

Электронная версия
<http://www.rae.ru/snt>
12 выпусков в год
Импакт фактор РИНЦ = 0,083

Журнал основан в 2003 г.
ISSN 1812–7320

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР М.Ю. Ледванов

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА Н.Ю. Стукова

Ответственный секретарь М.Н. Бизенкова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.т.н., профессор Антонов Александр Владимирович Обнинск
д.т.н., профессор Беляев Владимир Львович Санкт-Петербург
д.ф.-м.н., профессор Бичурин Мирза Имамович Великий Новгород
д.т.н., профессор Гилёв Анатолий Владимирович Красноярск
д.т.н., профессор Грызлов Владимир Сергеевич Череповец
д.т.н., профессор Захарченко Владимир Дмитриевич Волгоград
д.т.н., профессор Корячкина Светлана Яковлевна Орел
д.т.н., профессор Крупенин Виталий Львович Москва
д.т.н., профессор Литвинова Елена Викторовна Орел
д.т.н., профессор Нестеров Валерий Леонидович Екатеринбург
д.т.н., профессор Пен Роберт Зусьевич Красноярск
д.т.н., профессор Петров Михаил Николаевич Красноярск
д.т.н., профессор Попов Федор Алексеевич Бийск
д.т.н., профессор Пындак Виктор Иванович Волгоград
д.т.н., профессор Салихов Мухаммет Габдулхаевич Йошкар-Ола
д.т.н., профессор Важенин Александр Николаевич Нижний Новгород
д.т.н., профессор Арютов Борис Александрович Нижний Новгород
д.т.н., профессор Гоц Александр Николаевич Владимир
к.ф.-м.н. Капитонова Тамара Афанасьевна Якутск

Учредитель – **Академия Естествознания**
123557, Москва,
ул. Пресненский вал, 28
Свидетельство о регистрации **ПИ № 77-15597**
ISSN 1812–7320

АДРЕС РЕДАКЦИИ
440026, г. Пенза,
ул. Лермонтова, 3
Тел. редакции (8452) 53–41–16
Факс (8452) 47–76–77
E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать 15.10.2013

Формат 60x90 1/8
Типография
ИД «Академия Естествознания»
440000, г. Пенза,
ул. Лермонтова, 3

Технический редактор
Нестерова С.Г.

Усл. печ. л. 22,25
Тираж 1000 экз. Заказ СНТ 2013/11
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки

УМЕНЬШЕНИЕ СЛУЧАЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ОТСЧЕТОВ АЦП МЕТОДОМ УМНОЖЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ <i>Багацкий В.А.</i>	7
ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ-КОНВЕРТОПЛАН-АМФИБИЯ <i>Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.</i>	12
ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ С СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ НА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ <i>Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.</i>	19
ПЕРВЫЙ В ТАГАНРОГЕ. МАЛОРАЗМЕРНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЛАНХ-2000 <i>Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.</i>	27
ТЕСТИРОВАНИЕ КАУПЕРА ГИПЕРЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ АДИАБАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ <i>Гилев В.М., Шпак С.И., Гаркуша В.В., Шакиров С.Р., Яковлев В.В.</i>	34
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУБ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАЗЕМНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГО РЕАГЕНТА <i>Диневич Л.А., Ингель Л.Х., Хаин А.</i>	38
ОЦЕНКА ТРУДОЕМКОСТИ НИОКР: ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ <i>Дурнев Р.А., Жданенко И.В.</i>	46
РАЗВИТИЕ ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ТРУДОЕМКОСТИ НИОКР: ЗАВИСИМОСТЬ ТРУДОЕМКОСТИ ОТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА <i>Дурнев Р.А., Жданенко И.В.</i>	52
ФОРМИРОВАНИЕ И СИМВОЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ ГИБРИДНЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР В 1D ПРОСТРАНСТВЕ <i>Иванов В.В.</i>	61
К ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КАК СТРУКТУРЫ ДИССИПАТИВНОГО ТИПА <i>Игонин В.И.</i>	65
АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ ТЕХНОПАРКА ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО УТИЛИЗАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ <i>Кравченко И.Н., Кочуров В.В., Чернуха А.Л.</i>	70
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ <i>Кравченко И.Н., Сельдяков В.В., Бобряшов Е.М., Пузряков А.Ф.</i>	77
АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧНЫХ ПЛАТФОРМАХ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ <i>Лебедева Е.О., Матузова С.Ю.</i>	81
УМЕНЬШЕНИЕ ПОЖАРООПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ЧЕРЕЗ ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ БОЛОТ <i>Макаренко Г.Л.</i>	86
РАСЧЁТ ЛИНИЙ МАНЕВРИРОВАНИЯ И СЛИЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ГОРОДСКИХ УЛИЦ <i>Маркуц В.М.</i>	92
РАСЧЁТ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ <i>Маркуц В.М.</i>	99
КИНЕТИКА РАЗЛОЖЕНИЯ НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ ФОСФОРИТОВ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ И ПОЛУЧЕНИЕ ДВОЙНОГО СУПЕРФОСФАТА ЦИКЛИЧЕСКИМ СПОСОБОМ <i>Молдабеков Ш.М., Жантасов К.Т., Жанмолдаева Ж.К., Алтыбаев Ж.М., Балабеков О.С., Кобланова О.</i>	107
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ТКАЦКОГО ПРОИЗВОДСТВА В СРЕДЕ MATHCAD <i>Назарова М.В., Бойко С.Ю., Завьялов А.А.</i>	113
АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПНЕВМОСЕПАРАТОРА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИЙ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ <i>Саитов В.Е., Фарафонов В.Г., Суворов А.Н.</i>	116
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНАМИ МЕТАЛЛА <i>Степанов А.Л., Трифионов А.А., Осин Ю.Н., Валеев, В.Ф., Нурждин В.И.</i>	119
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА В РЕАКТОРЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА <i>Щетинин В.С., Бариев Д.Б.</i>	124
Физико-математические науки	
АНАЛОГ ЗАДАЧИ БИЦАДЗЕ-САМАРСКОГО ДЛЯ УРАВНЕНИЯ СМЕШАННОГО ГИПЕРБОЛО-ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ТИПА <i>Абрегов М.Х., Гучаева З.Х.</i>	126
АЛГЕБРА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР И ГЕОМЕТРИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ФОРМУЛ <i>Бескровный И.М.</i>	129
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ ПИФАГОРОВЫХ ТРОЕК <i>Бескровный И.М.</i>	135
ОДНОВРЕМЕННОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ КАТИОНОВ В ТЕТРАЭДРИЧЕСКИХ И ОКТАЭДРИЧЕСКИХ ПОЗИЦИЯХ ШПИНЕЛИ <i>Широков В.Б., Таланов В.М.</i>	143

