведенные магнитные взаимодействия описываются подходящим эвристическим анзацем. В частности, для поверхностной одноосной анизотропии используется формула Нееля. Однако, эта модель применима только для достаточно толстых пленок, когда индуцированная анизотропия локализована в тонком приповерхностном слое, значительно меньшем толщины пленки.

В данной работе мы используем теорию индуцированной анизотропии для описания процессов намагничивания в магнитных нанослоях с объемной кубической и наведенной одноосной анизотропией. Равновесные магнитные конфигурации и границы их устойчивости определены как функции величины и направления магнитного поля. Определены линии фазовых переходов первого рода и равновесные параметры полидоменных структур и доменов конкурирующих фаз. Рассчитанные фазовые диаграммы в компонентах внешнего поля позволяют дать детальный анализ процессов намагничивания в системе.

Феноменологическая теория

Рассмотрим ферромагнитный слой толщиной d , намагниченный одноосно в бесконечных направлениях x и y и ограниченный физически идентичными планарными плоскостями $z = \pm d/2$. В феноменологическом приближении его магнитную энергию можно представить в виде [1, 2]:

$$W_m = \int_{-d/2}^{d/2} \left[A \sum_i \left(\frac{\partial m_i}{\partial x_i} \right)^2 - MH - \frac{1}{2} MH_d - K(m_x^4 + m_y^4 + m_z^4) - \beta(z)(ma)^2 \right] dz, \quad (1)$$

где $m = M/|M|$ - единичный вектор намагниченности M . Первое слагаемое в (1) представляет собой неоднородную обменную энергию с константой A , второе и третье - энергия взаимодействия с внешним магнитным полем H и энергия размагничивающего поля H_d соответственно. Следующее слагаемое - энергия кубической магнитокристаллической анизотропии, а последнее - энергия наведенной одноосной поверхностной анизотропии с осью, задаваемой вектором a и неоднородным распределением $\beta(z)$ по толщине слоя. Для простоты мы ограни-

чимся моделью с компланарной геометрией, когда легкая ось a , эффективное поле и вектор намагниченности m лежат в одной плоскости xOz .

Минимизация функционала магнитной энергии (1) позволяет рассчитать равновесные распределения намагниченности в нанослое как функции материальных параметров, а также от величины и направления внешнего поля. Из-за неоднородного характера индуцированной анизотропии такие распределения неоднородны по толщине слоя (так называемые спиральные (twisted) фазы). Однако расчеты для $K = 0$ показывают, что такие спиральные фазы реализуются в узкой окрестности фазовых переходов между однородными состояниями. Поэтому в данной работе мы ограничимся расчетом однородных по толщине структур.

Для независимой вдоль толщины слоя намагниченности интегрирование $\beta(z)$ по z приводит к следующему выражению для эффективной наведенной анизотропии:

$$B(d) = \frac{1}{d} \int_{-d/2}^{d/2} \beta(z) dz = B_0 \delta d^{-1} \tanh(d/\delta). \quad (2)$$

В данном случае одноосная анизотропия $B(z)$ зависит от толщины слоя.

Введем угол θ между осью z и вектором намагниченности, тогда однородная часть плотности магнитной энергии может быть представлена в следующем виде:

$$\Phi = -\text{sgn}(K) \cos^4 \theta + (\text{sgn}(K) - \kappa) \cos^2 \theta - h_x \sin \theta - h_z \cos \theta, \quad (3)$$

где $\kappa = B(d)/2|K|$, $h = H|M|/2|K|$.

Это выражение записано без учета размагничивающих полей, поэтому магнитное поле h здесь выступает как внутреннее поле. Прежде всего мы исследуем зависимость магнитных состояний системы от компонент внутреннего поля h_x , h_z . Отметим, что $\Phi(\theta)$ (3) имеет функциональный вид для объемного одноосного ферромагнетика с анизотропией второго и четвертого порядков. В частности, этот потенциал описывает состояния редкоземельных ортоферритов в области спонтанной плавной переориентации. В этих системах с изменением температуры анизотропия второго порядка меняет знак. В нанослое аналогичная эволюция магнитных состояний может быть вызвана изменением $\kappa(d)$ с толщиной слоя. Спиновая переориентация, описываемая моделью (3), подробно исследована во многих ортоферритах и других классах магнетиков. Эти результаты могут быть использованы для анализа аналогичных процессов в магнитных нанослоях, вызванных изменением их толщины. Магнитные состояния для $\Phi(\theta)$ (3) исследовались во многих работах. Здесь мы впервые дадим полное описание эволюции соответствующих (h_x, h_z) -фазовых диаграмм, отдельные элементы которых были получены другими авторами.

Магнитные фазовые диаграммы во внутреннем поле

Равновесные состояния системы определяются минимизацией потенциала (3) как функции угла θ и зависят от величины эффективной анизотропии κ .

В поле $h = 0$ минимуму потенциала (3) соответствуют следующие фазы:

$$\theta = \pi n, \quad \text{при } \kappa > -\text{sgn}(K), \quad (4)$$

$$\theta = \frac{\pi(2n+1)}{2} \quad \text{при } \kappa < \text{sgn}(K), \quad (5)$$

$$\cos^2 \theta = \frac{1 - \kappa \operatorname{sgn}(K)}{2}, \quad \text{при } (\kappa^2 - 1) \operatorname{sgn}(K) > 0. \quad (6)$$

Характер фазовых переходов между этими состояниями диктуется знаком константы кубической магнитокристаллической анизотропии K . Если $K > 0$, то области существования состояний (4) и (5) перекрываются. Переход между этими состояниями является фазовым переходом первого рода при $\kappa = 0$. Состояния (6) в этом случае не реализуются, поскольку являются абсолютно неустойчивыми (здесь потенциал (3) имеет максимум). Если $K < 0$, то в области $\kappa^2 - 1 < 0$, где реализуются состояния (6), происходит плавная спиновая переориентация между состояниями (5) и (6). В сильном магнитном поле равносному состоянию соответствует только одно направление намагниченности, ориентированное вдоль приложенного поля. Снятие вырожденных состояний (4), (5) в системе не может происходить мгновенно, то на фазовой $(h_x h_z)$ -диаграмме должна существовать область метастабильных состояний.

Линии устойчивости задаются следующими параметрическими уравнениями:

$$\begin{cases} h_x = 2 \sin^3 \theta (\kappa + \operatorname{sgn}(K)(5 - 6 \sin^2 \theta)), \\ h_z = 2 \cos^3 \theta (-\kappa + \operatorname{sgn}(K)(5 - 6 \cos^2 \theta)). \end{cases} \quad (7)$$

С изменением величины эффективной анизотропии κ система уравнений (7) описывает модифицированную астроиду Стоунера - Вольфарта. Из системы уравнений $d\Phi/d\theta = 0$, $d^2\Phi/d\theta^2 = 0$, $d^3\Phi/d\theta^3 = 0$ найдем, что критические точки определяются следующими соотношениями:

$$h_x^c = 8 \left(\frac{5 + \kappa \operatorname{sgn}(K)}{10} \right)^{5/2}, \quad h_z^c = 8 \left(\frac{5 - \kappa \operatorname{sgn}(K)}{10} \right)^{5/2}. \quad (8)$$

Если $\kappa \geq 5$, то определяющую роль в потенциале (3) играет наведенная одноосная анизотропия, а границы устойчивости описываются астроидой Стоунера - Вольфарта [3]. Особого рассмотрения требует ситуация, когда магнитное поле приложено ортогонально легкой оси. На фазовых $(h_x h_z)$ -диаграммах это направление поля соответствует отрезкам прямых:

$$h_z = 0, \quad |h_x| \leq 2(\kappa - 1), \quad (K > 0), \quad (9)$$

$$h_z = 0, \quad |h_x| \leq 2(\kappa + 1), \quad (K < 0). \quad (10)$$

При изменении магнитного поля вдоль прямых (9), (10) частично сохраняется вырождение основных состояний системы. С ростом поля потенциальный барьер, разделяющий основные состояния системы, уменьшается, и в точках заострения астроиды оба минимума сливаются в один, где намагниченность ориентирована вдоль поля.

Равновесные значения этих состояний задаются уравнениями:

$$\sin^3 \theta - \frac{1 + \kappa}{2} \sin \theta + \frac{h_x}{4} = 0, \quad K > 0, \quad (11)$$

$$\sin^3 \theta - \frac{1 - \kappa}{2} \sin \theta - \frac{h_x}{4} = 0, \quad K < 0. \quad (12)$$

Если параметр κ изменяется в интервале $0 < \kappa < 5$, в потенциале (3) проявляется конкуренция вкладов между наведенной одноосной и кубической магнитокристаллической анизотропиями. Эта конкуренция приводит, в частности, к изменению топологии $(h_x h_z)$ -фазовых диаграмм. На этих фазовых диаграммах появляются дополнительные области метастабильных состояний в форме «ласточковых хвостов», ограниченные линиями (7). Дальнейший анализ будем проводить отдельно для двух случаев: $K > 0$ и $K < 0$.

В случае, когда $K > 0$, линия фазового перехода первого рода (9), разделяющая состояния с θ и $\pi - \theta$, заканчивается в точках a_1 и a_2 (рис. 1, а) с координатами:

$$h_z = 0, \quad h_x = \pm 2 \sin \theta_0 (\cos 2\theta_0 + \kappa). \quad (13)$$

В этих точках сосуществуют три фазы:

$$\theta_1 = \pi - \theta_0; \quad \theta_2 = 2\pi + \theta_0; \quad \theta_3 = \frac{3\pi}{2}. \quad \left(\theta_0 = \arcsin \frac{1 - \sqrt{1 + 3\kappa}}{3} \right) \text{ для точки } a_1, \quad (14)$$

$$\theta_1 = \theta_0; \quad \theta_2 = \pi - \theta_0; \quad \theta_3 = \frac{\pi}{2}. \quad \left(\theta_0 = \arcsin \frac{-1 + \sqrt{1 + 3\kappa}}{3} \right) \text{ для точки } a_2. \quad (15)$$

К этим точкам примыкают по две линии фазовых переходов первого рода между угловыми фазами («усы»). Эти линии фазовых переходов первого рода заканчиваются в критических точках b_j с координатами $b_1(-h_x^c; -h_z^c)$, $b_2(-h_x^c; h_z^c)$, $b_3(h_x^c; h_z^c)$, $b_4(h_x^c; -h_z^c)$, где критические поля определяются из (8). В этих точках осуществляется переход в однородное состояние $\theta_1 = \theta_2$ (см. вставку на рис. 1, а).

По мере убывания параметра κ линия фазового перехода I рода $a_1 a_2$, ее длина уменьшается (рис. 1, б) и при $\kappa=0$ эта линия вырождается в точку. Здесь имеет место сосуществование четырех фаз $\theta = \pi n/2$ ($n = 0, 1, 2, 3$). К этой точке примыкают четыре отрезка прямых, являющихся линиями фазовых переходов первого рода между угловыми фазами (рис. 1, в).

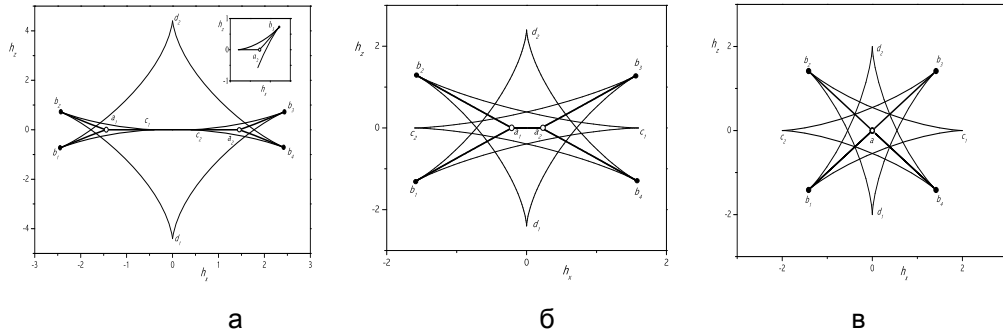


Рис. 1. Эволюция фазовых $(h_x h_z)$ -диаграмм при изменении эффективной анизотропии κ для $K > 0$

Проследим за эволюцией состояний системы при изменении магнитного поля вдоль линии $a_1 a_2$ на разных интервалах изменения параметра κ . Для определенности будем рассматривать положительные магнитные поля (отрезок $0 a_2$). На интервале $1 \leq \kappa < 5$ в нулевом поле реализуются состояния (5). При $h_x \neq 0$ в системе образуются энергетически эквивалентные состояния θ_0 и $\pi - \theta_0$ (с θ_0 из

(16)). С ростом h_x энергия этих состояний понижается, и в поле $h_x = 2(\kappa - 1)$ (точка c_2) зарождается метастабильная фаза $\theta = \pi/2$. При дальнейшем увеличении h_x энергия этой метастабильной фазы уменьшается, и в точке a_2 имеет место трехкратное вырождение по энергии состояний (16). С ростом h_x абсолютному минимуму потенциала отвечает состояние $\theta = \pi/2$, а фазы θ_0 и $\pi - \theta_0$ становятся метастабильными. В поле $h_z = 0; h_x = \frac{1}{27}[6(1+\kappa)]^{3/2}$ осуществляется переход в од-

нородное состояние $\theta = \pi/2$. Заметим, что при $\kappa = 1$ в потенциале (4) подавляется влияние одноосной наведенной анизотропии, и определяющая роль принадлежит магнитокристаллической кубической анизотропии.

Интервалу $0 < \kappa < 1$ в нулевом поле отвечает область метастабильных состояний, поскольку переход между (4) и (5) является фазовым переходом первого рода. Здесь состояния (4) абсолютно устойчивы, а (6) - метастабильны. Характер эволюции магнитных состояний на этом интервале изменения κ при движении вдоль линии $a_1 a_2$ остается прежним. Главное отличие состоит в том, что в этом случае фаза $\theta = \pi/2$ существует в системе как метастабильная уже в нулевом магнитном поле.

Магнитные фазовые диаграммы во внешнем поле

Учет размагничивающих полей приводит к переопределению границ метастабильных состояний (7). Так, для образцов эллипсоидальной формы линии устойчивости определяются из уравнения $H^{(e)} = H + 4\pi \hat{N}M$, где \hat{N} - тензор размагничивающих коэффициентов, H - внутреннее поле (7), а M - намагниченность в однородном состоянии (на линиях устойчивости (7)). Переопределенные таким образом линии устойчивости отдельных фаз задают на фазовых $(h_x^{(e)} h_z^{(e)})$ -диаграммах один из предельных случаев эволюции системы во внешнем поле.

Наличие в системе фазовых переходов первого рода между магнитными состояниями приводит к образованию термодинамически устойчивых полидоменных структур из доменов сосуществующих фаз. Число различных доменов равно числу сосуществующих фаз при фазовых переходах первого рода. Как показывает проведенный выше анализ, в ферромагнитном нанослое могут реализовываться двух-, трех- и четырех- фазные ($K > 0$) и двух- и четырех- фазные ($K < 0$) полидоменные структуры. Согласно теории фаз, каждой точке фазовой диаграммы в компонентах внутреннего поля соответствует определенный участок на фазовой $(h_x^{(e)} h_z^{(e)})$ -диаграмме, выполненной в компонентах внешнего поля, - область существования полидоменных структур.

Для эллипсоидальных образцов в области существования полидоменных структур зависимость объемных долей фаз ξ_i и намагниченностей $M^{(i)}(H^{tr})$ отдельных фаз от внешнего поля задается уравнением:

$$H^{(e)} = H^{tr} + 4\pi \hat{N} \sum_{i=1}^n \xi_i M^{(i)}(H^{tr}), \quad \sum_{i=1}^n \xi_i = 1, \quad (16)$$

где H^{tr} - поле фазового равновесия между n магнитными фазами.

В области двукратного вырождения при $\kappa \geq 5$ поле h^{tr} , разделяющее состояния с θ и $\pi - \theta$, задается соотношениями (9) или (10), а намагниченности в доменах $m^{(i)}$ определяются из уравнений (11) или (12). Система уравнений, определяющих зависимость равновесных параметров двухфазных доменных структур от внешнего поля, имеет вид:

$$\begin{cases} h_x^{(e)} = h_x^{tr} + \alpha[N_{xx} \sin \theta + N_{xz}(2\xi_1 - 1) \cos \theta], \\ h_z^{(e)} = h_z^{tr} + \alpha[N_{zx} \sin \theta + N_{zz}(2\xi_1 - 1) \cos \theta]. \end{cases} \quad (17)$$

При $0 < \kappa < 5$ ($K > 0$) точкам a_1 и a_2 трехкратного вырождения на (h_x, h_z) -диаграммах соответствуют области существования трехфазных доменных структур на $(h_x^{(e)}, h_z^{(e)})$ -диаграммах. Так, например, для точки a_2 получаем из (16), что параметры одной из этих областей задаются уравнениями:

$$\begin{cases} h_x^{(e)} = h_x^{tr} + \alpha[N_{xx}(\xi_1 \sin \theta_0 + \xi_2 + \xi_3 \sin \theta_0) + N_{xz}(\xi_1 \cos \theta_0 - \xi_3 \cos \theta_0)] \\ h_z^{(e)} = h_z^{tr} + \alpha[N_{xz}(\xi_1 \sin \theta_0 + \xi_2 + \xi_3 \sin \theta_0) + N_{zz}(\xi_1 \cos \theta_0 - \xi_3 \cos \theta_0)] , \\ \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1. \end{cases} \quad (18)$$

где h_x^{tr} , h_z^{tr} определяются из (13), а θ_0 – из (15).

Область существования трехфазной доменной структуры представляет собой треугольник, вершины которого имеют координаты:

$$\begin{cases} [2 \sin \theta_0 (2 \cos^2 \theta_0 - 1 + k) + \alpha(N_{xx} \sin \theta_0 + N_{xz} \cos \theta_0); \alpha(N_{xz} \sin \theta_0 + N_{zz} \cos \theta_0)] \\ [2 \sin \theta_0 (2 \cos^2 \theta_0 - 1 + k) + \alpha N_{xx}; \alpha N_{xz}] \\ [2 \sin \theta_0 (2 \cos^2 \theta_0 - 1 + k) + \alpha(N_{xx} \sin \theta_0 - N_{xz} \cos \theta_0); \alpha(N_{xz} \sin \theta_0 - N_{zz} \cos \theta_0)] \end{cases} \quad (19)$$

В вершинах треугольника осуществляется переход в однородное состояние (здесь одно из $\xi_i = 1$, а остальные равны нулю). Стороны треугольника представляют собой границы между трех - и двух - фазными доменными структурами (здесь обращается в нуль одно из ξ_i). Во всей области существования трех - фазной доменной структуры внутреннее поле (13) постоянно и эволюция системы осуществляется только за счет смещения доменных границ (перераспределения долей фаз). Равновесные параметры и границы двухфазных доменных структур в этом случае определяются из уравнения (16) по аналогии с уравнениями (17).