ТИПЫ АНИОННОГО ПОРЯДКА В КРИСТАЛЛАХ СО СТРУКТУРОЙ <i>Широков В.Б., Таланов В.М.</i>	146
<i>Химические науки</i>	
РЕГЕНЕРАЦИЯ ДЕНДРИТА СВИНЦА В СТУДНЯХ ПОЛИМЕРОВ <i>Хекало Т.В.</i>	149
<i>Медицинские науки</i>	
УКОРОЧЕННЫЙ P-Q, АКЦЕНТЫ ЭКГ ДИАГНОСТИКИ <i>Воробьев Л.В.</i>	152
<i>Геолого-минералогические науки</i>	
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА ФОРМИРОВАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МАТЕРИКЕ <i>Макаренко Г.Л.</i>	157
<i>Педагогические науки</i>	
КУЛЬТУРА ПЕДАГОГИЧЕСКОГО СООБЩЕСТВА КАК СОЦИОКУЛЬТУРНЫЙ КОНТЕКСТ И СРЕДА РАЗВИТИЯ ЛИЧНОСТИ <i>Казарьянц К.Э.</i>	160
<hr/>	
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ</i>	
<i>Физико-математические науки</i>	
ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КЕРАМИК ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ <i>Боркоев Б.М., Жердев А.М., Салиева К.Т., Кыдыралиева А.К.</i>	164
К НОВЫМ ОСНОВАМ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ <i>Брусин С.Д., Брусин Л.Д.</i>	166
<hr/>	
<i>ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ</i>	167
<i>ИНФОРМАЦИЯ ОБ АКАДЕМИИ</i>	176

CONTENTS

Technical sciences	
REDUCTION A RANDOM ERROR COMPONENT ADC BY MULTIPLYING THE PROBABILITY <i>Bagatskiy V.A.</i>	7
AIRCRAFT – THE AMPHIBIOUS TILTROTOR <i>Voronkov Y.S., Voronkov O.Y.</i>	12
AIRCRAFT WITH POWER PLANTS TO SOLAR POWER <i>Voronkov Y.S., Voronkov O.Y.</i>	19
FIRST IN TAGANROG. SMALL-SIZED AIRCRAFTS ECONOMIC USAGE MLANH-2000 <i>Voronkov Y.S., Voronkov O.Y.</i>	27
TESTING OF CAUPER OF A HYPERSONIC WIND TUNNEL OF ADIABATIC COMPRESSION <i>Gilyov V.M., Shpak S.I., Garkusha V.V., Shakirov S.R., Yakovlev V.V.</i>	34
THE USE OF PIPES TO INCREASE THE EFFECTIVENESS OF GROUND-BASED GENERATORS <i>Dinevich L., Ingel L., Khain A.</i>	38
ASSESSMENT OF LABOUR INPUT OF SCIENTIFIC RESEARCHES: INFLUENCE OF INDICATORS OF QUALITY OF SCIENTIFIC RESULTS <i>Durnev R.A., Zhdanenko I.V.</i>	46
APPROACH DEVELOPMENT TO THE ASSESSMENT OF LABOUR INPUT OF SCIENTIFIC RESEARCHES: DEPENDENCE OF LABOUR INPUT ON QUALITY INDICATORS <i>Durnev R.A., Zhdanenko I.V.</i>	52
FORMING AND SYMBOLIC DESCRIPTION OF THE DEDERMINISTIC GIBRID FRACTAL STRUCTURES IN 1D SPACE <i>Ivanov V.V.</i>	61
TO THE THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE HEATING SYSTEM AS PATTERNS DISSIPATION TYPE <i>Igonin V.I.</i>	65
RELEVANCE ESTABLISHMENT OF TECHNOLOGY PARKS ADVANCED TECHNOLOGIES FOR DISPOSAL OF MOTOR VEHICLES <i>Kravchenko I.N., Kochurov V.V., Chernuha A.L.</i>	70
A MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF DEVELOPMENT OF RESIDUAL STRESSES IN THE FORMATION OF PLASMA COATINGS <i>Kravchenko I.N., Seldyakov V.V., Bobryashov E.M., Puzryakov A.F.</i>	77
THE ANALYSIS OF WORKING CONDITIONS AND SECURITY PERSONAL PROTECTION ON OFFSHORE PLATFORMS <i>Lebedeva E.O., Matuzova S.J.</i>	81
REDUCING FIRE DANGER TERRITORIES THROUGH NATURAL RECOVERY OF SWAMPS <i>Makarenko G.L.</i>	86
CALCULATION OF LINES MANOEUVRING AND MERGERS HIGHWAYS AND URBAN STREET <i>Markuts V.M.</i>	92
CALCULATION OF SOIL MOISTURE ACTIVE ZONE <i>Markuts V.M.</i>	99
KINETICS OF DECOMPOSITION OF LOW-QUALITY PHOSPHORITES BY PHOSPHORIC ACID AND PRODUCTION OF DOUBLE SUPERPHOSPHATE BY CYCLIC METHOD <i>Moldabekov S.M., Zhantassov K.T., Zhanmoldayeva Z.K., Altybayev Z.M., Balabekov O.S., Koblanova O.N.</i>	107
AUTOMATED CALCULATION OF THE PRODUCTION PROGRAM OF WEAVING IN MATHCAD <i>Nazarova M.V., Boiko S.Y., Zavialov A.A.</i>	113
URGENCY OF THE DEVELOPMENT OF THE SEPARATOR FOR DIVISION FACTION RUBBER MITE BY AIRSTREAM <i>Saitov V.E., Farafonov V.G., Suvorov A.N.</i>	116
NEW TECHNOLOGY OF POROUS SILICON FORMATION BY METAL ION IMPLANTATION <i>Stepanov A.L., Trifonov, A.A., Osin Y.N., Valeev V.F., Nuzhdin V.I.</i>	119
IMPROVE THE EFFICIENCY OF FLOW REACTOR CATALYTIC REFORMING <i>Schetinin V.S., Bariev D.B.</i>	124
Physical and mathematical sciences	
AN ANALOQUE OF THE BITSADZE-SAMARSKII PROBLEM FOR THE MIXED TUPE HYPERBOLIC-PARABOLIC EQUATION <i>Abregov M.K., Guchaeva Z.K.</i>	126
SYSTEM ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF PYTHAGOREAN TRIPLES <i>Beskrovnyy I.M.</i>	129
SYSTEM ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF PYTHAGOREAN TRIPLES <i>Beskrovnyy I.M.</i>	135
SIMULTANEOUS CATION ORDERING IN SPINEL TETRAHEDRAL AND OCTAHEDRAL POSITIONS <i>Shirokov V.B., Talanov V.M.</i>	143
TYPES OF ANION ORDER IN CRYSTAL WITH SPINEL STRUCTURE <i>Shirokov V.B., Talanov V.M.</i>	146
Chemical sciences	
REGENERATION DENDRITE LEAD IN JELLIES POLYMERS <i>Khekalov T.V.</i>	149

Medical sciences

SHORTENING OF THE PQ, ACCENTS ECG DIAGNOSTICS

Vorobejv L.V.

152

Geological and mineralogical sciences

THE INFLUENCE OF CLIMATE ON THE FORMATION AND DISTRIBUTION OF NATURAL SITES ON THE MAINLAND

Makarenko G.L.

157

Pedagogical sciences

PEDAGOGICAL COMMUNITY CULTURE AS A SOCIO-CULTURAL CONTEXT AND OF PERSONAL DEVELOPMENT ENVIRONMENT

Kazaryants K.E.

160

УДК 681.325.3-004.388

УМЕНЬШЕНИЕ СЛУЧАЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ОТСЧЕТОВ АЦП МЕТОДОМ УМНОЖЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Багацкий В.А.*Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, e-mail: bagatskijva@rambler.ru*

Предложено выполнять фильтрацию случайной составляющей погрешности отсчетов АЦП методом умножения вероятностей, который реализован с помощью операций сравнения на равенство значений отсчетов, следующих подряд один за другим. Приведены результаты применения метода для уменьшения случайной составляющей погрешностей, полученных при преобразовании аналоговых сигналов двумя образцами аналого-цифровых преобразователей.

Ключевые слова: Случайные погрешности, отсчеты, аналого-цифровые преобразователи

REDUCTION A RANDOM ERROR COMPONENT ADC BY MULTIPLYING THE PROBABILITY

Bagatskiy V.A.*Glushkov Institute of Cybernetic of NAS of Ukraine, Kyiv, e-mail: bagatskijva@rambler.ru*

Proposed the filtration the random part of the error of ADC by multiplying the probabilities, which is implemented by the operations of coincidence of counts, that are equal and follows one by one. The results of applying the method used to reduce the random component of the errors obtained by converting analog signals by using the two analog-digital converters are contained in this article.

Keywords: Random error, counts, analog-to-digital converters

Типичной задачей обработки сигналов является фильтрация, т.е. уменьшение случайной составляющей, наложенной на детерминированный сигнал. В основе разных методов фильтрации лежит один принцип – накопление сигнала. Накопление может производиться на различных этапах обработки.

Известны структуры преобразователей [2, 3], где обработка выполняется на уровне получения каждого разряда выходного кода АЦП, т.е. производится подсчет количества единичных и нулевых выходных сигналов компаратора при постоянном входном сигнале, и решение о значении разряда выходного кода принимается по большинству выходных сигналов компаратора. В современных интегральных схемах АЦП этот алгоритм не используется.

Широко применяются также процедуры временного и пространственного усреднения [4] на этапе получения отсчета. Общие-принятые методы цифровой фильтрации [3] предполагают накопление группы отсчетов, а затем выполнения обработки на уровне группы отсчетов.

Обработка по усреднению и фильтрации ведется на программном уровне со всеми вытекающими из этого достоинствами и недостатками.

К достоинствам относятся универсальность, возможность развития методов обра-

ботки за счет совершенствования программ, а к недостаткам – большие аппаратные затраты, низкое быстродействие, большие затраты на разработку программного обеспечения. Если группу отсчетов целесообразно обрабатывать программно, то усреднение на уровне получения одного отсчета еще возможно выполнять на аппаратном уровне.

Цель работы. Целью работы является теоретическое и экспериментальное исследования метода уменьшения случайной составляющей погрешности отсчетов АЦП с минимальным количеством операций, а именно метода умножения вероятностей.

Теоретическая модель фильтрации. Предположим, что есть ряд отсчетов, для которых существует симметричное одно-модальное распределение вероятности их появления, причем вероятности появления каждого отсчета не зависят друг от друга.

Тогда вероятность появления подряд двух и более одинаковых отсчетов рассчитывается в соответствии с теоремой умножения вероятностей [1]. Появление подряд двух и более одинаковых значений отсчетов может быть определено с помощью операций сравнения на равенство программными или аппаратными средствами.

Предположим, что вероятность появления отсчетов такова, как это указано в табл. 1.