При $\kappa = 0$ в области четырехкратного вырождения внутреннее поле $h^{tr} = 0$, а параметры этой области задаются уравнениями:

$$\begin{cases} h_x^{(e)} = \alpha[N_{xx}(\xi_2 - \xi_4) + N_{xz}(\xi_1 - \xi_3)], \\ h_z^{(e)} = \alpha[N_{zx}(\xi_2 - \xi_4) + N_{zz}(\xi_1 - \xi_3)], \\ \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 = 1. \end{cases} \quad (20)$$

Область существования четырехфазной доменной структуры представляет собой параллелограмм с вершинами:

$$[\alpha N_{xz}; \alpha N_{zz}], [\alpha N_{xx}; \alpha N_{zx}], [-\alpha N_{xz}; -\alpha N_{zz}], [-\alpha N_{xx}; -\alpha N_{zx}], \quad (21)$$

в которых осуществляется переход в однородное состояние. К каждой стороне параллелограмма примыкает область существования двухфазной доменной структуры.

Кривые намагничивания и параметры полидоменных структур

Магнитные фазовые диаграммы являются основой для анализа магнитных состояний в системе и построения кривых намагничивания. Линии лабильности с одной стороны и границы полидоменных состояний с другой определяют два предельных случая эволюции системы во внешнем поле. В абсолютно жесткой магнетике магнитные состояния существуют вплоть до границ их устойчивости. В этом случае линии лабильности отдельных фаз описывают гистерезисные кривые (режим Стоунера-Вольфарта). Напротив, в идеально мягкой магнитной системе в процессе изменения внешнего поля реализуются термодинамически устойчивые состояния. В этом случае в магнетике наблюдается безгистерезисные процессы перестройки полидоменных состояний (термодинамический режим).

На рис. 2 представлены графики соответствующие двум направлениям внешнего поля $h^{(e)} > 0$: ортогонально рис. 2, а и параллельного легкой оси рис. 2, б.

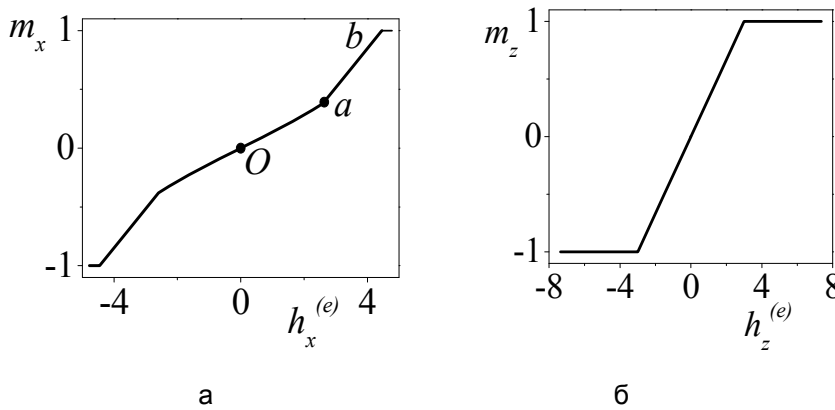


Рис. 2. Кривые намагничивания: а - ортогонально; б - параллельного легкой оси

Магнитные фазовые диаграммы не только устанавливают абсолютные пределы различных режимов намагничивания, но и позволяют анализировать реальные наномангнетики, в которых наблюдаются как процессы гистерезиса, так и полидоменные состояния. Так, например, существование полидоменных состояний и некогерентного спинового вращения наблюдалось в эпитаксиальных пленках NiMn/Co [4] и двойных слоях MnPd/Fe [5].

Литература

1. A.N.Bogdanov, U.K.Rößler, Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 037203;
2. A.N.Bogdanov, U.K. Rößler, et al. J. Magn. Magn. Mater. 238 (2002) 155.
3. I.S.Edelman, Fiz. Met. Metalloved. 20 (1965) 683;
4. A.I.Mitsek, N.P.Kolmakova, D.I.Sirota, Fiz.Met. Metalloved 38 (1974) 35
5. C.-H. Lai et al, Phys. Rev. B 64 (2001) 094420.
6. P.Blomqvist, K.M.Krishnan, E.Girt, J.Appl.Phys. 95 (2004) 8487.

Н.Н.Чурсин

ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЕ УРОКИ КВАНТОВОГО ПРИНЦИПА

Рассматривается значение квантового принципа как принципа познавательной деятельности в познании макромира. Отмечается, что множество важнейших объектов науки, изучаемых на макроуровне, осмысливаются теперь как неклассические, которые следует изучать с позиций квантового подхода. К ним относятся, в частности, мышление, наука как фактор жизнедеятельности человека и др. Квантовый принцип, таким образом, выступает универсальным принципом познания. Ист. 7.

Как известно, у объектов микромира, рассматриваемых с позиций квантовой механики, обнаружались такие свойства, которые совершенно не имеют аналогий в привычном нам мире, прежде всего — это корпускулярно-волновая двойственность, или дуализм элементарных частиц. Движение микрочастиц в пространстве и времени нельзя отождествлять с механическим движением макрообъекта. Например, положение элементарной частицы в пространстве в каждый момент времени не может быть определено с помощью системы координат, как для привычных нам тел окружающего мира. Движение микрочастиц подчиняется законам квантовой механики.

Об абсолютной непригодности законов классической механики в микромире свидетельствует, например, установленное видным немецким физиком Вернером Гейзенбергом соотношение неопределенностей: если известно место положения частицы в пространстве, то остается неизвестным импульс (количество движения), и наоборот. С точки зрения классической механики и просто "здорового смысла", принцип неопределенности представляется абсурдным. Нам трудно представить себе, как это все может быть "на самом деле" [1, с. 113-114].

Появление квантового принципа как принципа научного познания, связанного со способом понимания, трактовки наблюдаемой реальности, утверждало «объективную значимость субъективной позиции» наблюдателя, по крайней мере для определенного класса изучаемых объектов. Признание существования таких объектов не могло не повлечь за собой тенденцию поиска их аналогий не только в микро-, но и в макромире. Сформировался образ «неклассической науки» как той ее части, которая имеет дело с объектами квантовой природы.

И поскольку в макромире, особо интересную часть которого представляет мир живого, действуют те же законы физики, логично считать, что и здесь можно обнаружить квантовые объекты. Правда, в макромире правильнее все же подобные объекты называть неклассическими, поскольку количество зависимых от точки и времени наблюдения параметров здесь необычайно велико. Можно сказать, что «квантовое пространство» здесь неизмеримо больше...

Уже базовые понятия человеческого бытия, такие как мышление или сознание осознаются теперь как неклассические объекты исследования. И не случайно такой их статус отмечается прежде всего философами, чья точка зрения является более общей, чем точка зрения исследователя внутри частной науки — физики или психологии.

Как считает, например, М.Мамардашвили, «...поскольку в измерении живого состояния мысль переплетена с бытием, постольку она неопределима обычным образом. Не может быть дана или получена определением. Она есть нечто, *природа* чего не может быть сообщена определением или через определение усвоена. Когда мысль есть, то мы *находимся внутри* индивида, полнота

которого исключает возможность увидеть его со стороны, через какое-то сравнение или подведение под что-то более общее и т.д. Мысль, повторяю, не есть чистое ментальное состояние, здесь что-то другое. Она есть то, что мы *естественно* мыслим. Следовательно, чтобы знать, что такое мысль и сомнение, нужно самому сомневаться и мыслить. Поэтому я и говорю вслед за Декартом о "живом", невербальном, внутри и в момент акта *существующем*.

Ведь даже понимание в отличие от знания можно определить как момент существования знания, не являющийся элементом его содержания. Если мы вдумаемся в интуицию "понимания", то нам станет ясно, что хотя это и примитивное, но исчерпывающее определение того, что мы имеем в виду, когда говорим: "я понимаю" или "нужно понимать, а не просто уметь правильно говорить"» [2, с. 672].

«Таким образом, — отмечает Ю.А.Шрейдер, — понимание текста или события оказывается встречей с некоторой действительностью, при которой изменяется состояние сознания, а не просто происходит механическое накопление сведений (мнений, фактов, правил, образцов и т.д.) — это все мыслительная деятельность, лишь имитирующая сознание.

...Но если все так, мы сразу же врезаемся в новый теоретический парадокс. Так как акт осознания принципиально невоспроизводим и непредсказуем (ибо он всегда личный и всегда в первый раз), он не может быть описан теоретически. Мало того, он не может быть описан вообще. Так что же, выходит, природа сознания непознаваема?»

Путь к решению этого парадокса предложил физик Семен Данилович Латушкин. Он напомнил эпизод из истории создания теории относительности. Для всех мыслимых тел наблюдатель легко может представить себя движущимся вместе с этим телом, "верхом на нем". Но, пытаясь вообразить себя сидящим верхом на световом луче, Эйнштейн понял, что это невозможно, ибо тогда свет относительно наблюдателя был бы неподвижен и потому перестал бы быть светом. Этот мысленный опыт убедил в невозможности классического описания природы света. И в необходимости неклассического описания этой природы.

Так и с проблемой выявления акта осознания, сказал Латушкин, — "в чистом виде" в классических ситуациях, то есть ситуациях, имеющих логическое решение, отделить акт осознания от использования прежнего опыта, знаний невозможно.

И как когда-то создателям квантовой механики пришлось отказаться от допущения возможности наблюдать траекторию электрона, проходящего через отверстие в экране, так и исследователям сознания необходимо принять постулат о том, что акт осознания не наблюдается в процессе его осуществления. Собственно, и процесса никакого нет (как нет траектории электрона), но есть только акт, существование которого открывается лишь после его совершения» [3].

События, происходящие в истории человечества, наблюдаемые в этой истории тенденции демонстрируют, насколько существенна позиция «человека-исследователя» своей собственной истории (не только на научном уровне, но и на уровне повседневной практики) в определении будущего человека-вида. Удивительно иногда, как воюют между собой сторонники «энергии» или «координаты» в экономике, политике, искусстве.

Сущность возможных «дополнительностей» здесь прекрасно схвачена Ф.Ницше в его высказывании о науке: «Как? Последняя цель науки в том, чтобы доставлять человеку как можно больше удовольствия и как можно меньше неудовольствия! А что, если удовольствие и неудовольствие так тесно связаны

друг с другом, что тот, кто хочет иметь возможно больше первого, должен иметь больше и второго, – что тот, кто хочет преуспеть в "небесном восхищении", должен быть готовым и к "смертной скорби"?» [4, с. 520].

Происходящее в истории иногда можно трактовать как движение в направлении, позволяющем «отслеживать» один из «квантовых параметров», в то время как связанный с ним другой остается вне внимания. Пожалуй, усмотреть в подобных случаях некий целостный неклассический объект исследования – самостоятельная задача научного постижения мира. В частности, последние столетия развития человечества ознаменованы торжеством научного познания, поставленным под сомнение – самими же учеными – только в последние десятилетия. Ученые, кажется, исследуют теперь самые мелкие и самые отдаленные объекты макро- и мегамира, в то же время общечеловеческое знание утратило некоторую целостность, к которой человечество стремилось во все времена. Это стало особенно заметно в переживаемую эпоху, которую философы называют эпохой постмодерна: «человек, которому выпало родиться в эпоху постмодерна, оказался в такой вселенной, смысл которой отличается необыкновенной открытостью, но вместе с тем лишен любого основания» [5, с. 338].

Одна из самых заметных тенденций современности – глобализация – многими рассматривается как безусловно прогрессивная. В частности, снимающая основные барьеры – расстояния и времени – в доступе людей к интересующей их информации, и, следовательно, способная обеспечить ускорение движения информации в мире, повышению уровня знаний и общей активности людей. Однако... «на самом деле она ведет нас к совершенной неподвижности... Чем больше скорость твоего перемещения по миру, чем стремительнее меняются объекты восприятия, тем ограниченнее горизонт охвата и тем меньше проникновения в глубинное существо посещаемых тобою мест. Каждый из нас должен знать меру своей глобализации, дабы не впасть в состояние внутренней неподвижности, когда ты намертво приковываешься к процессу непрерывной смены красивых картинок и уже не можешь отвести взгляд, чтобы переключиться на более существенные вещи. Самое опасное в глобализации — это *immobilité*, незаметный переход от внешней скорости перемещения к абсолютной внутренней неподвижности. Чем человек поверхностней в негативном значении этого слова, тем он более склонен к перемене мест. Чем человек глубже, тем он сильнее привязан к своей земле. Свою меру надо знать [6, с.42]. Глобализация и внутренняя неподвижность – как связанные характеристики, характеризующие квантовые объекты...

Не является ли неклассическим объектом сама модель человеческого знания, имеющая два отчетливых вектора – центробежный, постоянно направленный вовне, за пределы наличного знания, и в последнее время взрыво-подобно расширяющий общечеловеческий тезаурус (одновременно ослабляя внутреннюю целостность, связность знания), и центростремительный, направленный на установление связей между вновь появляющимися элементами знания и сохранение его целостности? По свидетельству Р.Тарнаса, «...современная интеллектуальная деятельность изрядно обременена напряженными противоречиями, неразрешенными трудностями и приводящими в замешательство вопросами. Оказывается, что практические преимущества плюрализма вновь и вновь проигрывают перед натиском упрямых концептуальных расхождений. Невзирая на единство цели, на деле почти не удавалось добиться сплоченности и не виделось никаких средств для появления сколько-нибудь связанного культурного способа видения, объединяющей перспективы, которая оказалась бы достаточно убедительной или объемлющей, чтобы удовлетворить всем интеллектуальным потребностям и устремлениям, расцветшим так буйно и красочно. «В XX веке все в разладе со всем» (Гертруда Стайн). Преобладает

хаос ценных, но, по-видимому, несовместимых друг с другом интерпретаций, а выхода из этого хаоса и в помине нет...

Многие мыслители ставили целью развить такой культурный способ видения, наделенный внутренней глубиной и универсальностью, который, не навязывая априорных ограничений возможному ряду законных интерпретаций, смог бы сложить разбросанные осколки знания в подлинную и связную картину, а также подготовить плодородную почву для «племени младого, незнакомого» грядущих перспектив. Учитывая нынешнее положение, следует признать подобную интеллектуальную задачу почти непосильной: ведь это все равно что подступиться к неподъемному Одиссееву луку противоположностей, чтобы натянуть непослушную тетиву и наугад пустить гулкую стрелу по множеству мишеней, расположенных в невообразимом по сложности лабиринте.

Перед нашим временем неотступно встает главный вопрос: продлится ли нынешнее состояние глубокой метафизической и эпистемологической неопределенности до бесконечности, принимая, быть может, с течением лет и десятилетий более приемлемые или еще более безотрадные формы, является ли оно энтропийной прелюдией к своего рода апокалиптической развязке, истории, или же оно представляет собой эпохальный переход к совершенно новой эре, несущий новую форму цивилизации и новое мировоззрение, принципы и идеалы которых в корне отличны от тех принципов и идеалов, что ранее побуждали современный мир двигаться по его драматичной траектории» [5, с. 347-348].

Человечество, наблюдая свою историю и экстраполируя ее тенденции в будущее, как бы пытается нащупать спасительную точку зрения, позицию наблюдателя, оставляющую шансы на выживание человечества как вида. Квантовый принцип предполагает и - одновременно - требует выбора позиции, который вместе с тем означает и выбор судьбы человечества: содержание наблюдения – будущий мир - зависит от выбора наблюдателя. Не является ли квантовый принцип («нельзя одновременно...»), сформулированный для физики микромира научным доказательством и гораздо более древнего, сформулированного для макромира – мира людей: «Нельзя молиться богу и богатству»? Или последний на самом деле подготовил разум людей и для восприятия и понимания первого?

Итак, следует, наверное, согласиться с В.В.Казютинским, полагающим, что «в свете квантового принципа, его эпистемологических уроков следует попытаться объяснить и всю Вселенную» [7].

Может, в частности, оказаться, что если квантовое пространство микромира составляют координаты энергии и пространства, то в отношении человечества как «неклассического объекта» это пространство можно описать, например, в координатах свободы и ответственности...

Литература

1. Концепции современного естествознания: Сер. Учебники и учебные пособия. – Ростов н/Д: Феникс, 1997. - 448 с.
2. Мамардашвили М.К. Философские чтения. – СПб.: Азбука-классика, 2002. – 832 с.
3. Шрейдер Ю. В поисках сознания //Знание - сила, 1988. - №11. - С.50-54.
4. Ницше Ф. Сочинения. В двух томах: Т.1. - Пер. с нем. - Вступ. статья, составление и примечания К.А.Свасьяна. - М.: "РИПОЛ КЛАССИК", 1988. - 832 с.
5. Гарнас Р. История западного мышления /Пер. с английского Т.А.Азаркевич. - М.: КРОН-ПРЕСС, 1995. - 448 с.
6. Ужас реального. / Т. Горичева, Н. Иванов, Д. Орлов, А. Секацкий. – СПб.: Алтейя, 2003. – 288 с.
7. Казютинский В.В. Понятие реальности в квантовой космологии // Наука: возможности и границы / [Отв. ред. Е.А.Мамчур]. – М.: Наука, 2003. – С. 153-169.

Н.С.Киселев, И.Е.Драгунов, М.Н.Понявин, И.В.Жихарев

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОВЕСНЫХ СОСТОЯНИЙ ПОЛОСОВОЙ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ФЕРРИТОВ

Получено уравнение, описывающее зависимость параметров полосовой доменной структуры ферритов от внешнего магнитного поля. Найдены решения уравнений, описывающих равновесные состояния. Рис. 3. Ист. 5.

Современные устройства записи и хранения цифровой информации на жестких магнитных дисках в основном используют продольный тип записи, когда намагниченность доменов в рабочем слое носителя лежит в плоскости слоя и совпадает с направлением движения записывающей головки (рис. 1, а). Решение задачи об увеличении плотности записи движется параллельно в двух направлениях. Первое ставит целью уменьшить ширину дорожки, а второе – размеры доменов. Добиться уменьшения размеров доменов можно с использованием перпендикулярной записи, когда намагниченность в отдельных доменах направлена перпендикулярно плоскости рабочего слоя носителя (рис. 1, б). По этой причине исследования в области ферромагнитных пленок с легкой осью направленной нормально к поверхности образца, весьма актуальны.

Модель, которой мы пользовались при исследовании полосовой доменной структуры, была разработана Кюи и Энцем [1]. В рамках этой модели рассматривается следующая идеализированная система. Тонкая ферромагнитная пластина толщиной h бесконечная вдоль оси x и y , разбита на чередующиеся полосы, в которых магнитные моменты атомов ориентированы строго перпендикулярно к плоскости пластины вверх или вниз, а доменные границы параллельны плоскости yz (см. рис. 1, б).

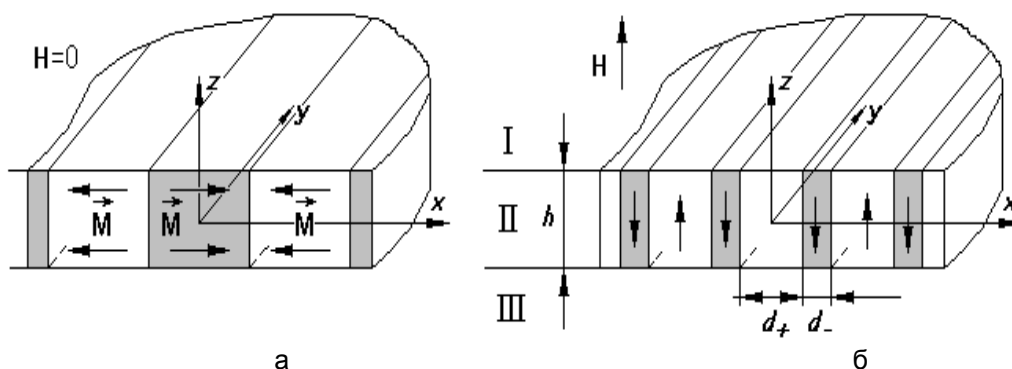


Рис. 1. Полосовые домены с намагниченностью в плоскости пластины (а) и перпендикулярно, вдоль оси z (б). Поле приложено по нормали к поверхности пластины h – толщина пластины, d_+ , d_- – ширина доменов намагниченных по полю и против поля. I, II и III – три области: над пластиной, внутри пластины и ниже пластины соответственно

Введем обозначения:

$$D = d_+ + d_- \text{ – период доменной структуры;}$$

$$d = d_+ - d_- .$$

Полная энергия пластины, приходящаяся на единицу поверхности, равна:

$$w = w_d + w_H + w_M, \quad (1)$$

где w_d – энергия доменных границ, w_H – энергия пластины во внешнем магнитном поле, w_M – магнитостатическая энергия.