Таблица 1

Значения отсчетов и исходная вероятность их появления

Значение отсчета	$x-2$	$x-1$	x	$x+1$	$x+2$
Вероятность $p(x_i)$	0,05	0,15	0,6	0,15	0,05

В табл. 1 x – это значение отсчета, $x\pm 1$ – значение отсчета, большее или меньшее x на один квант, $x\pm 2$ – значение отсчета, большее или меньшее x на два кванта. Суммарная вероятность появления отсчетом с разными значениями равна 1.

Из соотношений $p(x)/p(x\pm 1) = 2$; $p(x)/p(x\pm 2) = 6$ следует, что значение x за

определенный промежуток времени будет встречаться в два раза чаще, чем значения $x\pm 1$, и в 6 раз чаще, чем значение $x+2$.

Вероятность появления подряд двух одинаковых значений отсчетов рассчитана в соответствии с теоремой умножения вероятностей [1] и приведена в табл. 2.

Таблица 2

Значения отсчетов и вероятность их появления после обработки

Значение отсчета	$x-2$	$x-1$	x	$x+1$	$x+2$
Вероятность $p(x_i, x_i)$	0,0025	0,0225	0,36	0,0225	0,0025

Из соотношений $p(x)/p(x\pm 1) = 8$; $p(x)/p(x\pm 2) = 72$ следует, что пара значений x за определенный промежуток времени будет встречаться в 8 раз чаще, чем пары значений $x\pm 1$, и в 72 раза чаще, чем пары значений $x\pm 2$.

Таким образом, случайная составляющая погрешности, при условии, что выходной отсчет изменяется только при равенстве значений двух подряд следующих отсчетов, а при неравенстве значение отсчета остается прежним, уменьшается в 4 раза. Расчет, выполненный для равенства трех последовательных значений отсчетов, показывает, что случайная составляющая может быть уменьшена в 12 раз.

По сравнению со стандартной процедурой усреднения отсчетов предложенный способ позволяет в несколько раз повысить быстродействие. Например, при усредне-

нии 16 отсчетов быстродействие повышается в среднем в 5 раз.

Проверка метода

на экспериментальных данных

Исходные требования к распределению случайных погрешностей, при которых метод умножения вероятностей хорошо работает, не всегда выполняются на практике.

В табл. 3 приведены экспериментальные данные, полученные при измерении двух постоянных входных напряжений (-5 В) и ($+5$ В) двумя АЦП типа АЦП-28. Это 12-разрядные АЦП с диапазоном преобразования $-5,12$ В \div $+5,12$ В и разрешающей способностью (величиной кванта) около 2,5 мВ.

Два постоянных напряжения измерялись двумя АЦП и поэтому получено четыре экспериментальных последовательности, каждая по 64 отсчета. Выходные цифровые отсчеты АЦП пересчитаны во входное напряжение.

Таблица 3

Экспериментальные данные измерений и обработки

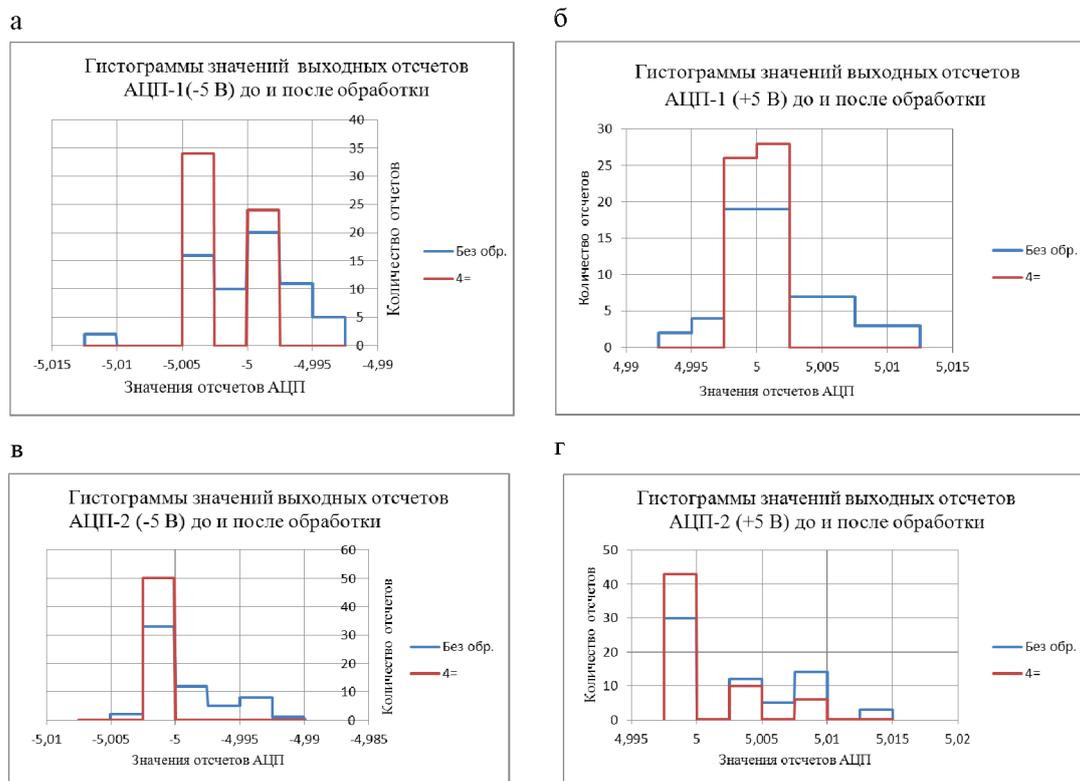
№ п/п	Выходные значения напряжения				АЦП-28-1 (-5 В)		
	АЦП-28-1		АЦП-28-2		2=	3=	4=
	(-5 В)	($+5$ В)	(-5 В)	($+5$ В)			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-4,998	5,003	-5,005	5,005			
2	-5	4,993	-4,995	5,005	0		
3	-5,01	5	-4,993	4,998	0	0	
4	-5,003	5	-4,995	4,998	0	0	0
5	-5,003	4,998	-5	4,998	-5,003	0	0
6	-5,003	5,003	-5	4,998	-5,003	-5,003	0
7	-5,003	5	-5	4,998	-5,003	-5,003	-5,003
8	-5,003	4,998	-4,995	4,998	-5,003	-5,003	-5,003
9	-5	4,998	-4,995	4,998	-5,003	-5,003	-5,003
10	-5	4,998	-5,003	5,005	-5	-5,003	-5,003

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
11	-4,995	4,998	-5,003	5,008	-5	-5,003	-5,003
12	-4,998	4,998	-5,003	5,003	-5	-5,003	-5,003
13	-4,998	5	-4,99	5,003	-4,998	-5,003	-5,003
14	-5	5	-4,998	5,008	-4,998	-5,003	-5,003
15	-4,993	5,005	-5,003	5,013	-4,998	-5,003	-5,003
16	-4,993	5,01	-5,003	5,008	-4,993	-5,003	-5,003
17	-4,998	5,005	-5,003	4,998	-4,993	-5,003	-5,003
18	-4,998	5,01	-5,003	5,003	-4,998	-5,003	-5,003
19	-4,995	5,005	-5,003	5,008	-4,998	-5,003	-5,003
20	-4,998	5	-5,003	5,005	-4,998	-4,998	-5,003
21	-4,998	5	-5,003	4,998	-4,998	-4,998	-4,998
22	-5	5	-4,995	4,998	-4,998	-4,998	-4,998
23	-5	5	-5,003	4,998	-5	-4,998	-4,998
24	-5,003	4,998	-5	4,998	-5	-4,998	-4,998
25	-5,003	5	-5	4,998	-5,003	-4,998	-4,998
26	-5,003	4,998	-4,998	4,998	-5,003	-5,003	-4,998
27	-5,003	4,995	-5	5,008	-5,003	-5,003	-5,003
28	-5	4,995	-5,003	5,003	-5,003	-5,003	-5,003
29	-4,995	4,998	-5,003	5,003	-5,003	-5,003	-5,003
30	-4,998	4,998	-5,003	5,005	-5,003	-5,003	-5,003
31	-4,995	5	-5,003	4,998	-5,003	-5,003	-5,003
32	-4,993	5,005	-4,995	5,008	-5,003	-5,003	-5,003
33	-4,995	5,005	-5,003	4,998	-5,003	-5,003	-5,003
34	-4,995	4,998	-4,998	5,008	-4,995	-5,003	-5,003
35	-4,995	5	-5,003	4,998	-4,995	-4,995	-5,003
36	-4,998	5	-5,003	5,013	-4,995	-4,995	-5,003
37	-4,998	5,003	-5,003	5,008	-4,998	-4,995	-5,003
38	-4,998	5,005	-5,003	5,003	-4,998	-4,998	-5,003
39	-4,998	4,998	-5,003	5,003	-4,998	-4,998	-4,998
40	-4,998	5	-5,005	4,998	-4,998	-4,998	-4,998
41	-4,995	5	-4,998	4,998	-4,998	-4,998	-4,998
42	-5,003	5	-4,995	4,998	-4,998	-4,998	-4,998
43	-5,003	5	-5	4,998	-5,003	-4,998	-4,998
44	-5,01	4,998	-4,995	4,998	-5,003	-4,998	-4,998
45	-5,003	4,998	-5	4,998	-5,003	-5,003	-4,998
46	-5,003	4,998	-5	5,008	-5,003	-5,003	-5,003
47	-4,998	4,995	-5,003	5,008	-5,003	-5,003	-5,003
48	-4,998	5,003	-5,003	4,998	-4,998	-5,003	-5,003
49	-4,998	4,998	-5,003	5,008	-4,998	-4,998	-5,003
50	-4,993	4,998	-4,993	5,008	-4,998	-4,998	-5,003
51	-4,995	5,008	-5,003	5,003	-4,998	-4,998	-5,003
52	-4,995	4,998	-5,003	5,003	-4,995	-4,998	-5,003
53	-4,993	5,01	-4,993	5,003	-4,995	-4,998	-5,003
54	-4,998	5,008	-5,003	5,013	-4,995	-4,998	-4,998
55	-4,998	5,003	-5,003	5,008	-4,998	-4,998	-4,998
56	-5	5,005	-5,003	5,003	-4,998	-4,998	-4,998
57	-5	5,003	-5,003	5,008	-5	-4,998	-4,998
58	-4,998	5,008	-5,003	5,003	-5	-4,998	-4,998
59	-4,998	5,003	-5,003	4,998	-4,998	-4,998	-4,998
60	-4,995	4,995	-5,003	4,998	-4,998	-4,998	-4,998
61	-5	4,993	-5	4,998	-4,998	-4,998	-4,998
62	-5,003	5	-5	4,998	-4,998	-4,998	-4,998
63	-5,003	5	-4,998	4,998	-5,003	-4,998	-4,998
64	-5,003	4,998	-5	4,998	-5,003	-5,003	-4,998

Кроме этого, в табл. 3 приведены результаты обработки в среде Excel одной последовательности из 64 отсчетов для АЦП-28-1 (-5 В) при равенстве значений двух последовательных отсчетов (2=), трех последовательных отсчетов (3=) и четырех последовательных отсчетов (4=).

Исходные гистограммы распределений четырех последовательностей отсчетов без применения процедуры фильтрации и гистограммы после обработки с четырьмя последовательно равными значениями отсчетов (4=) приведены на рис. 1 а, б, в, г.



Гистограммы значений выходных отсчетов до и после обработки

Практически все гистограммы несимметричны, среди них есть многомодальные.