Поскольку в ферритах поле анизотропии, как правило, превышает плотность суммарной намагниченности, то границы между доменами можно считать блоховскими и расположенными вдоль оси легкого намагничивания. Кроме того, в слабом магнитном поле, ниже поля перехода в однородное состояние, плотность энергии доменных границ σ практически не зависит от величины внешнего поля. Тогда плотность энергии доменных границ можно записать в виде:

$$w_d = n \int_l h \sigma dl = \frac{2h\sigma}{D}, \quad (2)$$

где n – количество доменных границ, приходящихся на единицу поверхности пластины, σ – поверхностная плотность энергии доменной границы, l – линия вдоль оси y , ограниченная отрезком единичной длины.

Для энергии пластины во внешнем магнитном поле имеем выражение:

$$w_H = - \int_V \mathbf{M} \mathbf{H} dV = - \frac{M_s H h d}{D}. \quad (3)$$

Здесь M_s – намагниченность насыщения, V – объем, ограниченный по оси z высотой образца, по оси y – единичным отрезком, а по оси x – отрезком, равным периоду доменной структуры D .

Внутреннюю магнитостатическую энергию пластины запишем как

$$w_M = - \frac{1}{2} \int_V \mathbf{M} \mathbf{H}_0 dV = - \frac{1}{2 \cdot D \cdot l} \int_V \mathbf{M} \mathbf{H}_0 dV, \quad (4)$$

где \mathbf{H}_0 – напряженность магнитного поля образца.

Намагниченность является функцией положения и в пределах объема пластинки зависит только от координаты x . Разложение $M(x)$ в ряд Фурье имеет вид:

$$M(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi x n}{D}\right), \quad (5)$$

де a_0 и a_n – коэффициенты разложения.

Выражение для напряженности магнитного поля найдем из соотношения:

$$H_0 = \text{grad} \varphi, \quad (6)$$

где φ – магнитостатический потенциал, вид которого можно найти из уравнения:

$$\Delta\varphi = 0. \quad (7)$$

Решения уравнений (6) и (7) в общем виде позволяют получить выражения для напряженности поля пластинки в трех областях I, II и III (см. рис 1, б), $H_z^{(e)up}$, $H_z^{(i)}$ и $H_z^{(e)down}$ соответственно. Поскольку намагниченность вне пластины отсутствует, то, подставив выражение для $H_z^{(i)}$ и $M(x)$ из (5) в уравнение (4), а затем проинтегрировав его по объему, получим выражение для плотности магнитостатической энергии:

$$w_M = \frac{W_M}{D} = \frac{a_0 A_0^{**} h}{4} + \frac{1}{4} \sum_{n=1} a_n A_n^{**} \operatorname{sh} \left(\frac{\pi n h}{D} \right). \quad (8)$$

Здесь A_0^{**} и A_n^{**} – коэффициенты из общего решения уравнений (6) и (7). Значения этих коэффициентов можно найти из условия непрерывности потенциала:

$$\begin{cases} \varphi^i \Big|_{+\frac{h}{2}} = \varphi^e \Big|_{+\frac{h}{2}}; \\ \varphi^i \Big|_{-\frac{h}{2}} = \varphi^e \Big|_{-\frac{h}{2}}; \end{cases} \quad (9)$$

и условия непрерывности тангенциальной составляющей магнитного поля и нормальной составляющей вектора индукции магнитного поля:

$$\begin{cases} H_x^{(e)} = H_x^i; \\ H_z^{(e)} \Big|_{\frac{h}{2}} = \left(H_z^i + 4\pi M \right) \Big|_{\frac{h}{2}}. \end{cases} \quad (10)$$

После подстановки граничных условий и проведения элементарных преобразований плотность магнитостатической энергии запишем в виде [3]:

$$w_M = \frac{d^2 \cdot M_s^2 \cdot h}{D^2} + \frac{4M_s^2 D}{\pi^2} \sum_{n=1} \frac{1}{n^3} \left(1 - (-1)^n \cdot \cos \left(\frac{\pi n d}{D} \right) \right) \left(1 - \exp \left(-\frac{2\pi n h}{D} \right) \right). \quad (11)$$

Используя соотношение $\frac{(m-1)!}{n^m} = \int_0^\infty t^{m-1} e^{-nt} dt$, как это было предложено в [2], сумму в (12) можно свести к интегралам:

$$\begin{aligned} \sum_{n=1} \frac{1}{n^3} \left(1 - (-1)^n \cdot \cos(\pi n z) \right) \left(1 - \exp(-nx) \right) &= \int_0^\infty t^2 \left(\frac{1}{\sinh(t)} - \frac{1}{\sinh(t+x)} \right) dt - \\ - \sin^2 \left(\frac{\pi z}{2} \right) \int_0^\infty t^2 &\left(\frac{\tanh \left(\frac{t}{2} \right)}{\cosh(t) + \cos(\pi z)} - \frac{\tanh \left(\frac{t+x}{2} \right)}{\cosh(t+x) + \cos(\pi z)} \right) dt, \end{aligned} \quad (12)$$

где $z = \frac{d}{D}$, $x = \frac{2\pi h}{D}$.

После замены переменной в (12) и интегрирования по частям выражение для полной энергии пластины, приходящейся на единицу поверхности, имеет вид:

$$w = 2\pi M_s^2 h \left(1 + \frac{2x\lambda}{\pi^2} - \frac{zH}{2M_s} + \frac{2x}{\pi^2} \int_0^1 (t-1) \ln \left[1 + \cos^2(\pi z/2) / \text{sh}^2(xt/2) \right] dt \right), \quad (13)$$

где $\lambda = \sigma / (4M_s^2 h) = \pi l / h$ – безразмерный параметр, l – характеристическая длина.

Уравнения равновесных значений параметров $\partial E / \partial x = 0$ и $\partial E / \partial z = 0$, в результате простых преобразований можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \int_0^1 t \cdot \ln \left[1 + \cos^2(\pi z/2) / \text{sh}^2(xt/2) \right] dt = \lambda, \\ x \cdot \sin(\pi z) \cdot \int_0^1 (1-t) / \text{sinh}^2(xt/2) + \cos^2(\pi z/2) dt = \frac{H}{2M_s}. \end{cases} \quad (14)$$

Численное решение системы уравнений (14) позволяет получить зависимости размера доменов от величины внешнего поля (см. рис. 2). Здесь вертикальные асимптотические линии соответствуют полям перехода в однородное состояние. Как это видно из рис. 2, а, размеры доменов, намагниченных против поля имеют конечные размеры даже при достижении критических значений поля перехода. Кроме того, величина поля перехода возрастает с увеличением толщины пленки. Зависимость размера доменов от толщины пленки при отсутствии внешнего поля представлена на рис. 3.

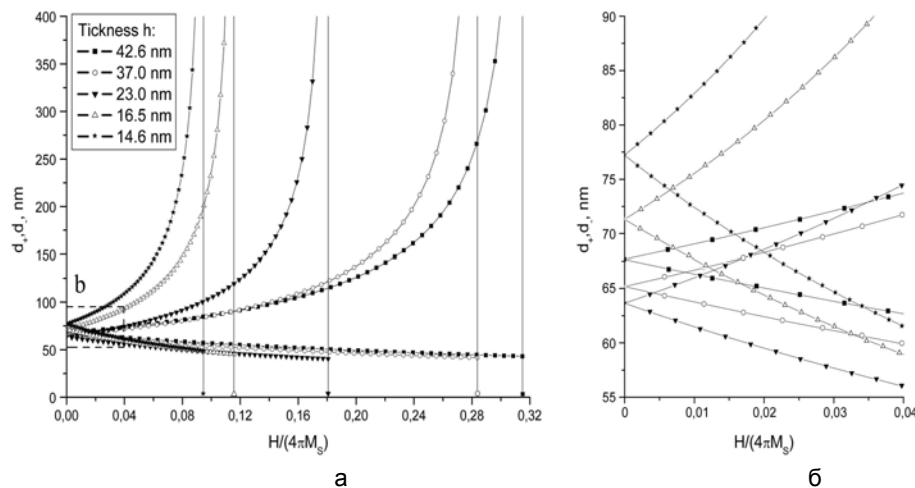


Рис. 2. Зависимость размеров доменов, намагниченных в противоположных направлениях от величины внешнего поля, приложенного перпендикулярно к плоскости пленки. Значения толщин и характеристическая длина материала взяты из [4]

Теоретическая зависимость имеет минимум, положение которого определяется характеристической длиной материала пленки. Положение этого минимума отмечено специальным символом, поскольку в заданном масштабе, выбранном с учетом набора экспериментальных данных, ее положение плохо различимо. Экспериментальные данные по исследованию доменной структуры тонких пленок были взяты из [4].

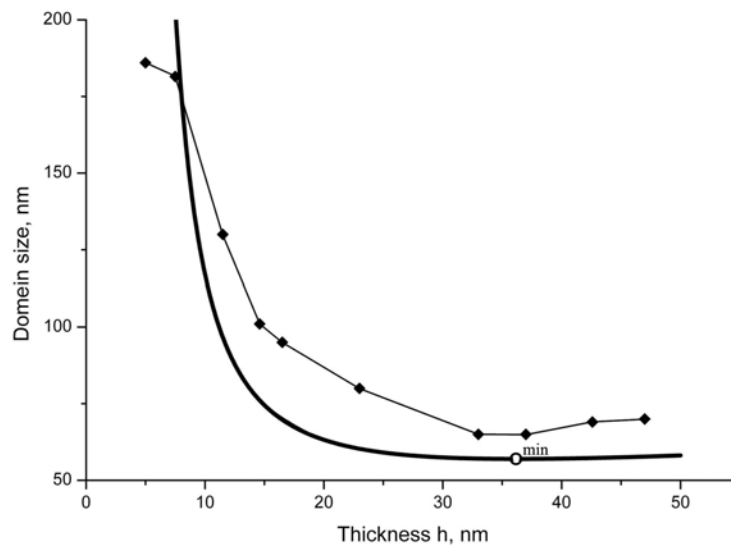


Рис. 3. Зависимость периода доменной структуры от толщины пленки при отсутствии внешнего поля. Сплошная линия – теоретическая зависимость, точки – экспериментальные данные [4]

В этой работе исследовались FePd эпитаксиальные магнитные пленки с характеристической длиной 19 нм. Теоретическая и экспериментальная зависимости хорошо коррелируют. Поскольку в наших расчетах мы не учитываем присутствия дефектов структуры, препятствующих движению доменных границ, теоретическая зависимость дает заниженные значения размеров доменов по сравнению с реальной системой. Однако положение минимумов обеих зависимостей позволяет дать заключение о применимости такого метода расчета равновесных состояний тонких магнитных пленок.

Литература

1. С. Кооу, V. Enz. Phil. Res Rep., 15, 7, (1960).
2. А.Н. Богданов, Д.А. Яблонский ФТТ, т.22, №3, с.680 (1980).
3. Э. Бобек, Э. Дела Торре. Цилиндрические магнитные домены. – М.: Энергия, 1977.
4. V. Gehanno, Y. Samson et al., J. Magn. Magn. Mater. 172, p. 26-40 (1999).
5. R. Hoffmann, Y. Samson et al., J. Magn. Magn. Mater. 192, p. 409-418 (1999).

Ю.С.Денищик

**ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ПОСТРОЕНИИ СПУТНИКОВЫХ
ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ**

Интенсивная разработка лазерных технологий требует использования научного и технического потенциала многих стран мира и создания международных центров координации работ. В данной работе приводятся параметры оптимизации для лазерных локационных станций с целью повышения эффективности их работы. Дается анализ результатов экспериментальных данных зарубежных лидирующих центров лазерной локации, включая NASA, системы SLR и данные Астрономической обсерватории Graz (Австрия). Рис. 3. Табл. 2. Ист. 7.

Оптимальное построение лазерных локационных станций (ЛЛС) привлекало внимание специалистов еще при становлении лазерной локации, как новой области радиофизики, в 60-е годы прошлого столетия. Некоторое оживление интереса к этому вопросу проявилось в 80-х годах, когда в активных элементах передающих устройств ЛЛС гранат начал вытеснять рубин. В конце 90-х годов прошлого столетия появились предложения существенно изменить энергетические соотношения при лазерной локации спутников для облегчения режима работы лазера за счет использования передовых технологий квантовой электроники и быстро развивающихся компьютерных средств обработки информации. В соответствии с этой концепцией NASA США был разработан проект системы «SLR 2000», который был представлен на 11 конференции "ILRS" в Германии в 1998 году. Архив материалов находится по адресу {<http://www.wetzell.ifag.de/veranstaltungen/slr/11thlaserworkshop/>}. Экспериментальная проверка системы «SLR 2000» состоялась в 2004 году. Тогда же на 14-ой конференции "ILRS" в Испании были показаны результаты этой работы вместе с результатами выполнения однотипного проекта в Астрономической обсерватории (АО) Граца (Австрия). Архив материалов находится по адресу {<http://cddis.gsfc.nasa.gov/lw14/index.html>}. Оказалось, что достичь поставленной цели по облегчению режима работы лазера наряду с улучшением важнейших характеристик ЛЛС в полной мере не удалось. К этим важнейшим характеристикам относятся: предельная дальность действия ЛЛС и точность измерения дальности космического объекта (КО), предельная дальность действия характеризует максимальное расстояние до КО, дальность которого еще можно измерить.

Суть концепции системы «SLR 2000» заключается в уменьшении на несколько порядков энергии излучения каждого из зондирующих импульсов передатчика ЛЛС с таким же повышением частоты следования этих импульсов. В теоретическом обосновании [1] данной концепции упор делался на увеличение или сохранение средней мощности лазера по сравнению с тем же параметром хорошо зарекомендовавших себя ЛЛС, например, - серии «MOBLAS». При этом предполагалось, что указанные выше наиболее важные характеристики станции, по крайней мере, не ухудшатся. В том же обосновании [1] влияние шумов аналитически не учитывалось и вероятность ложной тревоги (принятия шума за сигнал) не рассматривалось. Однако здесь надо отметить большие конструктивные и технологические успехи коллектива, создававшего систему «SLR 2000».

В конце 80-х годов прошлого столетия на научных конференциях Латвийского университета (ЛУ) нами отмечалась ведущая роль энергетических характеристик каждого зондирующего импульса передатчика ЛЛС, а не серии их, в

получении высокой эффективности лазерной локации. В наших совместных с АО ЛУ работах по модернизации ЛЛС мы придерживались именно этой концепции, что приводило к успеху. Данные находятся по адресу {http://home.lanet.lv/~iga/satlazla_eng.html}. Позже была предложена методика анализа эффективностей применения ЛЛС различной конфигурации с позиций теории оптимизации. Эта методика является частью работы [2]. В работе [2] также показано, что шумы оказывают сильное влияние на вероятность обнаружения сигналов, отраженных от КО, при малом среднем количестве принимаемых сигнальных фотонов $\bar{N}_s < 1$ за M посылок зондирующего импульса. Это характерно для большинства ЛЛС.

В упомянутой выше методике за основу для рассуждений принималось локационное уравнение, предложенное в [3]:

$$P_t = \frac{4 \pi R^4 P_r \Theta_t^2}{A_e \sigma S_t S_r}, \quad (1)$$

где P_t – импульсная мощность передатчика (лазера) ЛЛС; R – расстояние до КО; P_r – пороговая мощность приема отраженного сигнала; Θ_t – угловая ширина луча передающего телескопа; A_e – площадь апертуры приемного телескопа; σ – эффективная площадь рассеивания КО; S_t – коэффициент пропускания атмосферы; S_r – коэффициент пропускания оптических элементов ЛЛС. Средняя мощность передатчика может быть записана так: $P_a = P_t \tau_{зи} f_{зи} = E_{зи} f_{зи}$. Здесь $\tau_{зи}$ и $f_{зи}$ – соответственно длительность и частота следования зондирующих импульсов передатчика; $E_{зи}$ – энергия его зондирующего импульса, равная энергии E лазера. Заметим, что средняя мощность более характерна для РЛС обзора пространства радиодиапазона, а не импульсных ЛЛС. В лазерных станциях трудно достичь больших значений P_a из-за принципиальных энергетических ограничений твердотельных квантовых генераторов и усилителей.

В выражении (1) пороговая мощность P_r определяет уровень мощности электрического сигнала от фотодетектора, ниже которого этот сигнал не может быть зарегистрирован остальными устройствами ЛЛС. В качестве фотодетекторов обычно применяются фотоэлектронные умножители (ФЭУ). Для квантовых систем в соответствии с [3] имеем:

$$P_r = \frac{(N_s h \nu)}{(\eta \tau_s)}, \quad (2)$$

где N_s – минимальное количество фотонов на входе фотодетектора, достаточное для регистрации остальными устройствами ЛЛС сигнала, отраженного от КО, т.е. – энергетический порог; h – постоянная Планка; ν – частота оптического сигнала; η – квантовая эффективность фотодетектора; τ_s – временной интервал наблюдения сигнала.

Заметим, что в формулу (2) входит отношение $N_s h \nu / \tau_s$, имеющее размерность мощности. В его числителе – энергия фотонов с количеством N_s . В знаменателе – временной интервал τ_s , в течение которого эти фотоны регистрируются. Данный интервал может устанавливаться в электронных устройствах ЛЛС и носит название «временные ворота». Чем этот интервал короче, тем меньше вероятность регистрации фотонов шума от посторонних источников све-

та, но чувствительность приема ниже, т.к. порог P_r - выше, и - наоборот. Входящая в формулу (2) квантовая эффективность $\eta < 1$, поэтому порог P_r регистрации электрических сигналов от фотодетектора выше, чем в идеальном случае - при $\eta = 1$. Значение N_s в формуле (2) - целое число, и для дискретного способа приема может иметь минимальное значение $N_s = 1$. Однако при подсчете упомянутого выше среднего количества пришедших от КО фотонов за M посылок зондирующего импульса передатчика, когда $\bar{N}_s < 1$, можно говорить о чувствительности приемного устройства ЛЛС «в десятые, сотые и т.д. доли фотона», сигнального, пришедшего от КО. Но на значении N_s в формуле (2) это никак не сказывается, оно остается целым и не меньшим, чем $N_s = 1$.