Результаты обработки четырех последовательностей экспериментально полученных отсчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты обработки экспериментальных отсчетов

Номера АЦП и входные сигналы	Без обработки	2=	3=	4=
АЦП-28-1 (-5 В)				
Среднее значение	-4,999 В	-4,9995 В	-5,0002 В	-5,0009 В
Макс. разброс, кванты	8	5	4	3
АЦП-28-1 (+5 В)				
Среднее значение	5,0006 В	4,9992 В	4,999 В	4,999 В
Макс. разброс, кванты	8	5	2	2
АЦП-28-2 (-5 В)				
Среднее значение	-5,0004 В	-5,002 В	-5,0025 В	-5,003 В
Макс. разброс, кванты	7	4	2	1
АЦП-28-2 (+5 В)				
Среднее значение	5,0024 В	5,0013 В	5,000 В	4,9998 В
Макс. разброс, кванты	7	5	5	5

Выводы

1. Метод умножения вероятностей хорошо отсекает «крылья» распределений и увеличивает их максимум.

2. Метод не изменяет (в пределах одного кванта) среднего значения последовательности отсчетов.

3. Максимальный разброс значений отсчетов после обработки уменьшается от 1,4 раза до 7 раз и зависит от формы исходного распределения.

4. Если при обработке последовательное увеличение количества равных значений отсчетов не изменяет максимальный разброс, то это может означать, что в составе погрешности велика систематическая составляющая, например, на рис. 1 а,г видна погрешность из-за пропуска кодов в АЦП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнеденко Б.В., Хинчин А.Я. Элементарное введение в теорию вероятностей. – М.: Наука, 1976. – 176 с.

2. Кондалев А.И., Фабричев В.А., Аналого-цифровой преобразователь: А.с. № 661783 СССР. 1979. Бюл. № 17.

3. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации / В.Б. Смолов, Е.П. Угрюмов, В.К. Шмидт и др. – Л.: Энергия, 1976. – 336 с.

4. Оппенгеймер А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов. – М.: Наука, 1976. – 416 с.

5. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – Киев: Вища школа, 1976. – 432 с.

УДК 629.7

ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ-КОНВЕРТОПЛАН-АМФИБИЯ**Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.***ОНТТЭ «Ювенал», Таганрог, e-mail: yuven@mail.ru*

Первые образцы летательных аппаратов вертикального взлета и посадки ЛА ВВП (СВВП) были построены по схеме, предусматривающей вертикальное положение фюзеляжа на взлете и посадке. Примером такого технического решения является СВВП Конвэр XFV-1 (США), который имел турбовинтовую силовую установку, размещенную в фюзеляже с соосными воздушными винтами противоположного вращения большого диаметра. Дельтовидное крыло, надфюзеляжное и подфюзеляжное вертикальное оперение большой площади были прикреплены крестообразно к фюзеляжу, причем по концам крыла и оперения в обтекателях были установлены опоры, обеспечивающие вертикальное положение аппарата на стоянке, во время взлета и посадки. Аппарат взлетал вертикально и постепенно, по мере набора высоты по дугообразной траектории, переходил к горизонтальному полету. Посадку аппарат совершал в обратном порядке. В последние десятилетия такая схема для пилотируемых СВВП не применяется, но не исключает своего применения для беспилотных летательных аппаратов (БЛА) различного назначения.

Ключевые слова: летательные аппараты вертикального взлета и посадки, конструкция, синергетическая теория управления, взлет и посадка на воду

AIRCRAFT – THE AMPHIBIOUS TILTROTOR**Voronkov Y.S., Voronkov O.Y.***ONTTE «Juvenal», Taganrog, e-mail: yuven@mail.ru*

The first samples of aircraft vertical takeoff and landing aircraft GDP (VTOL) were built under the scheme, which provides the vertical position of the fuselage on takeoff and landing. An example of such a technical solution is the VTOL Convair XFV-1 (USA), who had a turboprop powerplant placed in the fuselage with coaxial counter-rotating propellers of large diameter. Delta wings, dorsal and ventral large vertical tail area were attached crosswise to the fuselage, and at the ends of the wing and tail fairings were installed in the support so that the vertical position of the vehicle in the parking lot during take-off and landing. The machine took off vertically and gradually, as the climb in an arcuate path, the transition to horizontal flight. Landing machine performed in reverse order. In recent decades, such a scheme for manned VTOL does not apply, but does not preclude its application for unmanned aerial vehicles (UAVs) for different purposes.

Keywords: aircraft vertical takeoff and landing, the design, the synergetic theory of management, taking off and landing on water

Основные проблемы при создании ЛА ВВП. В числе основных проблем при создании летательных аппаратов вертикального взлета и посадки (ЛА ВВП) отмечаются следующие: обеспечение высокой тяговооруженности ЛА, надежности работы силовых установок, эффективной управляемости аппаратом на всех режимах полета, особенно на переходных режимах. Одной из основных проблем является удовлетворение требованиям заданных летно-технических характеристик ЛА ВВП. Известны несколько подходов к решению данных проблем, которые повлияли на формулировку задач создания ЛА ВВП предлагаемой аэродинамической компоновки.

Задачи проекта. Создание летательного аппарата, имеющего повышенную эффективность на режимах взлета и посадки, особенно в условиях турбулентной атмосферы, с необходимой скороподъемностью при меньших затратах мощности силовых установок. Другой задачей является создание летательного аппарата, обеспечиваю-

щего высокую маневренность и широкий диапазон изменения скорости полета вплоть до зависания аппарата в воздухе. Третьей задачей является необходимость придания аппарату амфибийных свойств, обеспечивающих возможность его эксплуатации, как на суше, так и в морских условиях. Четвертой задачей является повышение надежности аппарата и уменьшение его влияния на окружающую среду.

Пути решения. Поставленные технические задачи решаются в результате того, что предлагается летательный аппарат-конвертоплан, содержащий вертикально расположенный фюзеляж с грузовыми отсеками. К фюзеляжу прикреплены попарно расположенные крестообразные крылья малого удлинения, плоскости которых имеют общую ось пересечения. Их четное количество внешними концами прикреплено к вертикально расположенным мотогондолам, оснащенным силовыми установками с управляемыми воздушными винтами, которые образуют в каждой из пересекаю-

щихся плоскостей жесткую конструкцию. Каждое из крыльев снабжено адаптивными поверхностями управления с возможностью их автоматической активации согласно требуемым режимам работы силовых установок и противодействию внешним возмущающим факторам в соответствии с реализуемыми объективными синергетическими законами единства процессов адаптации и управления. Нижние части мотогондол аппарата оснащены, наравне с сухопутными опорами шасси, выпускными водоизмещающими взлетно-посадочными средствами изменяемого объема с возможностью их уборки во внутренние полости каждой из мотогондол.