Погрешность измерения дальности КО при любых способах приема отраженного от КО сигнала в первом приближении может быть представлена следующим выражением [4, 5]:

$$\Delta R \approx K_r \frac{\tau_{зи}}{\sqrt{N_s M}}, \quad (3)$$

где $K_r \approx 0,5 \cdot c$; c - скорость света; \bar{N}_s - среднее количество фотонов сигнала в пределах τ_s за M посылок зондирующего импульса, приходящееся на участок движения КО, для которого усредняются результаты измерений при расчетах погрешности. При накоплении результатов отдельных измерений погрешность ΔR может быть уменьшена в \sqrt{M} раз в соответствии с правилами вычисления дисперсии случайной величины, но не становится меньше, чем в 10 раз, как показано в работе [4]. Поэтому для получения объективных сравнительных оценок эффективности применения того или иного варианта построения ЛЛС при больших отличиях по $f_{зи}$ необходимо, прежде всего, рассматривать однократный режим измерений при $M = 1$.

Учитывая упомянутые выше важнейшие характеристики, выберем в соответствии с теорией оптимизации [6] для всех рассматриваемых вариантов построения ЛЛС два показателя качества: предельную дальность действия R_{max} и погрешность измерений дальности ΔR . Эти показатели качества (критерии оптимизации) характеризуют эффективность применения ЛЛС. Чем больше значение R_{max} и чем меньше значение ΔR , тем лучше ЛЛС, и эффективность ее применения выше.

Для первого показателя качества может быть записано следующее выражение, полученное из формулы (1):

$$R_{max} = 4 \sqrt{\frac{P_{tmax} A_e \sigma S_t S_r}{4 \pi P_r \Theta_t^2}}, \quad (4)$$

где P_{tmax} - максимальная импульсная мощность передатчика, соответствующая предельной дальности действия R_{max} .

Второй показатель качества ΔR определяется формулой (3).

Для наглядного численного представления результатов анализа эффективностей применения различных лазеров в ЛЛС введем комплексный показатель качества в виде дроби, который прямо пропорционален предельной дальности дей-

ствия станции R_{\max} и обратно пропорционален относительной погрешности измерений дальности $\Delta R/R_{\max}$. Комплексный показатель качества известен из теории оптимизации [6].

После подстановки (2) в (1) и обоснованных преобразований и допущений, приведенных в работе [2], которые упрощают выражение для комплексного показателя качества, получим:

$$F = \frac{R_{\max}}{\Delta R/R_{\max}} = K \sqrt{\frac{P_{t \max}}{\tau_{\text{зи}}} \cdot \frac{S_t \eta}{\lambda^3}}, \quad (5)$$

где K – постоянный коэффициент для всех рассматриваемых ЛЛС; λ – длина волны излучения лазера, что позволяет применять предложенный метод анализа для разных активных сред.

Комплексный показатель качества (5) в теории оптимизации еще называют целевой функцией. Это название отражает цель анализа – стремление к оптимальности. Чем больше значение F , тем ближе характеристики ЛЛС к оптимальным. При этом предельная дальность действия станции R_{\max} увеличивается и (или) погрешность измерений дальности ΔR – уменьшается.

При выводе формулы (5) для упрощения и наглядности были приняты следующие условия.

КО оснащен уголковыми отражателями, параметры которых неизменны. Предполагалось также, что в ЛЛС изменяются только параметры применяемого лазера. Регистратор и фотодетектор одинаковые для всех рассматриваемых вариантов построения ЛЛС. Телескопы тоже одинаковые. Расходимости излучения лазеров учитывались как дифракционные для всех вариантов построения ЛЛС. Принималось, что $N_s = \bar{N}_s \geq 1$, т.к. рассматривается однократный режим работы ЛЛС при $M = 1$, как указывалось выше. Это означает также, что от КО приходит такое количество фотонов, которое достаточно для регистрации отраженного от КО сигнала. В формуле (2) N_s не может быть меньше единицы.

Вводилось также условие, что $\tau_s \approx \tau_{\text{зи}}$, что в принципе может иметь место. Заметим, что в случае использования одинаковых устройств сравниваемых ЛЛС, кроме лазеров, и одинаковых средств обработки информации, возможности отдельных станций в однократном и частотном режимах работы взаимосвязаны.

Как видно из формулы (5), лучшими будут ЛЛС, которые имеют как можно большие значения $P_{t \max}$ при одинаковых или близких остальных параметрах или минимальные значения $\tau_{\text{зи}}$ при том же условии. В первом случае обеспечивается максимальная дальность действия станции, во втором – минимальная погрешность измерений дальности КО в соответствии с формулой (3). Возможна также одновременная максимизация числителя ($P_{t \max}$) и минимизация знаменателя ($\tau_{\text{зи}}$) первой дроби под корнем. При этом F будет иметь еще большие значения, и ЛЛС будет еще лучше по принятому комплексному критерию оптимизации.

При близких значениях $\tau_{\text{зи}}$ передатчиков ЛЛС можно преобразовать формулу (5) и при анализе ориентироваться на энергию лазерного импульса $E = E_{\text{зи}}$. При этом целевая функция характеризует, в основном, предельную дальность действия ЛЛС при ослабленном отражении ее точности.

$$F' = K \frac{1}{\tau_{\text{зи}}} \sqrt{P_{\text{tmax}} \tau_{\text{зи}} \frac{S_t \eta}{\lambda^3}} = K' \sqrt{E_{\text{зи}} \frac{S_t \eta}{\lambda^3}} \quad (6)$$

Все КО, наблюдаемые ЛЛС, можно условно разделить на три вида: низкие, для них $R_{\text{max}} \leq 5000$ км (например, "AJISAI", "TOPEX"); средние по высоте, для них $5000 \leq R_{\text{max}} \leq 10000$ км (например, "LAGEOS") и высокие, для которых $R_{\text{max}} \geq 10000$ км (например, "GPS", "ЭТАЛОН").

В табл. 1 приведены результаты расчетов значений F по формуле (5). Рассматривались следующие варианты построения системы: ЛЛС с лазером «1», как у SLR 2000; ЛЛС с лазером «2», как в АО Граца; ЛЛС с лазером «3», как в Астрономической обсерватории Львовского национального университета (АО ЛНУ). Лазер «3» близок по параметрам к лазеру системы «MOBLAS».

В табл. 2 показаны результаты расчетов значений F' по формуле (6). Рассматривалась ЛЛС с лазером «4», как в Крымской астрофизической обсерватории и с лазером «1» из таблицы 1. Длительности зондирующих импульсов этих ЛЛС близки, как и средние мощности лазеров при различиях по P_{tmax} и по E около 10^3 .

Все рассматриваемые лазеры выполнены на гранате с удвоением частоты излучения. Коэффициент пропускания атмосферы принимался как $S_t = 0,44$; квантовая эффективность фотодетектора (ФЭУ) принималась как $\eta = 0,3$. Это усредненные данные из нескольких источников. Размерности были опущены, что соответствует правилам теории оптимизации. $E = E_{\text{зи}}$.

Таблица 1

Результаты расчетов значений F по формуле (5), $K = 1$

Тип лазера	λ , мкм	P_{tmax} , МВт	$\tau_{\text{зи}}$, нс	E , Дж	$f_{\text{зи}}$, Гц	P_a , Вт	F
«1»	0,532	0,32	0,42	135×10^{-6}	2×10^3	0,27	0,82
«2»	0,532	40	0,01	400×10^{-6}	2×10^3	0,8	59,5
«3»	0,532	770	0,13	100×10^{-3}	5,0	0,5	72,5

Таблица 2

Результаты расчетов значений F' по формуле (6), $K' = 1$

Тип лазера	λ , мкм	P_{tmax} , МВт	$\tau_{\text{зи}}$, нс	E , Дж	$f_{\text{зи}}$, Гц	P_a , Вт	F'
«4»	0,532	286	0,35	0,1	5,0	0,5	15,9
«1»	0,532	0,32	0,42	135×10^{-6}	2×10^3	0,27	0,53

Из данных табл. 1 видно, что самой низкой эффективностью по F обладает система с лазером «1», как у SLR 2000, наивысшую эффективность имеет ЛЛС с лазером «3», как у "MOBLAS" и ЛЛС АО ЛНУ, промежуточное положение занимает ЛЛС с лазером «2» как у ЛЛС АО Граца. Таблица 2 показывает явное преимущество ЛЛС с лазером «4» над ЛЛС с лазером «1» по показателю F' .

На рис. 1-3 показаны результаты экспериментов, проведенных в США и в Австрии, заимствованные из материалов 14-ой конференции "ILRS" в Испании и подтверждающие правильность результатов выполненного теоретического анализа. На этих рисунках показаны в виде точек отклики от КО и шумы, поступающие на регистратор в виде однофотозлектронных импульсов (ОФЭИ) от фотодетектора. Шкалы по вертикали – расстояния до КО в виде прилегающих к предвычисленному значению увеличенных участков, по горизонтали – текущее время сеансов локации. Видно, что система SLR 2000 с лазером «1» дает четкий

«след» на фоне шумов от низкого спутника «ТОРЕХ» (рис. 1), для средних и высоких спутников получить такой же результат не удалось. ЛЛС АО Граца с лазером «2» дает такой же «след» для среднего по высоте спутника «LAGEOS» (рис.2), а для высокого спутника «GPS» наблюдаются шумы, размывающие изображение «следа», или вообще нет ОФЭИ. По данным авторов и многих конференций, например, [7], ЛЛС с лазерами «3» и «4» уверенно обнаруживают и позволяют наблюдать КО всех трех оговоренных выше видов.

Наиболее точной по дальности оказывается ЛЛС с лазером «2», благодаря минимальному значению $\tau_{3и}$. Это обеспечило ей значение F , немногим меньше, чем у ЛЛС с лазером «3», несмотря на значительно меньшее значение $P_{t\max}$. За счет укороченного зондирующего импульса у ЛЛС с лазером «2» P_t на два порядка выше, чем у ЛЛС с лазером «1». Поэтому уменьшение $\tau_{3и}$ выгодно не только для повышения точности по дальности, но и для увеличения $P_{t\max}$, а значит и предельной дальности действия ЛЛС.

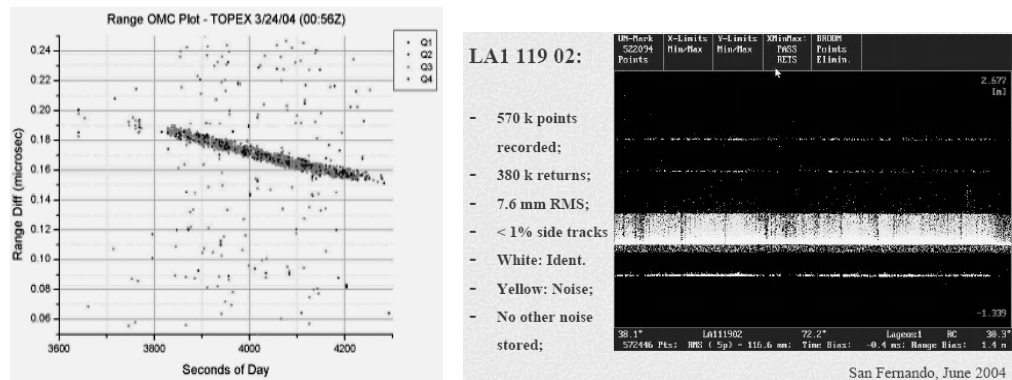


Рис. 1, 2 (слева - направо). Отклики от КО «Торех», «LAGEOS»

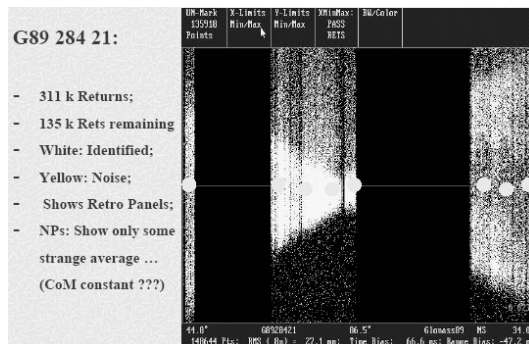


Рис. 3. Изображение для «GPS»

Таким образом, в отличие от концептуального положения проекта SLR 2000, средняя мощность P_a не может являться критерием для оценок эффективности ЛЛС с различными вариантами построения. Преобладающее влияние имеет импульсная мощность P_t , увеличение которой повышает предельную дальность действия R_{\max} и способствует улучшению точности системы по дальности (уменьшению ΔR) в соответствии с формулой (3), когда $\overline{N_s}$ становится больше. Уменьшение длительности зондирующего импульса $\tau_{3и}$ целесообразно в любом случае для увеличения импульсной мощности P_t и для повышения

точности измерений дальности ЛЛС. Увеличение частоты следования зондирующих импульсов $f_{зи}$ полезно для повышения оперативности ЛЛС. Конкретные значения необходимых для ЛЛС параметров передатчика могут устанавливаться путем обобщения опыта эксплуатации существующих систем и учета внутренних и внешних условий функционирования ЛЛС для нахождения соответствующих коэффициентов уравнения (1).

Проиллюстрировать увеличение предельной дальности действия ЛЛС при уменьшении длительности зондирующего импульса передатчика и соответствующем увеличении его импульсной мощности можно следующим образом.

Если взять лампу накаливания, и разрядить на нее за 1 секунду конденсатор с накопленной энергией 1 Дж, то лампа будет гореть с мощностью 1 Вт. Этот свет можно увидеть на близком расстоянии, например, 100 м. За километр этот свет трудно увидеть. А если взять лампу-вспышку и рассеять в ней ту же энергию 1 Дж за 1 мс, то мощность составит 1 кВт. Такой свет можно увидеть на значительно большем расстоянии, чем в первом случае. Это потому, что во втором случае мы имеем большую импульсную мощность – яркость источника света.

Литература

1. Degnan J. United Approach to Photon-Counting Microlaser Rangefinders, Transponder and Altimeters // Geoscience Technology Office, Code 920.3 NASA Goddard Space Flight Center Greenbelt. – MD 20771 USA. – 2001. – С. 431-447.
2. Денищик Ю.С., Дрюченко А.М., Нагай И.В. Лазерная локация спутников // Вестник астрономической школы. – Киев: Издательство национального авиационного университета. – 2002. – Т. 3, № 2. – С. 58-69.
3. Radar Handbook. Editor-In-Chief Merrill I. Skolnik. – McGraw-HILL BOOK Company. – 1970.
4. Гамал К. Состояние и перспективы использования техники лазерной локации ИСЗ // Квантовая электроника. – 1976. – Т. 3. – С. 1158 – 1160.
5. Лазерные измерительные системы / А.С.Батраков, М.М.Бутусов, Г.П.Гречка и др.; под ред. Д.П.Лукьянова. - Москва: Радио и связь. - 1981. - 456 с.
6. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. Москва: Советское радио, 1975. - 368 с.
7. Тезисы научной конференции “Избранные вопросы астрономии и астрофизики”, посвященной памяти Богдана Бабя. – Львов: Издательство львовского национального университета. - 2002. – С. 54 и 118.

УДК 538.245;541.67;548.571.

В.П.Пащенко, А.Г.Сильчева, И.В.Жихарев

**ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ
РЕШЕТКИ И ДЕФЕКТНОСТЬ СТРУКТУРЫ
НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ МАНГАНИТ-ЛАНТАНОВЫХ
ПЕРОВСКИТОВ $La_{0,6}^{3+}A_{0,2}^{2+}Mn_{1,2}O_{3\pm\delta}^{2-}$ (A²⁺: Ca²⁺, Sr²⁺, Pb²⁺)**

Проведено исследование поведения параметра решетки манганит-лантановых оксидов, допированных ионами Sr, Pb и Ca методом высокотемпературного рентгеноструктурного анализа. Обнаружена аномалия поведения параметра решетки исследуемых веществ. Рис. 1. Табл. 2. Ист. 4.

Неослабевающий интерес к редкоземельным манганитам связан с дискуссией природы колоссального магниторезистивного эффекта, наблюдаемого в этих металлооксидах вблизи фазовых переходов «металл-полупровод-

ник» (T_{ms}) и «ферро-парамагнетик» (T_c). Интерес к таким манганитперовскитам стимулирует и реальная перспектива их практического применения. Поскольку магнитные и транспортные свойства этих материалов определяются, в основном, ионами марганца, повышенный интерес вызывают манганит-лантановые перовскиты с «избыточным» сверхстехиометрическим марганцем. С изменениями валентности марганца связана и высокая дефектность перовскитовой структуры, в частности, высокая концентрация вакансий и более сложных мезоскопических дефектов кластерного типа. Поэтому комплексные исследования структуры, резистивных и магнитных свойств, в особенности вблизи фазовых переходов T_{ms} , T_p в манганит-лантановых перовскитах, легированных в А-подрешетке различными двухвалентными катионами и содержащих избыточный марганец, представляются актуальными.

Исследуемые манганит-лантановые перовскиты с избыточным марганцем $La_{0,6}A_{0,2}Mn_{1,2}O_{3\pm\delta}$ (A^{2+} : Ca^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+}) были получены по керамической технологии из соответствующих смесей гидроксида лантана $La(OH)_3$ ($C6_3/m$: $a=6,537 \text{ \AA}$, $c=3,865 \text{ \AA}$), оксида марганца Mn_3O_4 ($I4_1/amd$: $a=5,76 \text{ \AA}$, $c=9,44 \text{ \AA}$), карбонатов $CaCO_3$ ($R\bar{3}c$: $a=4,989 \text{ \AA}$, $c=17,062 \text{ \AA}$), $SrCO_3$ ($Pnma$: $a=5,107 \text{ \AA}$, $b=8,414 \text{ \AA}$, $c=6,029 \text{ \AA}$) и оксида PbO (Pba : $a=5,489 \text{ \AA}$, $b=4,755 \text{ \AA}$, $c=5,891 \text{ \AA}$) марок «ЧДА». Синтезирующий отжиг осуществляли при 900°C (20 ч.), спекание прессовок Ca – при 1150°C (24 ч), Sr – при 1430°C , Pb – при 1250°C с последующим медленным охлаждением.

Исследования проводили, используя рентгеноструктурный метод в Su_{ka} -излучении на установке ДРОН-2 с высокотемпературной и низкотемпературной приставками для определения фазового состава и параметров решетки легированных манганит-лантановых перовскитов в интервале температур 100-1100 К.

Согласно рентгеноструктурным данным, исследуемые нами керамические образцы были практически однофазными с перовскитоподобной структурой. Только в Sr-содержащих образцах обнаружены следы тетрагональной фазы Mn_2O_3 . Параметры решетки a и α перовскитовой структуры при 300 К и температуры фазовых переходов T_{ms} и T_p для образцов трех различных составов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры кристаллической решетки, температуры фазовых переходов керамических образцов

№	Молярный состав	$a, \text{ \AA}$	$\alpha, ^\circ$	$T_{ms}, \text{ K}$	$T_p, \text{ K}$	$T_c, \text{ K}$
1	$La_{0,6}Ca_{0,2}Mn_{1,2}O_3$	3,8352	90°	273	268	280
2	$La_{0,6}Sr_{0,2}Mn_{1,2}O_3$	7,7095	$90,28^\circ$	368	348	360
3	$La_{0,6}Pb_{0,2}Mn_{1,2}O_3$	7,798	$90,16^\circ$	303	320	340

Для Ca-допированного (1) образца перовскитовая структура близка к кубической ($\alpha=90^\circ$) с меньшей элементарной ячейкой.

Для Sr- и Pb-допированных перовскитов характерна ромбоэдрически искаженная ($R\bar{3}c$) структура.

Температурную зависимость параметра кристаллической решетки a в интервале 100-1100 К иллюстрирует рис. 1.