Особенности выбранных решений.

Звездообразные крылья аппарата (частным случаем которых являются крестообразные крылья), попарно разнесенные в вертикальных пересекающихся плоскостях, в каждой из них формируют аэродинамическую схему «тандем». Такая схема с распределением аэродинамических сил и моментов на достаточном плече обеспечивает полет аппарата в горизонтальной конфигурации и управление им при взлете, посадке и зависании при минимальной зависимости от внешних возмущающих факторов. Силовые установки с воздушными винтами, находящимися перед каждой из пары крыльев, в горизонтальном полете действуют как тянущие воздушные винты. Они генерируют скоростной воздушный поток, обдувающий с увеличенной скоростью переднюю и кормовую несущие аэродинамические поверхности. Несущие аэродинамические поверхности имеют достаточно большое значение эффективного удлинения и плеча действия управляющих сил и моментов при меньшей относительной толщине аэродинамического профиля. Это позволяет уменьшить значение составляющих полного аэродинамического сопротивления каждого из крыльев. Одинаковый размах несущих аэродинамических поверхностей ограничен мотогондолами. Управление общим шагом воздушных винтов и режимами работы силовых установок – индивидуальные от бортовой САУ. Наличие четного количества лучей звездообразных крыльев, по концам которых размещены силовые установки, обеспечивает уравновешенность реактивного момента от их работы и симметрию тяг. Снабжение каждого из крыльев адаптивными поверхностями управления позволяет получать

оптимальные значения аэродинамического качества профиля на всех режимах полета летательного аппарата и обеспечивать необходимую степень его управляемости с минимально необходимыми углами отклонения поверхностей управления. Активация адаптивных поверхностей управления, пропорциональная степени воздействия внешних возмущающих факторов, совместно с автоматическим изменением режимов работы силовых установок в соответствии с реализуемыми синергетическими законами управления (рис. 7) позволит обеспечивать координирующее управление с учетом естественных свойств летательного аппарата как нелинейного объекта механической природы. При этом будут решаться задачи ведения аппарата по заданному маршруту (траектории полета) с контролем его положения по данным, обеспечивающим также его автоматический взлет, посадку и зависание на заданной высоте. Для обеспечения такой стратегии управления аппаратом все переменные параметров его состояния в полученных базовых законах управления его движением приняты наблюдаемыми. В результате использования адаптивных поверхностей управления со специальной адаптивной системой управления для работы на критических режимах будет обеспечен автоматический вывод аппарата из критических режимов полета и предотвращено его попадание в такие режимы [А.А. Колесников. Синергетическая теория управления; М. Энергоатомиздат, 1994].

Силовая установка летательного аппарата в варианте с соосно независимыми приводами воздушных винтов в тяговых кольцах повышает надежность работы всего двигательного комплекса в целом за счет его резервирования, а также обеспечивает защиту воздушных винтов от внешнего воздействия, повышает их эффективность работы и улучшает шумовые характеристики.

Оснащение нижних частей мотогондол водоизмещающими взлетно-посадочными средствами с возможностью их уборки внутрь мотогондол в полетной конфигурации, возможностью выпуска для обеспечения посадки и удержания аппарата на плаву придает аппарату амфибийные свойства.

Вариант выполнения водоизмещающих взлетно-посадочных средств с расщепляемыми створками нижних частей мотогондол, во внутренних полостях которых закре-

плены надувные баллонеты (рис. 4, рис. 5), позволяет достаточно просто и надежно обеспечивать плавучесть аппарата, а также обеспечивать возможность поглощения удара при вертикальной посадке на земную поверхность во внештатной ситуации.

Описываемое техническое решение поясняется чертежами и фото:

на рис. 1 – изображен летательный аппарат в режиме вертикального взлета и посадки с суши, вид спереди;

на рис. 2 – изображен вариант летательного аппарата с соосно независимыми приводами воздушных винтов в режиме вертикального взлета и посадки с суши, вид сбоку 1/4;

на рис. 3 – сечение Б-Б адаптивного крыла;

на рис. 4 – летательный аппарат на водной поверхности в варианте обеспечения плавучести надувными баллонетами, вид спереди;

на рис. 5 – летательный аппарат с надувными баллонетами, вид сверху;

на рис. 6 – вид сбоку на аппарат в горизонтальном полете на высоте H

на рис. 7 – функциональная схема системы управления аппаратом;

на рис. 8 – летающая модель аппарата.

Стрелка Н.П. указывает направление полета.