Для первого, Ca-содержащего образца (1), наблюдаются нарушения монотонного характера температурной зависимости $a=f(T)$ в нескольких интервалах: 150-170 К, 180-220 К и 270-280К. Если в последнем интервале аномалию можно объяснить температурами фазовых переходов $T_{ms}=273 \text{ K}$ и $T_c=280 \text{ K}$, то природа нарушения $a=f(T)$ вблизи 160 К и 200 К неясна и, возможно, связана с изменениями электронных состояний ионов марганца.

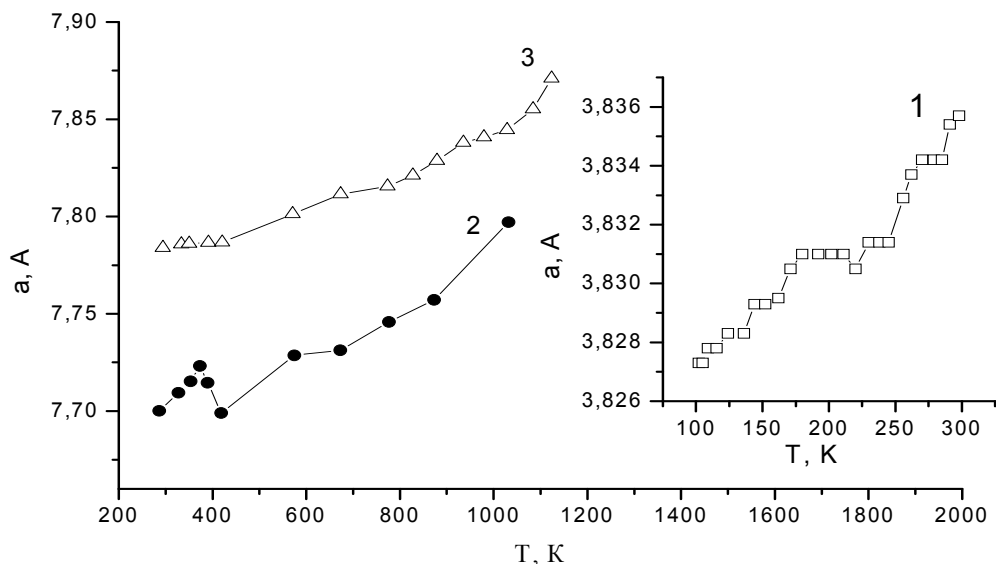


Рис. 1. Температурная зависимость параметра решетки (a) образцов $\text{La}_{0,6}\text{Ca}_{0,2}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ (1), $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,2}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ (2), $\text{La}_{0,6}\text{Pb}_{0,2}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ (3)

Для двух других составов – $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,2}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ (2) и $\text{La}_{0,6}\text{Pb}_{0,2}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ (3) – выше температуры $T_{\text{ms}}=368$ К и 303 К наблюдаются аномалии вблизи температур 375 К и 305 К соответственно. При этих температурах нарушается сравнительно монотонный характер увеличения параметра a, который по сравнению с температурным коэффициентом расширения аномально уменьшается при повышении T на величину $\frac{\Delta a}{a}=0,6\%$. Как было нами ранее и сейчас установ-

лено, вблизи этих температур ромбоэдрическая структура переходит в псевдокубическую. При дальнейшем повышении температуры на температурных зависимостях параметров решетки $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,2}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ (2) и $\text{La}_{0,6}\text{Pb}_{0,2}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ (3) наблюдаются аномалии в районе 950-1000 К и 1150-1200 К соответственно, которые, по-видимому, связаны с изменениями валентности марганца $\text{Mn}^{4+} \rightarrow \text{Mn}^{3+}$ – для первого интервала и $\text{Mn}^{3+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ – для второго. Это согласуется с диаграммой состояния Mn-O. Подобная аномалия в интервале этих температур наблюдается и в температурных зависимостях объема элементарной ячейки $V=f(T)$.

Такие аномалии вблизи T_{ms} и T_c можно объяснить двумя моделями: 1) переходом части ионов марганца из суперпозиции $\text{Mn}^{2+} + \text{Mn}^{4+} \rightarrow 2\text{Mn}^{3+}$; 2) переходом из высокого в низкий спин, вследствие чего образцы переходят из ферро- в парамагнитное состояние, что и происходит вблизи T_c .

Сопоставительный анализ наблюдаемых аномалий в температурных зависимостях параметра a и объема элементарной ячейки V вблизи температур фазовых переходов T_{ms} и T_c с рассчитанными по этим двум моделям показал хорошее согласование для обоих вариантов. В первом случае при этих температурах происходит переход из суперпозиции разновалентных ионов марганца $\text{Mn}^{2+} + \text{Mn}^{4+}$ при соответствующей локализации электронов и дырок вблизи Mn^{2+} и Mn^{4+} в более разупорядоченное состояние с усредненной валентностью 2Mn^{3+} . Вторая модель тоже связана с изменениями электронных состояний ионов марганца, когда происходит переход части Mn^{3+} из высокоспинового в низкоспиновое состояние. Поскольку обе модели хорошо качественно и количественно объясняют наблюдаемые нами фазовые структурные переходы, можно полагать, что они сосуществуют.

Расчеты и сопоставительный анализ мы проводили с учетом дефектности кристаллической решетки, которая содержит одновременно точечные дефекты – катионные ($V^{(c)}$) и анионные ($V^{(a)}$) вакансии и более сложные мезоскопические кластерного типа. Молярная формула такой дефектной перовскитовой структуры, содержащей кластеры с избыточным марганцем, для трех составов приведена в таблице 2.

Таблица 2

Молярные формулы дефектной кластеризованной перовскитовой структуры

№	Молярная формула реальной кластеризованной структуры
1	$\left\{ \text{La}_{0,56}^{3+} \text{Ca}_{0,19}^{2+} V_{0,13}^{(c)} \right\}_A \left[\text{Mn}_{0,70}^{3+} \text{Mn}_{0,26}^{4+} \right]_B \left(\text{Mn}_{0,12}^{2+} \text{Mn}_{0,04}^{4+} \right)_{cl} \text{O}_{2,80}^{2-} V_{0,20}^{(a)}$
2	$\left\{ \text{La}_{0,57}^{3+} \text{Sr}_{0,19}^{2+} V_{0,10}^{(c)} \right\}_A \left[\text{Mn}_{0,67}^{3+} \text{Mn}_{0,20}^{4+} \right]_B \left(\text{Mn}_{0,14}^{2+} \text{Mn}_{0,05}^{4+} \right)_{cl} \text{O}_{2,85}^{2-} V_{0,15}^{(a)}$
3	$\left\{ \text{La}_{0,55}^{3+} \text{Pb}_{0,18}^{2+} V_{0,17}^{(c)} \right\}_A \left[\text{Mn}_{0,72}^{3+} \text{Mn}_{0,25}^{4+} \right]_B \left(\text{Mn}_{0,10}^{2+} \text{Mn}_{0,03}^{4+} \right)_{cl} \text{O}_{2,75}^{2-} V_{0,25}^{(a)}$

Растворимость кластера в матричной перовскитовой структуре возможна лишь при условии некомплектности последней, содержащей катионные и анионные вакансии.

Примечательно то, что ионы марганца Mn^{2+} в кластере делают комплектной вместе с катионными вакансиями А-подрешетку, а Mn^{4+} – В-подрешетку. При этом наличие анионных вакансий вблизи Mn^{2+} изменяет координационное число (к.ч.=12) на к.ч.=8 или 9 для А-позиций, а к.ч.=6 на 5 – для В-позиций. Такая молярная формула более характерна для температуры ниже T_{ms} , переход через которую при повышении температуры сопровождается усреднением валентности ионов марганца и переходом, например, для третьего состава, из суперпозиции $\text{Mn}_{0,10}^{2+} + \text{Mn}_{0,10}^{4+} \rightarrow 2\text{Mn}_{0,20}^{3+}$ с соответствующим уменьшением усредненного

ионного радиуса ($\frac{\Delta r}{r} = 0,7\%$), и как следствие – аномальное уменьшение параметра решетки a , что и наблюдается на эксперименте (см. рис. 1). Вблизи температуры фазовых переходов одновременно может происходить и переход части Mn^{3+} из высокоспинового в низкоспиновое состояние, что приводит к фазовому переходу из ферро- в парамагнетик (T_c) и в полупроводниковый тип проводимости (T_{ms}).

Различия в дефектности структуры Ca-, Sr-, Pb-содержащих манганит-лантановых перовскитов связаны с различиями температур отжига и энергии связи металл-кислород, которая проявляется при термической диссоциации в процессе отжига и приводит к образованию анионных, а при охлаждении – и катионных вакансий. Тогда минимальной энергии связи металл-кислород соответствует максимальная дефектность. Поскольку минимальная энергия связи и температура термической диссоциации из трех исследуемых составов характерна для Pb-содержащих манганитов, для них характерна максимальная концентрация анионных и катионных вакансий при минимальной кластеризации (табл. 2).

На температурных зависимостях параметров перовскитовой структуры, содержащей анионные, катионные вакансии и кластеры, наблюдаются аномалии, которые объяснены изменениями суперпозиции разновалентных состояний ионов марганца и их спиновых состояний, в частности, высокий-низкий спин.

Различия температур фазовых переходов «металл-полупроводник» (T_{ms}), пика магниторезистивного эффекта (T_p) и его величины для Ca-, Sr-, и Pb-содержащих манганит-лантановых перовскитов тоже объяснены величиной межйонной связи, различиями их ионных радиусов и дефектности структуры.

Литература

1. Э.Л.Нараев, УФН, 166: 833 (1996).
2. E. Dagotto et.al. Physics Reports 344, (2001) 1-153.
3. В.П.Пащенко, И.В.Жихарев, В.К.Прокопенко и др. Металлофиз. новейшие технологии, 23, 1309 (2001).
4. В.П.Пащенко, С.И.Харцев, О.П.Черенков и др. Неорган. материалы, 35, 1509 (1999).

УДК 52-626, 528.8.04.6

Ю.С.Денищик, И.В.Нагай

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРОВ ДЛЯ ЛЛС КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Выполнен анализ энергетической эффективности лазеров для спутниковых локационных станций при различных параметрах импульсов накачки. Показана возможность выбора оптимальных режимов накачки активных элементов на примере трехуровневой среды – рубина. Преложена теоретическая модель, позволяющая решить данную задачу без проведения экспериментов. Последние требуют довольно сложных источников питания с регулируемой формой электрических импульсов. Рис. 2. Ист. 10.

Лазерная локация искусственных спутников Земли (ИСЗ) позволяет решать две важнейшие задачи космической навигации и спутниковой геодезии: весьма точное, по сравнению с другими методами, определение координат космических объектов (КО) при известных координатах пунктов размещения лазерных локационных станций (ЛЛС) и такое же точное определение координат этих пунктов при известных координатах КО. Точность определения координат пунктов наблюдений достигает таких величин, что возможно определение смещений элементов земной поверхности под воздействием природных и техногенных факторов, а также слежение за движением полюсов Земли для служб точного всемирного времени.

Исходя из задач, решаемых с помощью ЛЛС в космической навигации и спутниковой геодезии, можно выделить наиболее важные параметры этих станций: предельную дальность действия и точность определения координат КО. Они составляют величины порядка десятков тысяч километров и единиц сантиметров соответственно. Достижение таких точностей и предельных дальностей требует использования субнаносекундных зондирующих импульсов передающих устройств с мощностями в сотни мегаватт и частотами следования в единицы - десятки герц [1]. Это определяет соответствующие требования к параметрам лазеров, используемых в передатчиках ЛЛС.

Лазерные передатчики являются наиболее энергетически нагруженными устройствами ЛЛС, что обуславливает сравнительно низкую надежность всей системы и затрудняет поддержание стабильных параметров зондирующего импульса. Потери энергии в активной среде лазера являются одними из самых значительных, как это следует из теоретических и экспериментальных исследований. Поэтому представляет интерес поиск оптимального по КПД режима работы лазера, при котором эффективность активной среды была бы максимальной. В этом случае возможно уменьшение энергопотребления передатчика ЛЛС с сохранением энергии зондирующего импульса при улучшенной стабильности его параметров. Таким образом может быть повышена надежность станции и увеличена точность определения координат КО. Для того чтобы оценить энергетическую эффективность режима работы лазера, необходимо дать количественную оценку эффективности преобразования энергии накачки в когерентное излучение.

В работе [2] теоретически исследовалось влияние параметров оптического импульса накачки на эффективность преобразования энергии активной среды с учетом люминесценции и ее усиления (суперлюминесценции). Показано, что оптимальные режимы накачки в этом случае отличаются от ранее рекомендованных в работе [3] режимов, когда суперлюминесценция не учитывалась. В работе [4] приведенный в [2] анализ был дополнен ориентированным на применение ЭВМ итерационным алгоритмом, позволяющим учесть взаимное влияние плотности люминесценции и инверсной заселенности энергетических уровней среды в нестационарном режиме, например, при модуляции добротности резонатора. При этом была обоснована необходимость данного учета для активных элементов с характерными для практики габаритами.

В работах [2,4] эффективность преобразования энергии в активной среде исследовалась на примере трехуровневой системы для рубинового стержня при помощи целевой функции φ , достигающей максимума при оптимальной совокупности параметров прямоугольного импульса накачки – приведенной энергии E и относительной длительности $\tau_{и}/T_{21}$, где T_{21} – время жизни частиц на метастабильном уровне. Целевая функция имеет вид дроби, числитель которой пропорционален энергии моноимпульса лазера с модулированной добротностью, а знаменатель – потерям энергии на суперлюминесценцию в течение длительности импульса накачки:

$$\varphi = \frac{(\Delta_0 - \Delta_k) / \Delta_{п}}{\int_{t=0}^{t=\tau_{и}} P_{сл} dt}, \quad (1)$$

где $(\Delta_0 - \Delta_k)$ – значение конечной перенаселенности, которое устанавливается; $\Delta_{п}$ – значение перенаселенности, соответствующее при $t = \tau_{и}$ нестационарному порогу генерации лазера. В формуле (1) приняты следующие обозначения [5,6]:

$\Delta_0 = \left(n_2 - n_1 \frac{g_2}{g_1} \right)_0$ – значение начальной перенаселенности метастабильного

уровня при $t = \tau_{и}$ до излучения моноимпульса;

$\Delta_k = \left(n_2 - n_1 \frac{g_2}{g_1} \right)_k$ – значение конечной перенаселенности, которое устанавливается в активной среде непосредственно после генерации моноимпульса;

$\Delta_{п} = \left(n_2 - n_1 \frac{g_2}{g_1} \right)_{п}$ – значение перенаселенности в момент времени $t = \tau_{и}$ при

режимах накачки, соответствующих нестационарному порогу генерации.

Кратности вырождения уровней g_1 и g_2 полагались равными единице. Величина Δ_k находилась из следующего выражения [5]:

$$\Delta_k = \Delta_0 + \Delta_{п} \ln \frac{\Delta_k}{\Delta_0}.$$

Числитель целевой функции (1) для анализа удобнее представлять соответствующими значениями приведенной перенаселенности, определяемой выражением:

$$\Delta' = \frac{n_2 - n_1}{n} = 2 \frac{n_2}{n} - 1.$$

Подынтегральное выражение целевой функции, обозначенное P_{cl} , представляет собой пропорциональное мощности накачки, затрачиваемой на суперлюминесценцию, безразмерное отношение вероятности перехода, вынужденного люминесценцией, к вероятности спонтанного перехода:

$$P_{cl} = B_{21} \bar{u} / \Delta \nu A_{21}, \quad (2)$$

где B_{21} и A_{21} – коэффициенты Эйнштейна соответственно для вынужденных и спонтанных переходов; $\Delta \nu$ — ширина R_1 — линии рубина; \bar{u} - средняя плотность люминесценции в стержне [7]. Как известно, интенсивность суперлюминесценции примерно на порядок превышает интенсивность неусиленной люминесценции в активных элементах с габаритами, имеющими место на практике [8].

С помощью целевой функции φ возможен выбор режимов накачки, близких к режимам, обеспечивающим максимальный КПД лазера в смысле отношения энергии когерентного излучения к энергии, поглощаемой активным элементом от импульсных ламп. Т. е. в данном случае – это максимальная энергетическая эффективность активной среды без учета тепловыделения в ней. Тепловые потери прямо пропорциональны энергии и длительности импульса накачки и зависят от них практически линейно [9]. Причем, тепловыделение значительно слабее зависит от параметров импульса накачки по сравнению с потерями на суперлюминесценцию, что и определило выбор целевой функции в приведенном виде. При анализе принимались во внимание внутрирезонаторные потери путем введения коэффициента потерь, определяемого выражением $k^{пот} = \Delta_n \chi$, где χ – коэффициент поглощения R_1 – линии [9]. Ввиду того, что в [2, 4] рассматривается процесс накопления частиц на метастабильном уровне, параллельно с расчетами значений φ определяется также кратность превышения начальной перенаселенности над пороговой $K = \Delta_0 / \Delta_n$, характеризующая запасаемую средой энергию.

Чтобы придать описанному в [2,4] теоретическому анализу законченный вид, необходимо ввести в него учет отражения люминесценции от торцов стержня. При реальных значениях коэффициентов отражения r_1, r_2 от торцов стержня вероятность перехода, вынужденного люминесценцией, может быть в 1,5 – 2 раза больше по сравнению со случаем, когда $r_1 = r_2 = 0$ [9]. Поэтому данное дополнение необходимо. Оно позволяет развить основные положения работ [2, 4] и получить теоретическую модель для исследования энергетической эффективности накачки моноимпульсных лазеров, наиболее приемлемую для практического использования. Заметим, что экспериментальный выбор оптимальных режимов накачки требует длительных измерений и расчетов с применением специальной техники формирования импульсов накачки с изменяющимися параметрами.

При $r_1 = r_2 = r$ выражение для средней плотности люминесценции в стержне [7] может быть записано следующим образом:

$$\bar{u} = \frac{A_{21}\Delta v}{B_{21}} a \frac{\chi - k}{k} \left[1 - \frac{(1-r)(1-e^{-kbl})}{kbl(1-re^{-kbl})} \right], \quad (3)$$

где $k = -\chi(2n_2/n - 1)$ – коэффициент поглощения при данной относительной населенности метастабильного уровня n_2/n активной среды; $a \geq 0,24$ – коэффициент, учитывающий что не все излучение, испускаемое единицей объема, идет на пополнение плотности люминесценции; $b \geq 1,28$ – коэффициент, учитывающий увеличение среднего пути потока за счет косых лучей; l – длина стержня. Относительная населенность метастабильного уровня n_2/n активной среды, изменяющаяся во времени t в пределах прямоугольного импульса накачки с приведенной энергией E и с длительностью τ_n , может быть представлена следующим выражением [3]:

$$\frac{n_2}{n} = \frac{E}{E + \frac{\tau_n}{T_{21}}} \left\{ 1 - \exp \left[- \left(E + \frac{\tau_n}{T_{21}} \right) \frac{t}{\tau_n} \right] \right\}, \quad (4)$$

при $0 \leq t \leq \tau_n$; $T_{21} = 1/A_{21}$ – время жизни частиц на метастабильном уровне.

Относительная населенность n_2/n связана с коэффициентом поглощения k и \bar{u} связан со средней плотностью люминесценции \bar{u} следующим образом:

$$\frac{n_2}{n} = \frac{\chi - k}{2\chi} \quad \text{и} \quad k = \frac{k_0}{1 + \alpha u}, \quad (5)$$

откуда

$$kbl = \frac{k_0 bl}{(1 + \alpha u)}, \quad (6)$$

где α – параметр нелинейности; k_0 – максимально возможное (по модулю) значение отрицательного коэффициента поглощения при данной накачке.

Кроме этого, имеют место следующие соотношения [7]:

$$k_0 = -\chi \frac{B_{13}u_{31} - p_{21}}{B_{13}u_{31} + p_{21}}, \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{2B_{21}}{\Delta v} \frac{1}{B_{13}u_{31} + p_{21}}, \quad (8)$$

где $B_{13}u_{31}$ – вероятность поглощения кванта накачки с плотностью u_{31} ; $p_{21} \approx A_{21}$.

Объединив выражения (3) и (6) с учетом формул (7) и (8), получим:

$$kbl = k_0 bl / \left\{ 1 + \frac{\chi + k_0}{\chi} a \frac{\chi - k}{k} \left[1 - \frac{(1-r)}{kbl(1-re^{-kbl})} (1 - e^{-kbl}) \right] \right\} \quad (9)$$

Таким образом, учет отражения люминесценции от торцов стержня при проведении анализа сводится к использованию полученных выражений (3) и (9) соответственно вместо формул (1) и (7) алгоритма, описанного в [3]. При этом

вместо выражения (8) работы [3] следует использовать формулу (2) из настоящей работы, в которую вместо \bar{u} подставлена правая часть выражения (3).

На рис. 1 приведены рассчитанные на компьютере графики зависимостей $\varphi = f(E)$ и $K = f(E)$ для $r_1 = r_2 = 0,076$, т. е. для реальных коэффициентов отражения торцов рубинового стержня. Остальные условия такие же как и для графиков, приведенных в [3]. Пунктиром обозначены графики зависимостей $\varphi' = f(E)$ и $K' = f(E)$, заимствованные из работы [4], где отражение излучения от торцов стержня не учитывалось, для каждого из значений τ_{in}/T_{21} . Видно, что после учета r_1 и r_2 значения φ' уменьшились приблизительно в 2 раза, что соответствует приведенному выше замечанию по поводу увеличения вероятности перехода, вынужденного люминесценцией, входящей в подынтегральное выражение целевой функции. Максимальные значения K' уменьшились примерно во столько же раз. Максимальные значения φ находятся в обратно пропорциональной и близкой к линейной зависимости от длительности импульса накачки. Оптимальные значения E , соответствующие максимальным значениям φ , при увеличении длительности импульса накачки смещаются в область больших значений его энергии. Причем, отношения оптимальных значений E к пороговым значениям (при $K = K' = 1$) составляют величины, существенно меньшие, чем получено в работе [3] без учета люминесценции (около трех).

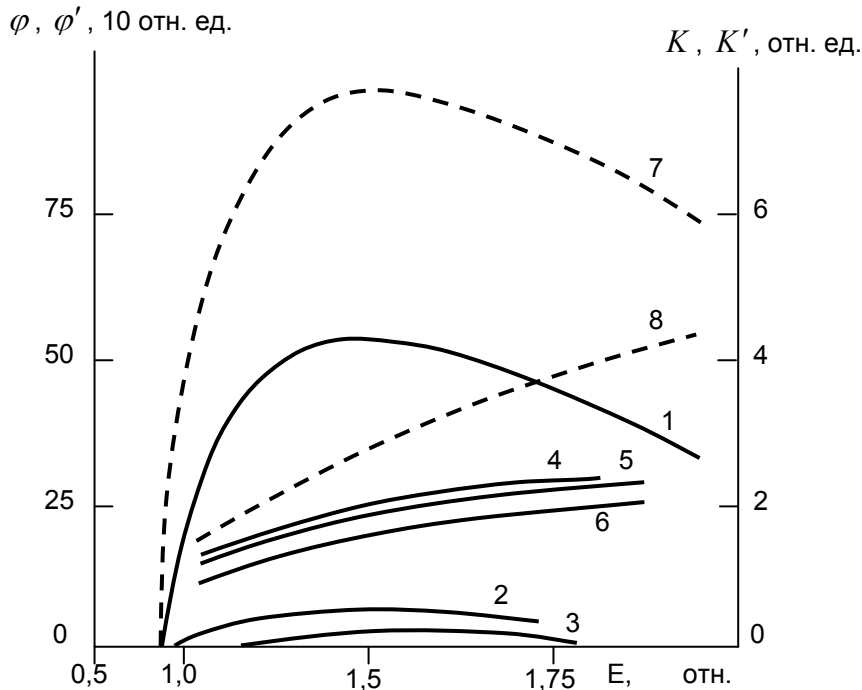


Рис. 1. Зависимости целевой функции φ (1-3) и кратности K (4-6), а также φ (7) и K' (8) от приведенной энергии E накачки с относительной длительностью импульса $\tau_{in}/T_{21} = 0,01$ (1, 4, 7, 8); 0,1 (2, 5); 0,33 (3, 6)

Еще одним отличием от результатов, полученных в [3], является целесообразность уменьшения длительности импульса накачки до значений

$\tau_{и}/T_{21} < 0,3$. Как видно на рис. 1, в этом случае, при сравнительно небольшом увеличении энергии, запасаемой средой, наблюдается существенное возрастание эффективности преобразования энергии накачки.

На рис. 2 приведены графики зависимости $\varphi = f(E)$ при $\tau_{и}/T_{21} = 0,27$ и $\tau_{и}/T_{21} = 0,33$. Расчеты выполнены при $k^{пот} = 0,05 \text{ см}^{-1}$; $\alpha = 0,25$; $bl = 17 \text{ см}$. Заданное значение bl соответствует $l = (11,3 \div 13,3) \text{ см}$ при $1,28 \leq b \leq 1,5$ с пределами из работ [7, 7]. Здесь же отдельными точками показаны результаты эксперимента для рубинового стержня с длиной 12 см и диаметром 8 мм при двух длительностях импульсов накачки $\tau_{из} = 800 \text{ мкс}$ и $\tau_{из} = 1 \text{ мс}$, соответствующих расчетным относительным длительностям $T_{21} = 3 \text{ мс}$. Экспериментальные значения целевой функции φ_3 определялись путем деления энергии моноимпульса W лазера, измеряемой калориметром, на проинтегрированную интенсивность люминесценции стержня от начала накачки до момента включения модулятора добротности [10]. Коэффициент потерь $k_3^{пот}$ приводился в соответствие с заданным при расчетах путем выбора управляющего напряжения, подаваемого на электрооптический модулятор добротности. При построении графиков значения φ и φ_3 приведены через максимальные значения, имеющие место при меньшей длительности импульса накачки. Шкалы для E и E_3 совмещены через значения, соответствующие порогу генерации лазера для импульсов накачки с меньшей длительностью.

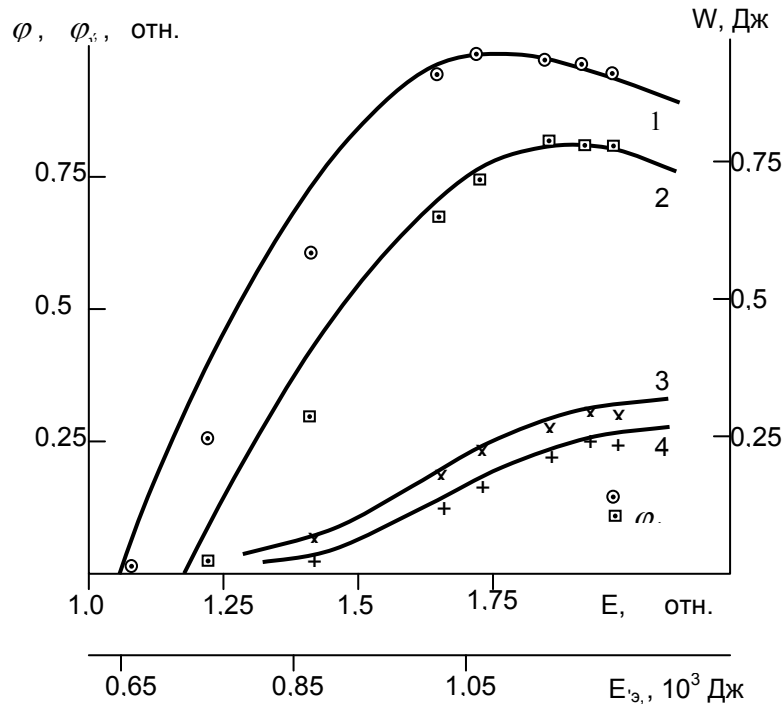


Рис. 2. Теоретические зависимости $\varphi = f(E)$ при $\tau_{и}/T_{21} = 0,27$ (1); $0,33$ (2) Экспериментальные зависимости $\varphi_3 = f(E_3)$ при $\tau_{из} = 800 \text{ мкс}$; 1 мс и $W = f(E_3)$ при $\tau_{из} = 800 \text{ мкс}$ (3); 1 мс (4). E_3 - энергия, запасаемая емкостным накопителем ламповой накачки

На графиках рис. 2 видно, что теоретические и экспериментальные зависимости находятся в хорошем соответствии.

Значения энергии излучения лазера при максимальных значениях φ_3 составили 0,26 Дж для импульса накачки с меньшей длительностью, а с большей – 0,23 Дж. Это подтверждает слабую зависимость запасаемой средой энергии от длительности импульса накачки, как это видно из графиков зависимости $K = f(E)$ рис. 1. Однако, различия в значениях φ , соответствующего КПД активной среды, значительны, как для теоретических результатов, так и для экспериментальных. Физический смысл здесь заключается в том, что достигаются примерно одинаковые уровни инверсной населенности активной среды, но с различными затратами энергии на ее накачку.

Таким образом, предложенная теоретическая модель может быть использована для оценок эффективности преобразования энергии в активных элементах лазеров с модулированной добротностью при выборе оптимальных режимов накачки. Следует отметить, что экспериментальное выделение составляющей КПД активной среды из полного КПД лазера затруднено, поэтому предложенная модель представляется полезной и в этом случае. Она позволяет расчетным путем без особых затрат выбрать наиболее выгодные режимы накачки активных элементов лазеров с модуляцией добротности, используемых в ЛЛС.

Литература

1. Денищик Ю.С., Дрюченко А.М., Нагай И.В. Лазерная локация спутников// Вісник астрономічної школи. – К.: Видавництво Національного авіаційного університету. – 2002. – Т. 3, № 2. – С.58-69.
2. Денищик Ю.С. Об оценке режима накачки на эффективность преобразования энергии в активной среде с учетом усиления люминесценции // Журнал прикладной спектроскопии (реферат). - Минск.. - 1987. – Т.46, №1. – С.164. - Деп. в ВИНТИ, № 6523-В86.
3. Батраков А.С. // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. 12. Общетеχνическая. – 1966. – Вып.2. – С. 125-137.
4. Денищик Ю.С. Учет взаимного влияния инверсной населенности и плотности люминесценции при оценке энергетической эффективности накачки трехуровневой активной среды в нестационарном режиме // Журнал прикладной спектроскопии (ЖПС). – 1989. – Т. 51, № 5. – С. 777-781.
5. Микаэлян А. Л., Тер-Микаэлян М. Л., Турков Ю. Г. Оптические генераторы на твердом теле. – М.: 1967. С. 311.
6. Методы расчета оптических квантовых генераторов / Под ред. Б.И.Степанова. Минск: 1966. - Т.1. - С. 476.
7. Самсон А.М. // ЖПС. – 1965. – Т.2, №3. – С. 232-242. Методы расчета оптических квантовых генераторов / Под ред. Б.И. Степанова. Минск: 1966. – Т.2. – С. 108.
8. Рубинов А.Н. //ЖПС. – 1965. – Т.2, № 6. – С. 495-503.
9. Самсон А.М. // ЖПС. – 1965. – Т.2, №4. – С. 300-306.
10. Васильев И.В., Зверев Г.М., Зиновьев С.В. и др. // ЖПС. – 1979. – Т.30, № 5. – С. 812-815.

ANNOTATIONS

1. Pokintelica N.I., Nikolaenko A.P., Volkov I.V. To the question of increase operational properties of details with the vibrating hardening method on the vibrating 'machine tools // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 6-13.

In the article the analysis of references on the experimental and theoretical researches, devoted to the decision of a problem of increase details' first of all of the complex spatial form from various materials operational properties of was conducted. The reasons of existing inconsistent results and the tasks, which are necessary for a decision on their removal are formulated. Fig. 1. Source. 21.

2. Gedrovich A.I., Zhidkov A.B., Panenko R.N. About a role of harmonics of the high order in reduction of residual stress at aftertreatment with vibration of welded designs // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 13-20.

The hypothesis about low-frequency vibrating handling of welded structures is justified, as about process, at which low-frequency and high-frequency vibrations being harmonics of perturbing action in unison operate. The directions of further development of a master schedule of vibrating handling of welded structures are spotted. Fig. 4. Source. 16.

3. Gut'ko Yu.I., Shalevskaya I.A. The investigation of the problem of increase of wear resistance of coal cleaning equipment moulded pieces // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 20-24.

In the article the analysis of functional investigations of wear resistance of moulded pieces of coal cleaning equipment is given. It is shown that the use of chromium as the basis alloying element in the special alloy for the casting of working wheels of coal pump allows to improve their operating characteristics. Source. 7.

4. Nahaychuk O.V. Choice of criteria of destruction for estimation deformed of purveyances // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 24-28.

Recommendations on the choice of criteria of destruction for determination of values of the used resource of plasticity in the regions of purveyances most near to destruction are given in work. The results of calculations are represented after different criteria for the deformed region of piston in relation to the process of rolling up of pair piston-piston-rod of axial-rotary pump. Source 11.

5. Kasyanov N.A., Rybalchenko A.A. Conditions and problems using of systems of control labor safety on small autorepairing industry // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 28-35.

There is shown necessary of providing industry safety on autorepairing industry and promotion efficacious of control system of labor safety in deed. Source 12.

6. Schvedchikova I.O. Technical parameters of magnetic separators // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 35-39.

The functioning conditions of magnetic separators are defined. The technical parameters of magnetic separators as electromechanical systems are based. Source. 7.

7. Cherednychenko S.P. The analytical calculations of power expenditures and relationship of released energy to expended one at half-cycle of the process of polymorphic transformation of β -tin into γ -tin // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 39-43.

The analytical calculations of power expenditures and relationship of released energy to expended one at half-cycle of the process of polymorphic transformation of β -tin into γ -tin have been examined. Fig. 2. Tab. 5. Source. 4.

8. Alabyev V.P. Analytical solution of the problem of heat-mass exchange when transporting methane-air mixture in pipelines in winter // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 43-52.

Operation of overground gas pipelines transporting mine drainage methane at negative temperatures of ambient air is associated with the danger of ice freezing on inner pipe surfaces

sometimes leading to complete clogging. It is caused by the fact that methane-air mixture (MAM) contains suspended moisture and has 100% relative humidity. That is why to prevent gas pipeline frosting remains an important matter. One way to solve the problem, besides insulation, is determination of gas pipe ultimate length depending on ambient air temperature and MAM thermodynamic parameters. Analytical dependences for estimating gas pipe ultimate length for MAM transportation, both with and without heat insulation, have been received as a result of solving the differential equation of heat convection transfer in a pipe. Fig. 1. Source. 9.

9. Tsirkin A.T., Plahotnaya S.P. Investigation of influence of some factors to the sintering process of parts from copper powder // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 52-56.

The reason of growth of samples from copper powder during sintering explained. The technology of multistage sintering, that ensures manufacturing of high density parts from copper powder, developed. Fig. 3. Source. 6.

10. Rybichev V.D., Kosonogova L.G., Chesnokov A.V. Ascertainment extent of non-uniformity of rotation of a conducting link // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 56-62.

The results of theoretical explorations of a degree of non-uniformity of rotation of a conducting link of a roar are resulted. Fig. 1. Source. 2.

11. Basov G.G., Gedrovich A.I., Tkachenko S.A., Tkachenko A.N. The perspectives of welding of elements of van frames of electric and diesel trains in OSC «Luganskteplovoz» // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 62-69.

In this work the perspectives of welding of heterogeneous steels such as 09Г2С and 10Х13Г18ДУ were analyzed in the conditions of company 'Luganskteplovoz'. Fig. 1. Tab. 1. Source. 24.

12. Zhdanov S.F., Zhdanova M.N. Research of chemical firmness and wearproof of coverage on the basis of polistirol // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 69-73.

Scientific article is dedicated to research of chemical, diffusive, physic and mechanical characteristics of coverage in tensely – the deformed state at presence of tribochemical processes initiated by destruction of polymer. Fig. 1. Tab. 3. Source. 9.

13. Judin V.I., Parfyonova I.N. Information support of an estimation of a financial position of the enterprise by granting to it{him} of the bank credit // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 74-78.

In clause{article} it is described developed according to the concept of creation of system of a rating estimation of subjects of managing integrated in Microsoft Excel the appendix of the analysis of a financial position of the enterprise. Fig. 3. Tab. 1. Source. 4.

14. Kasyanov N.A., Symonova Y.Y., Medyanik V.A., Levchuk I.Y. Features of use of infra-red radiation for heating industrial ooms // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 79-81.

The necessity of research of an opportunity of application of infra-red radiation for heating industrial rooms is shown from the point of view of safety of the workers. Source. 8.

15. Gedrovich A.I., Druz' O.N. Heat Transfer and formation of an active zone at welding in protective gases // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 82-87.

In article the analysis of influence of features of a design of elements for assembly under welding on thermal and mechanical processes in a welding bath and a zone of thermal influence is given. It is established, that with increase of size of the backlash, admitted GOST, for welded metal of the same thickness it is necessary to increase diameter of a welding wire and capacity of a welding arch that results in change of the sizes of a zone of plastic deformations. Tab. 2. Source. 4.

16. Aleksandrov D.V., Aleksandrov V.E., Kozhin V.N. Definition of an optimum corner of submission of a jet powder of fire extinguishing substance in a zone of a flame // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 87-89.

In clause the results of the analysis and experimental researches of search of an optimum direction of submission of fire extinguishing substance are given. Source. 4.

17. Bidash V.I., Senogonova L.I.. Structural anomalies in low-carbon cold-rolled steel // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 89-93.

The cold plastic deformation of steel with roughly differentiated structure of eutectoid in ferrite and carbide creates the raised unsoundness in atomic crystalline structures: forms congestions of dislocations, micro voids, part of carbide dissociates, the carbon passes to dislocations, the chemical heterogeneity of ferritic mould is increases. Heating and the isothermal endurance of such metal at under critical temperatures makes active diffusion mobility of carbon, accelerates balling and coalescence process in carbide, results to an easy carbon deposition in defects of a mould, to development of process of a graphitization at the expense of inflow of atoms of carbon from the dissolved ends of carbide plates.

Responsible for creation of conditions resulting in stressing by an abnormal component - graphite, is modes of hot rolling and refrigeration of metal up to temperature of winding to the roll. Fig. 1. Source. 8.

18. Medinceva J.V., Balitskaya T.Y., Stashkevich A.V., Khmelovskyy T.G. Computer solid-state modelling of geometry of highly loaded hypoid gears // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 93-99.

Stages of development and creations of computer model of highly loaded hypoid gears with the help of a software package of technical three-dimensional modelling Autodesk Inventor Professional 7. are presented. Further possible researches of this model with the help of a package of certainly - element analysis Cosmos DesignStar 4.0. are described. Fig. 7. Tab. 1. Source. 9.

19. Kobanets L.A., Ovcharenko T.L. Innovations development in recreational activity // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 99-104.

Innovations in recreational activity on the example of building the all-year-round roofed aquapark as well as economical attraction and expediency of creation similar projects in Ukraine are analysed in this article. Source. 4.

20. Mikhaylov D.V. Computer modelling of a fire as a way of perfection of fire safety of various objects // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 104-109.

It is shown, that at creation of effective model of a fire it is necessary to use models which would allow to combine a complex of knowledge of object with data about conditions of course and development of a fire. Fig. 1. Source. 11.

21. Grechka V.A., Vorobjov S.G. The results of the radiation activity measurements of by-products from the coalmining enterprises and heat power stations // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 109-111.

The problems of the pollution surrounding environment of the region, hard by-products from the coalmining and coal conversions, containing natural radioactive isotopes is considered. The increasing radiation background in the zone of the ash mould board of the heat station and industrial platform of the mines is observed. We have offered the measures of guarantee of radiation security of the population of the region. Source. 5.

22. Kasyanov N.A., Basov G.G., Mychko A.A., Pitelguzov N.A., Malov V.A. The basic directions of reduction of noisy f loading on the passenger rolling-stock // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 112-116.

In clause the dependences are received, on the basis of which it is recommended to use on the passenger rolling-stock special facings with application resonant soundabsorber. In this case standing waves are not raised and there is a significant reduction of noise penetrating into a cabin of a driver and passenger interior from various sources. Source. 10.

23. Pologovich I.A. A raise of a resource of operation of crushing parts conic vibrational crushers by technological methods // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 117-120.

The outcomes of researches of outwearing of crushing metal parts conic vibrational crushers in a vibrant continuous stream of alternate corpuscles of a loose abrasive crushed ma-

material are reduced and the rational constructive - technological methods of a raise of a between-repairs resource of their operation are offered.

Is shown, that the most effective method of a raise of a resource of operation of crushing parts is the preventive hardening by their surface plastic deformation. Fig. 1. Source. 6.

24. Korsunov K.A., Gavrish V.S., Ashymina H.A. Application of defense coat on the aviation engine blades // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 120-125.

The article consider the questions of application of defense coat on the aviation engine blades. In conditions of State enterprise Ministry of defense of Ukraine "Lougansk aircraft repair works" the analysis of defecting detail was executed in the time of the repair of helicopter engines. Fig. 6. Tab. 1. Source. 8.

25. Denishik Yu.S., Murga V.V. Automation of astronomic supervisions // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 126-129.

In work the possible ways of automation of astronomic supervisions are shown, including the laser-location supervisions of space objects, conducted in a complex with GPS- correction of the got results. Possibility of positioning of telescope from the data got from the video camera of main gid is shown. Fig. 3.

26. Branspiz Yu.A. About problem of physical bases in the theoretical electrical engineering // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 129-134.

It is shown that belittling of role of the physical bases in theoretical electrical engineer as technical science was before the last time by objective process. It is shown also insufficiency also for practical application the known beliefs about electromagnetic phenomena's in concrete electrical device. The physical bases electrical engineers build on base of the modern methods of the description of the microscopic magnetic field it is offered. Source. 17.

27. Denishik Yu.S., Murga V.V., Murga E.V. The collective phenomena in laser medium // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 135-136.

The ways of rise of power efficiency of impulsive lasers at the use of collective effects arising up in the excited active medium are presented. The possible methods of realization of the correlated states of radiative active centers are shown. Estimations on the adaptive mode of excitation and on the changes of parameters of the generated radiation are given. Fig. 2. Source. 3.

28. Golubnichiy P.I., Krutov Yu.M., Reshetnyak D.V. Dynamics of a gas-vapor cavern in liquid under the action of field a short bipolar acoustic pulse // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 139-144.

In the submitted paper the dynamics of the gas-vapor bubble pulsing in a field of short bipolar acoustic pulse of various polarities was analyzed. Thermodynamic conditions and composition gas-vapor mixture in a collapsing bubble were designed within the framework of the model including are heat-mass exchange between the cavern and environmental liquid. Differences in the dynamic of bubble and parameters of gas-vapor mixture at his collapse were fixed and explained for pulses of various polarities. Differences in these parameters for various mixes were fixed and explained too. Fig. 1. Tab. 1. Source. 15.

29. Krasnyakova T.V., Mitchenko S.A., Zhikharev I.V. The X-ray research of the influence of mechanoactivation in different gases on structural properties of K₂PtCl₄ // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 145-147.

The mechanoactivation of crystal substance influence on physical and chemical properties of solid. Process in different gases lead to the redistribution of intensity some X-ray maximums. This indicate to the formation of the nanosized clusters. Fig. 3. Source. 3.

30. Golubnichiy P.I., Gromenko V.M., Semiohina T.S., Snizhko A.P. The spectrums of aftercharge plasma in the water and their analysis // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 147-151.

The spectral data and analysis for definition of the vibration quantum numbers and the energy of aftercharge plasma electron transition formed by the higher voltage charge in the water are represented. Fig. 1. Tab. 2. Source. 4.

31. Sviridov V.V., Radkevich N.A., S.P. Romanchenko N.A. Digital detection in scanning ellipsometry // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 151-155.

With the purpose of increase in the spatial resolution in a design of a scanning ellipsometer a digital camera is applied as a detector. The distribution of intensity of reflected light has been discovered in the area of probing radiation on a sample. The possibility of carrying out research outside surface layers with complex geometry is shown. Fig. 3. Tab. 1. Source. 12.

32. Levko D.S., Ponevchinsky V.V., Lisikov Yu.I. Investigations of the waves, spreading on surfaces of the ocean // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 155-158.

In article was considered the nonlinear waves that are running by the surface of the ocean. The numerical experiment for the study of these waves was performance. Fig. 4. Source. 5.

33. Denishik Yu.S., Denishenko S.B., Murga V.V. Conducting of ecological monitoring on the base of GPS- and laser-location supervisions // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 158-161.

Attention on reasons which cause irreversible changes in a natural environment applies in work. The necessity of conducting of the permanent ecological monitoring allowing in good time to provide nature protection measures is shown. The complex GPS - and laser-location supervisions can become one of instruments of a similar monitoring. Fig. 5.

34. Levko D.S., Lisikov Yu.I. Using the method potential Bargmana to three solitons interaction // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 161-164.

The three solitons interaction with Bargman's potential method. Source. 5.

35. Bukhtiyarova S.V., Zhikharev I.V., Lapteva T.V., Prun A.F. Spin-reorientation phase changes in ferromagnetic nanolayers with a competing anisotropy // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 165-168.

Using of the phenomenological theory was given the phase diagram of spontaneous phase transition in coordinates "field - angle". This phase transition of the first types and the equilibrium states in competing phases is investigated. Line of phase transition of the first types was calculated. Fig. 2. Source. 8.

36. Levko D.S., Lisikov Yu.I. Solution of the non vortices nonlinear equation Shredinger // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 168-173.

In article was considered the solution of the nonlinear Schrödinger equation by quadrature's method. Fig. 3. Source. 8.

37. Dragunov I.E., Bukhtiyarova S.V., Zhikharev I.V. Spin-reorientation phase transitions and domain states in ferromagnetic nanostructures // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 173-180.

The equilibrium parameters of the ferromagnetic nanostructures with domain structures are derived in the field of spontaneous phase first-order transition. The magnetic field-angle-phase diagrams for intrinsic and external field are built. Multidomain structures are explored. Curve of magnetization are built. Fig. 2. Source. 5.

38. Chursin N.N. Epistemological lessons of the quantum principle // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 181-184.

The meaning of a quantum principle as principle of activity in knowledge is considered. It is marked, that set of major objects of a science investigated on macro- level, are comprehended now as not classical, which should be studied from positions of the quantum approach. To them, in particular, thinking, the science as the ability to live of the man etc., are concerning. Quantum principle, thus, acts as a universal principle of knowledge. Source. 7.

39. Kiselev N.S., Dragunov I.E., Ponyavin M.N., Zhikharev I.V. Investigation of equilibrium states stripe domain structure of ferrites // *Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university*, - 2006. - N 6 (100). - P. 185-189.

The equation for dependence of parameters stripe domain structure of ferrites on external magnetic field was obtained. The solution of equilibrium states equations was found. Fig. 3. Source. 5.

40. Denishik Yu.S. About optimum construction the satellite laser location stations // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 190-196.

Intensive development of global technologies has caused of use of scientific and technical potential of many countries of the world and creation of the international centers of coordination of works. The efficiency LLS of various structure from positions of the theory of optimization is considered. For check of results of the analysis experimental data of foreign leading experts are involved. Including - authors of system SLR 2000 NASA and employees of the Astronomical observatory of Graz (Austria). The reasons not full success of realization of concept SLR 2000 are considered and recommendations on optimum construction LLS are given. Fig. 3. Tab. 2. Source. 7.

41. Pachenko V.P., Silcheva A.G., Zhikharev I.V. Temperature dependences of parameters of a lattice and deficiency of structure nonstehiometric lanthanum manganite perovskites $\text{La}_{0.6}^{3+}\text{A}_{0.2}^{2+}\text{Mn}_{1.2}\text{O}_{3\pm\delta}^{2-}$ (A2+: Ca2+, Sr2+, Pb2+) // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 196-200.

The temperature dependence of the lattice parameters in lanthanum manganite oxides doped with strontium, lead and calcium ions has been studied by high-temperature X-ray diffraction. The lattice parameters exhibit anomalous behaviour of researched substances is found out. Fig. 1. Tab. 2.

42. Denishik Yu.S., Nagay I.V. Environment of power descriptions of lasers for a LLS space setting // Visnik of the Vladimir Dal East Ukrainian national university, - 2006. - N 6 (100). - P. 200-206.

The analysis of power efficiency of lasers for the satellite location stations at different parameters of impulses of pumping is executed. Possibility of choice of the optimum modes of pumping of active elements is shown on the example of threelevel environment – ruby. Suggested theoretical model allowing to decide the given task without conducting of experiments. The last require the enough difficult sources of feed with the managed form of electric impulses. Fig. 2. Source. 10.

АНОТАЦІЇ

1. Покінтелиця М.І., Ніколаєнко А.П., Волков І.В. До питання підвищення експлуатаційних властивостей деталей методом вібраційного зміцнення на ВіО-верстатах // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.6-13.

В статті проведений аналіз літературних джерел з експериментальних і теоретичних досліджень, присвячених рішенню задачі підвищення експлуатаційних властивостей деталей в першу чергу складної просторової форми з різних матеріалів. Сформульовані причини існуючих суперечливих результатів і задачі, необхідні для вирішення щодо їхнього усунення. Рис. 1. Дж. 21.

2. Гедрович А.І., Жидков А.Б., Паненко Р.М. Про роль гармонік високого порядку у зниженні залишкових напружень при віброобробці зварних конструкцій // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.13-20.

Обґрунтовано гіпотезу про низькочастотну вібраційну обробку зварених конструкцій, як процес, при якому спільно діють низькочастотні й високочастотні вібрації, що є гармоніками обурюючого впливу. Визначено напрямки подальшого розвитку технічного процесу вібраційної обробки зварених конструкцій. Рис. 4, Дж. 16.

3. Гутько Ю.І., Шалевська І.О. Дослідження питання підвищення зносостійкості литих деталей вуглезнагачувального обладнання // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.20-24.

У статті наведено аналіз функціональних досліджень зносостійкості литих деталей вуглезнагачувального обладнання. Показано, що застосування у якості основного елемента хрому у спецсплаві для виливки робочих коліс вуглесоса дозволяє підвищити їх експлуатаційні характеристики. Дж. 7.

4. Нахайчук О.В. Вибір критеріїв руйнування для оцінки деформованості заготовок // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.24-28.

У роботі дані рекомендації по вибору критеріїв руйнування для визначення значень використаного ресурсу пластичності в областях заготовок, найближчих до руйнування. Представлені результати розрахунків з використанням різних критеріїв для деформуємої області поршня щодо процесу заочухування пари поршень-шатун аксіально-роторного насоса. Джер. 11.

5. Касьянов М.А., Рибальченко О.О. Стан і проблеми використання систем керування охороною праці на малих авторемонтних підприємствах // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.28-35.

Показано необхідність забезпечення безпеки виробництва на авторемонтних підприємствах і підвищення ефективності системи керування охороною праці в цілому. Дж. 12.

6. Шведчикова І.О. Технічні параметри магнітних сепараторів // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.35-39.

Визначено умови функціонування магнітних сепараторів. Обґрунтовано головний та основні технічні параметри магнітних сепараторів як електромеханічних систем. Дж. 7.

7. Чередниченко С.П. Аналітичний розрахунок енергетичних витрат та відношення енергії, що виділилася, до витраченої при напівциклі процесу поліморфного перетворення β-олова при переході у γ-олово // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.39-43.

Наведено аналітичний розрахунок енергетичних витрат та відношення енергії, що виділилася, до витраченої при напівциклі процесу поліморфного перетворення β -олова при переході у γ -олово. Рис. 2. Табл. 5. Дж. 4.

8. Алаб'єв В.Р. Аналітичне розв'язання задачі теплообміну під час транспортування метаноповітряної суміші в трубопроводах у зимовий період року // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.43-52.

Експлуатація надземних газопроводів, що транспортують шахтний дегазаційний метан при негативних температурах атмосферного повітря, пов'язана з небезпекою наможування льоду на внутрішній поверхні труб до їх повної закупорки. Це зумовлено тим, що метаноповітряна суміш (МПС) містить завислу вологу і має стовідсоткову відносну вологість. У зв'язку з цим запобігання обмерзанню газопроводів є актуальним завданням. Одним зі шляхів вирішення проблеми, крім ізоляції, є визначення граничної довжини газопроводів залежно від температури атмосферного повітря і термодинамічних параметрів МПС. У результаті розв'язання диференційного рівняння конвективного переносу теплоти в трубопроводі одержано аналітичні залежності для розрахунку граничної довжини газопроводів для транспортування МПС як з теплоізоляцією, так і без неї. Рис. 1. Дж. 9.

9. Циркін А.Т., Плахотная С.П. Дослідження впливу деяких факторів на процес спікання порошкової міді // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.52-56.

Викладена причина росту пресовок з мідного порошку при спіканні. Розроблена технологія ступеневого спікання, що забезпечує отримання порошкової міді високої щільності. Рис. 3. Дж. 6.

10. Рябічев В.Д., Косоногова Л.Г., Чесноков О.В. Визначення величини нерівномірності обертання провідної ланки грохота // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.56-62.

У статті наведено результати теоретичних досліджень ступеня нерівномірності обертання ведучої ланки грохота. Рис. 1. Дж. 2.

11. Басов Г.Г., Гедрович А.І., Ткаченко С.О., Ткаченко О.М. Перспективи зварювання елементів кузовів вагонів електро- та дизельпоїздів із різнорідних сталей на ОАТ "ХК "Луганськтепловоз" // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.62-69.

В роботі проаналізовано перспективи зварювання різнорідних сталей 09Г2С і 10Х13Г18ДУ в умовах ВАТ "ХК "Луганськтепловоз". Рис. 1. Табл.1. Дж. 24.

12. Жданов С.О., Жданова М.М. Дослідження хімічної стійкості і зносостійкості покриття на основі полістиролу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.69-73.

Досліджено хімічні, дифузійні, фізико-механічні властивості плівок у напружено-деформованому стані за наявності трибохімічних процесів, що ініціюються деструкцією полімеру. Рис. 1. Табл. 3. Дж. 9.

13. Юдін В.І., Парфенова І.М. Інформаційна підтримка оцінки фінансового становища підприємства при наданні йому банківського кредиту // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.74-78.

У статті описано розроблене відповідно до концепції створення системи рейтингової оцінки суб'єктів господарювання інтегроване в Microsoft Excel, додаток аналізу фінансового становища підприємства. Рис. 3. Табл. 1. Дж. 4.

14. Касьянов М.А., Симонова Ю.Ю., Медяник В.О., Левчук І.Ю.. Особливості використання інфрачервоного випромінювання для опалення виробничих приміщень // Вісник

Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.79-81.

Показано необхідність дослідження можливості застосування інфрачервоного випромінювання для опалення виробничих приміщень з точки зору безпеки працівників. Дж. 8.

15. Гедрович А.І., Друзь О.М. Теплопередача та формування активної зони при зварюванні в захисних газах // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.82-87.

У роботі надано аналіз впливу конструктивних особливостей складання елементів під зварювання на термомеханічні процеси в зварювальній ванні і зоні термічного впливу. Установлено, що зі збільшенням зазору, що пускається ДСТ, для зварюваного металу однієї і тієї ж товщини необхідно збільшувати діаметр зварювального дроту і потужність зварювальної дуги, що приводить до зміни розмірів зони пластичних деформацій. Табл. 2. Дж. 4.

16. Александров Д.В., Александров В.Є., Кожин В.М. Визначення оптимального кута подачі струменя порошкової вогнегасної суміші в зону полум'я // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.87-89.

У статті наведені результати аналізу та експериментальних досліджень пошуку оптимального напрямку подачі вогнегасної суміші. Дж. 4.

17. Бідаш В.І., Сеногонова Л.І. Структурні аномалії в низьковуглеродистій холоднокатаній сталі // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.89-93.

Холодна пластична деформація сталі із грубодиференційованою будовою евтектоїда у фериті й цементиті створює підвищену дефектність атомно-кристалічної будови: утворює скупчення дислокацій, мікросуцільностей, частина цементиту дисоціює, вуглець переходить до дислокацій, збільшується хімічна неоднорідність феритної матриці. Нагрівання й ізотермічна витримка такого металу при підкритичних температурах активізує дифузійну рухливість вуглецю, прискорює процес сфероїдизації й коалесценції цементиту, приводить до легкого виділення вуглецю в дефектах матриці, до розвитку процесу графітизації завдяки припливу атомів вуглецю від кінців, що розчиняються, цементит них пластин.

Відповідальними за створення умов, що приводять до виділення аномальної складової - графіту, є режими гарячої прокатки й охолодження металу до температури змотки в рулон. Рис. 1. Дж. 14.

18. Медінцева Ю.В., Галицька Т.Ю., Сташкевич Г.В., Хмеловський Т.Г. Комп'ютерне твердотільне моделювання геометрії високонавантаженої гіпоїдної зубчастої передачі // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.93-99.

Продемонстровано етапи розробки й створення комп'ютерної моделі високонавантаженої гіпоїдної зубчастої передачі за допомогою програмного пакета технічного тривимірного моделювання Autodesk Inventor Professional 7. Описано й показано приклади подальших можливих досліджень цієї моделі за допомогою пакета кінцевоелементного аналізу Cosmos DesignStar 4.0. Рис. 7. Табл. 1. Дж. 9.

19. Кобанец Л. А., Овчаренко Т. Л. Развитие инновационных направлений в рекреационной деятельности // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: изд-во ВНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.99-104.

В статье рассматривается инновационное направление рекреационной деятельности – создание круглогодичных крытых аквапарков, привлекательность и экономическая целесообразность реализации подобных проектов в Украине. Ист. 4.

20. Михайлов Д.В. Комп'ютерне моделювання пожежі як засіб удосконалювання пожежної безпеки різних об'єктів // Вісник Східноукраїнського національного університету

імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.104-109.

Показано, що при створенні ефективної моделі пожежі необхідно використовувати "тандемні" моделі, що дозволяли б комбінувати комплекс знань про об'єкт із даними про умови протікання і розвитку пожежі. Рис. 1. Дж. 11.

21. Гречка В.О., Воробйов С.Г. Результати вимірів радіаційної активності відходів вуглевидобувних підприємств і теплових електростанцій // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.109-111.

Розглядаються проблеми забруднення навколишнього середовища регіону твердими відходами підприємств вуглевидобутку і переробки, що містять природні радіоактивні ізотопи. Відзначається підвищене радіаційне тло в зоні золівідвалів теплових станцій і промислових площадок шахт. Пропонуються заходи для забезпечення радіаційної безпеки населення регіону. Дж. 5.

22. Касьянов М.А., Басов Г.Г., Мичко А.А., Пітельгузов М.А., Малов В.А. Основні напрямки зниження шумового навантаження на пасажирському рухомому складі // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.112-116.

У статті отримані залежності, на основі яких рекомендовано використовувати на пасажирському рухомому складі спеціальні облицювання з застосуванням резонансних звукопоглиначів. У цьому випадку стоячі хвилі не збуджуються і відбувається значне зниження шуму, що проникає в кабінку машиніста і пасажирський салон від різних джерел. Дж. 10.

23. Пологович И.А. Повышение ресурса работы измелчающих деталей конических виброинерционных измелчителей технологическими методами // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во ВНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.117-120.

Приведены результаты исследований изнашивания измелчающих металлических деталей конических виброинерционных измелчителей в вибрирующем сплошном потоке частиц сыпучего абразивного измелчаемого материала и предложены рациональные конструктивно-технологические методы повышения межремонтного ресурса их работы.

Показано, что наиболее эффективным методом повышения ресурса работы измелчающих деталей является профилактическое упрочнение их поверхностной пластической деформацией. Рис. 1. Ист. 6.

24. Корсунов К.А., Гавриш В.С., Ашихміна О.А. Застосування захисних покриттів на лопатках авіаційних двигунів // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.120-125.

У статті розглядають питання, пов'язані із застосуванням захисних покриттів в авіаційному ремонтному виробництві. Виконано аналіз вибірки деталей при ремонті вертолітних двигунів в умовах державного підприємства Міністерства оборони України «Луганський авіаційний ремонтний завод». Рис. 6. Табл. 1. Дж. 8.

25. Денищик Ю.С., Мурга В.В. Автоматизація астрономічних спостережень // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.126-129.

В роботі показано можливі шляхи автоматизації астрономічних спостережень, включаючи лазерно-локаційні спостереження космічних об'єктів, що проводяться в комплексі з GPS- корекцією одержуваних результатів. Показана можливість позиціонування телескопа за даними, одержуваними з відеокамери головного гіда. Рис. 3.

26. Бранспіз Ю.А. До проблеми фізичних основ теоретичної електротехніки // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.129-134.

Показано, що зменшення ролі фізичних основ у теоретичній електротехніці як технічній науці було до останнього часу об'єктивним процесом. Показана також недостат-

ність для практичного застосування відомих уявлень про електромагнітні явища в конкретних електротехнічних пристроях. Пропонується будувати фізичні основи електротехніки на основі сучасних методів опису мікроскопічного магнітного поля. Дж. 17.

27. Денищик Ю.С., Мурга В.В., Мурга Е.В. Колективні явища в лазерних середовищах // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.135-136.

Представлено шляхи підвищення енергетичної ефективності імпульсних лазерів при використуванні колективних ефектів, що виникають в збудженому активному середовищі. Показані можливі методи реалізації корельованих станів випромінюючих активних центрів. Дані оцінки по адаптивному режиму збудження і по змінах параметрів випромінювання, що генерується. Рис. 2. Дж. 3.

28. Голубничий П.І., Крутов Ю.М., Решетняк Д.В. Динаміка парогазової порожнини у рідині в полі короткого біполярного акустичного імпульсу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.139-144.

У роботі проаналізовано динаміку парогазової порожнини, що пульсує в полі короткого біполярного акустичного імпульсу різної полярності. Розраховано термодинамічні умови та склад парогазової суміші у порожнині при колапсі в рамках моделі, що включає тепломасообмін між порожниною та навколишньою рідиною. Встановлені та пояснені розходження в динаміці порожнини і параметрах парогазової суміші в колапсі для імпульсів різної полярності, а також відмінності в цих параметрах для різних сумішей. Рис. 1. Табл. 1. Дж. 15.

29. Краснякова Т.В., Мітченко С.А., Жихарев І.В. Рентгенівські дослідження впливу механоактивації в різних середовищах на структурні властивості K_2PTCL_4 // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.145-147.

Досліджувався вплив механічної обробки кристалічної речовини на фізико-хімічні властивості твердого тіла. У результаті обробки в різних середовищах відбувається перерозподіл інтегральних інтенсивностей ряду рентгенівських максимумів, що свідчать про виникнення нанорозмірних кластерних включень. Рис. 3. Дж. 3.

30. Голубничий П.І., Громенко В.М., Семіохіна Т.С., Сніжко О.П. Спектри післярядної плазми у воді та їх аналіз // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.147-151.

Представлені спектральні дані післярядної плазми, що утворювалась при високовольтному розряді у воді, а також їх аналіз, який дозволив визначити коливальні квантові числа та енергію електронного переходу. Рис. 1. Табл. 2. Дж. 4.

31. Свіридов В.В., Радкевич Н.О., Романченко С.П. Цифрове детектування в скануючій еліпсометрії // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.151-155.

З метою збільшення виборчої здатності в конструкції скануючого еліпсометра як детектор застосована цифрова камера. Виявлено розподіл інтенсивності відбитого світла в площі зондувального випромінювання на зразку. Показано можливість проведення досліджень приповерхніх шарів зі складною геометрією. Рис. 3. Табл. 1. Дж. 12.

32. Левко Д.С., Поневчинський В.В., Лисіков Ю.І. Дослідження хвиль, що поширюються по поверхні океану // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.155-158.

В роботі розглянуті нелінійні хвилі, що поширюються по поверхні океану. Проведено чисельний експеримент по їх вивченню. Рис. 4. Дж. 5.

33. Денищик Ю.С., Денищенко С.Б., Мурга В.В. Проведення екологічного моніторингу на базі GPS- і лазерно-локаційних спостережень // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 6 (100) 2006 Частина 2

нального університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.158-161.

В роботі звертається увага на причини, які приводять до необоротних змін в навколишньому природному середовищі. Показана необхідність проведення постійного екологічного моніторингу, що дозволяє своєчасно забезпечити природоохоронні заходи. Одним з інструментів подібного моніторингу можуть стати комплексні GPS - і лазерно-локаційні спостереження. Рис. 5.

34. Левко Д.С., Лисіков Ю.І. Використання методу потенціалів Баргмана у випадку трисолітонної взаємодії // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.161-164.

В роботі розглянута трисолітонна взаємодія з використанням методу потенціалів Баргмана. Дж. 5.

35. Бухтіярова С.В., Жихарєв І.В., Лаптева Т.В., Прун А.Ф. Спін - переорієнтаційні фазові переходи в феромагнітних наночастицях з конкуруючими анізотропіями // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.165-168.

Використовуючи феноменологічну теорію наведеної магнітної анізотропії, побудована в координатах „поле-кут” фазова діаграма в області спонтанного фазового переходу, що здійснюється як фазовий перехід I роду. Розраховані рівноважні стани в конкуруючих фазах, лінії фазового переходу першого роду. Рис. 2. Дж. 8.

36. Левко Д.С., Лисіков Ю.І. Розв'язання збуреного нелінійного рівняння Шредінгера // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.168-173.

В роботі розглянуто розв'язання нелінійного рівняння Шредінгера методом квадратур. Рис. 3. Дж. 8.

37. Драгунов І.Є., Бухтіярова С.В., Жихарєв І.В. Спін - переорієнтаційні переходи та доменні стани в феромагнітних наноструктурах // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.173-180.

Визначено рівноважні параметри феромагнетика з доменею структурою в області спонтанного фазового переходу I роду. Побудовано фазову діаграму в координатах „поле-кут” для зовнішнього та внутрішнього поля. Проведено дослідження доменної структури для цих випадків. Побудовано криві намагнічування. Рис. 2. Дж. 5.

38. Чурсін М.М. Епістемологічні уроки квантового принципу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.181-184.

Розглядається значення квантового принципу як принципу пізнавальної діяльності в пізнанні макросвіту. Відзначається, що значна кількість найважливіших об'єктів науки, досліджуваних на макрорівні, осмислюються тепер як неklasичні, які варто вивчати з позицій квантового підходу. До них відносяться, зокрема, мислення, наука як фактор життєдіяльності людини та ін. Квантовий принцип, таким чином, виступає універсальним принципом пізнання. Дж. 7.

39. Кисельов М.С., Драгунов І.Є., Понявін М.М., Жихарєв І.В. Дослідження рівноважних станів смугової доменної структури феритів // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.185-189.

Отримано рівняння, яке описує залежність параметрів доменної структури феритів від магнітного поля. Знайдені рішення рівнянь, які описують рівноважні стани. Рис. 3. Дж. 5.

40. Денищик Ю.С. Про оптимальну побудову супутникових лазерних локаційних станцій // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.190-196.

Інтенсивна розробка лазерних технологій вимагає використання наукового і технічного потенціалу багатьох країн світу і створення міжнародних центрів координації робіт. В даній роботі приведено параметри оптимізації для лазерних локаційних станцій з метою підвищення ефективності їх роботи. Дається аналіз результатів експериментальних даних зарубіжних лідируючих центрів лазерної локації, включаючи NASA, системи SLR і дані Астрономічної обсерваторії Graz (Австрія). Рис. 3. Табл. 2. Дж. 7.

41. Пашенко В.П., Сільчева Г.Г., Жихарєв І.В. Температурні залежності параметрів решіток та дефектність структури нестехіометричних манганіт-лантанових перовскитів $\text{La}_{0,6}\text{A}_{0,2}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_{3\pm\delta}$ (A2+: Ca2+, Sr2+, Pb2+) // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.196-200.

Проведено дослідження поведінки параметра решітки манганіт-лантанових оксидів, допованих іонами Sr, Pb и Ca методом високотемпературного рентгеноструктурного аналізу. Виявлено аномалія поведінки параметра решітки досліджуваних зразків. Рис. 1. Табл. 2.

42. Денищик Ю.С., Нагай І.В. Покращення енергетичних характеристик лазерів для ЛЛС космічного призначення // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – № 6 (100). – С.200-206.

Виконано аналіз енергетичної ефективності лазерів для супутникових локаційних станцій при різних параметрах імпульсів накачування. Показана можливість вибору оптимальних режимів накачування активних елементів на прикладі трьохрівневого середовища – рубіна. Запропонована теоретична модель, що дозволяє вирішити дану задачу без проведення експериментів. Останні вимагають досить складних джерел живлення з регульованою формою електричних імпульсів. . Рис. 1. Табл. 2.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

- Алабьев В.Р. - Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности, ученый секретарь, с.н.с., к.т.н.
- Александров В.Е. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности», доц., к.т.н.
- Александров Д.В. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, м.н.с. кафедры «Транспортные технологии».
- Ашихмина Е.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры «Прикладная физика».
- Балицкая Т.Ю. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ассистент кафедры „Прикладная математика”.
- Басов Г.Г. - «ХК «Лугансктепловоз», технический директор, академик ТАУ, к.т.н.
- Бидаш В.И. - Луганский национальный педагогический университет им. Тараса Шевченко, доцент кафедры «Товароведение, коммерческая деятельность и маркетинг», к.т.н.
- Бранспиз Ю.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, зав. кафедрой «Прикладная физика», проф., д.т.н.
- Бухтиярова С.В. - Луганский национальный педагогический университет им. Тараса Шевченко, старший преподаватель кафедры «Физика».
- Волков И.В. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории систем автоматизированного проектирования (НИЛСАПР).
- Воробьев С.Г. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ассистент кафедры «Прикладная физика».
- Гаврыш В.С. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ассистент кафедры «Инженерная графика».
- Гедрович А.И. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, зав. кафедрой «Сварка», проф., д.т.н.
- Голубничий П. И. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, зав. кафедрой «Физика», проф., д.физ.-мат.н.
- Гречка В.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, старший преподаватель кафедры «Гидрометеорология», зам. декана факультета естественных наук
- Громенко В.М. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, старший научный сотрудник кафедры «Физика».
- Гутько Ю.И. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, зав. кафедрой «Художественное и промышленное литье», проф., д.т.н.
- Денищенко С.Б. - Донбасский государственный технический университет, преподаватель кафедры «Охрана труда».
- Денищик Ю.С. - Донбасский государственный технический университет, директор Государственного межвузовского центра лазерно-локационных наблюдений искусственных спутников Земли «Орион».

- Драгунов И.Е. - Донецкий физико-технический институт НАНУ, научный сотрудник отдела Теории магнетизма и фазовых переходов, к.физ.-мат.н.
- Друзь О.Н. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ассистент кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности».
- Жданов С.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доц., к.т.н.
- Жданова М.Н. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Прикладное материаловедение», доц., к.х.н.
- Жидков А.Б. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Сварка», доц., к.т.н.
- Жихарев И.В. - Луганский национальный педагогический университет им. Тараса Шевченко, зав. кафедрой «Физика», доц., к.физ.-мат.н.
- Касьянов Н.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, зав. кафедрой «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности», доц., к.т.н.
- Киселев Н.С. - Луганский национальный педагогический университет им. Тараса Шевченко, ассистент кафедры «Физика».
- Кобанец Л.А. - Донецкий институт туристического бизнеса, старший преподаватель.
- Кожин В.Н. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности», доц., к.т.н.
- Корсунов К.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Прикладная физика», к.т.н.
- Косоногова Л.Г. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, зав. кафедрой «Промышленного транспорта», Антрацитовского филиала горного дела и транспорта, доц., к.т.н.
- Краснякова Т.В. - Луганский национальный педагогический университет им. Тараса Шевченко, ассистент кафедры «Физика».
- Крутов Ю. М. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, старший научный сотрудник кафедры «Физика».
- Лаптева Т.В. - Луганский национальный педагогический университет им. Тараса Шевченко, ассистент.
- Левко Д.С. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, студент.
- Левчук И.Ю. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности».
- Лысиков Ю.И. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Физика», к.физ.-мат.н.
- Малов В.А. - «ХК «Лугансктепловоз», зам. технического директора.
- Мединцева Ю.В. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Финансы», к.т.н.
- Медяник В.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности», доц., к.т.н.

- Митченко С.А. - Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М.Литвиненко, ведущий научный сотрудник отдела исследования электрофильных реакций, доц., д.хим.н.
- Михайлов Д.В. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ассистент кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности».
- Мурга В.В. - Донбасский государственный технический университет, зав. кафедрой «Радиофизика», зам. директора Государственного межвузовского центра лазерно-локационных наблюдений искусственных спутников Земли «Орион».
- Мурга Е. В. - Донбасский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры «Радиофизика».
- Мычко А.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, профессор кафедры «Легкая и пищевая промышленность».
- Нагай И.В. - научный сотрудник ГМЦ «Орион».
- Нахайчук О.В. - Винницкий государственный аграрный университет, доцент, д.т.н.
- Николаенко А.П. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».
- Овчаренко Т.Л. - Донецкий филиал Приватного высшего учебного заведения «Европейский университет», преподаватель.
- Паненко Р.М. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры «Сварка».
- Парфенова И.Н. - Донбасская государственная машиностроительная академия, ассистент кафедры «Компьютерные информационные технологии».
- Пащенко В.П. - Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина НАН Украины, старший научный сотрудник отдела физики дефектных твердых растворов, проф., д.т.н.
- Пительгузов Н.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, профессор кафедры «Охраны труда и безопасности жизнедеятельности», к.т.н.
- Плахотная С.П. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, студент.
- Покинтелица Н.И. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», доц., к.т.н.
- Пологович И.А. - Донбасский государственный технический университет, аспирант.
- Поневчинский В.В. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, студент.
- Понявин М.Н. - Луганский национальный педагогический университет им. Тараса Шевченко, студент.
- Прун А.Ф. - Славянский государственный педагогический университет, доцент кафедры «Физика», к.физ.-мат.н.
- Радкевич Н.А. - Луганский национальный педагогический университет им. Тараса Шевченко, старший лаборант кафедры «Физика».
- Решетняк Д. В. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, младший научный сотрудник кафедры «Физика».

- Романченко С.П. - научный сотрудник ООО «ЕВРОЭНЕРГОТЕХ».
- Рябичев В.Д. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, декан Антрацитовского филиала горного дела и транспорта, доцент кафедры «Горного дела», к.т.н.
- Рыбальченко А.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ассистент кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности».
- Свиридов В.В. - Луганский национальный педагогический университет им. Тараса Шевченко, доцент кафедры «Физика», к.физ.-мат.н.
- Семиохина Т.С. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры «Физика».
- Сеногонова Л.И. - Луганский национальный педагогический университет им. Тараса Шевченко, старший преподаватель кафедры «Товароведение, коммерческая деятельность и маркетинг».
- Сильчева А. Г. - научный сотрудник филиала Донецкого физико-технического института им. А.А.Галкина НАН Украины при Луганском национальном педагогическом университете им. Тараса Шевченко.
- Симонова Ю.Ю. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности».
- Снижко А.П. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, ассистент кафедры «Физика».
- Сташкевич А.В. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, студент.
- Ткаченко А.Н. - «ХК «Лугансктепловоз», главный сварщик, член-кор. ТАУ.
- Ткаченко С.А. - «ХК «Лугансктепловоз», начальник бюро сборочно-сварочных работ.
- Хмеловский Т.Г. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, инженер кафедры «Прикладная математика».
- Цыркин А.Т. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Прикладное материаловедение», доц., к.т.н.
- Чередниченко С.П. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», доц., к.т.н.
- Чесноков А.В. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Технология машиностроения», доц., к.т.н.
- Чурсин Н.Н. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Философия культуры и культурология», к.т.н.
- Шалевская И.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, аспирант кафедры «Художественное и промышленное литье».
- Шведчикова И.А. - Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, доцент кафедры «Приборы», доц., к.т.н.
- Юдин В.И. - Донбасская государственная машиностроительная академия, доцент кафедры «Компьютерные информационные технологии», к.т.н.

ВІСНИК

Східноукраїнського національного університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 6 (100) 2006

Науковий журнал

Частина 2

Відповідальний за випуск
Відповідальний секретар випуску
Технічний секретар випуску
Літературні редактори

Технічний редактор
Коректор
Оригінал-макет

Рей Р.І.
Осенін Ю.І.
Матусевич І.І.
Андропова З.І.
Морозова І.О.
Дроговоз Т.М.
Мартинцева О.О.
Погорєлова Т.В.

Підписано до друку 08.08.2006.

Формат 70 x 108 ¹/₁₆. Папір офсетний. Гарнітура Arial Суг.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. __. Обл. друк. арк. __.
Наклад 300 прим. Вид. №. Замовлення № . Ціна вільна.

Видавництво
Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03р.

Адреса видавництва: 91034, м. Луганськ, кв. Молодіжний, 20 а,
Телефон (0642) 41-34-12. Факс (0642) 41-13-60.
E-mail: uni@snu.edu.ua