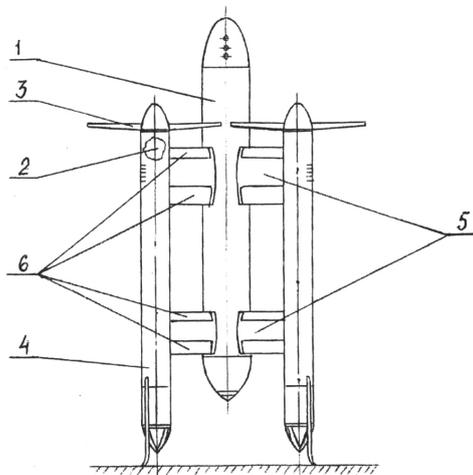


Рис. 1

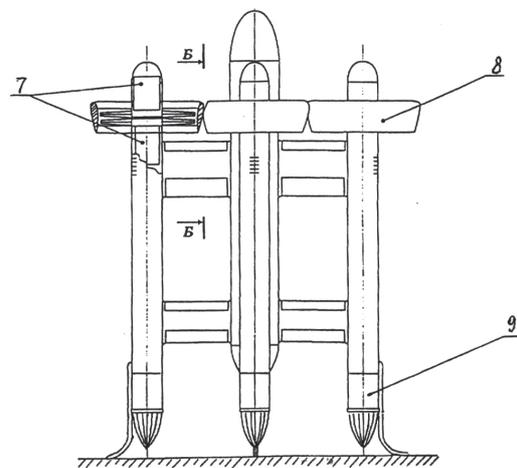


Рис. 2

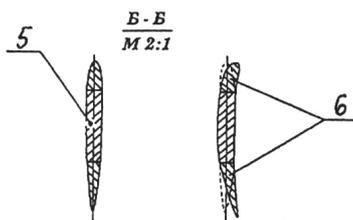


Рис. 3

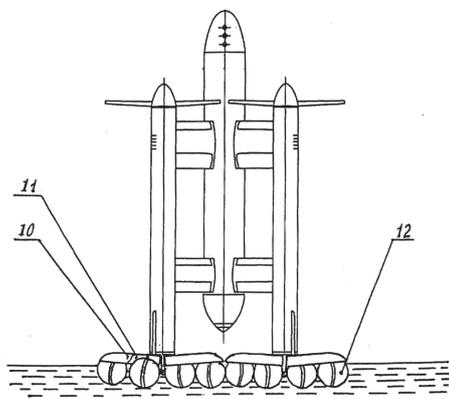


Рис. 4

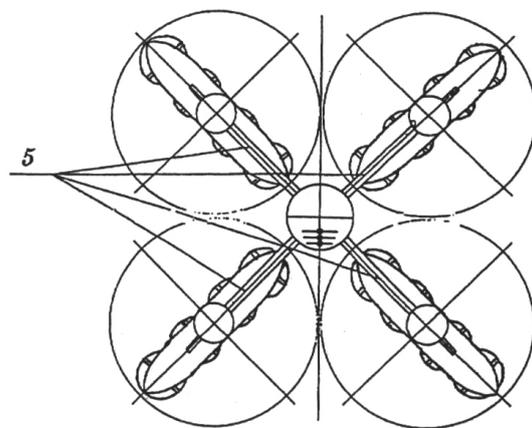


Рис. 5

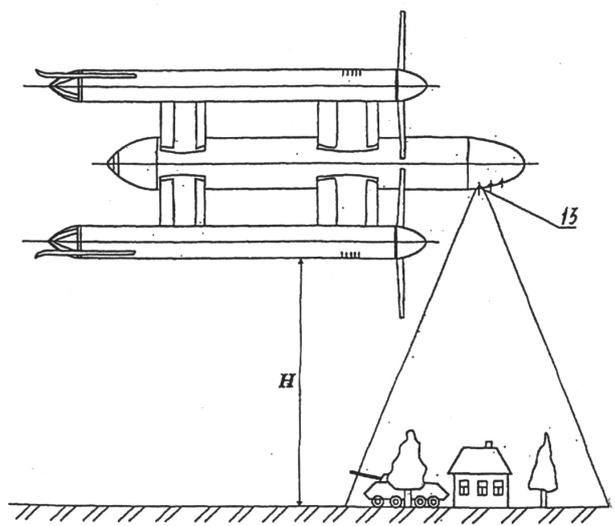


Рис. 6

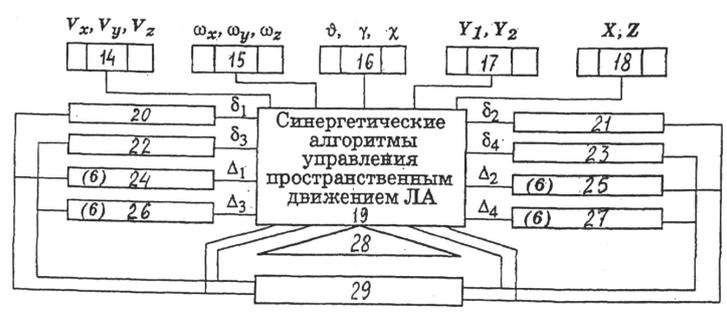


Рис. 7



Рис. 8

Описание и работа аппарата. Описываемый летательный аппарат (рис. 1) содержит фюзеляж 1, силовые установки 2 с воздушными винтами 3 в мотогондолах 4, которые прикреплены к концам попарно разнесенных в пересекающихся вертикальных плоскостях звездообразных крыльев 5, образуя в каждой из плоскостей замкнутую жесткую конструкцию. Каждое из крыльев 5 снабжено адаптивными поверхностями управления 6.

В варианте конструктивного решения (рис.2) каждая из силовых установок 2 содержит в себе по два соосно независимых привода 7 в тяговых кольцах 8.

В варианте конструктивного решения (рис.4) каждое из водоизмещающих взлетно-посадочных средств 9, обеспечивающих взлет и посадку аппарата с водной поверхности, может быть выполнено с расщепляемыми створками 10, во внутренних полостях 11 которых закреплены надувные баллонеты 12.

В носовой и хвостовой частях фюзеляжа 1 размещена целевая нагрузка 13 (рис. 6).

Автоматизированная система управления аппаратом (рис. 7) содержит:

- датчики скорости полета 14 (V_x, V_y, V_z);
- датчики угловых скоростей 15 ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$);
- датчики угловых отклонений 16 (q, g, c);
- датчики высоты полета 17 (Y_1, Y_2);
- датчики позиционирования (GPS) 18 (X, Z);
- бортовой процессор 19 (БСАУ);
- подсистемы автоматизированного управления силовыми установками 20, 21, 22, 23 ($\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$);
- адаптивные аэродинамические органы управления ЛА 24, 25, 26, 27 ($\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$);
- подсистемы ввода информации 28 (заданный маршрут, профиль полета, базовые законы управления);
- командный блок управления ЛА 29.

Летательный аппарат-конвертоплан-амфибия работает следующим образом.

Вертикальный взлет аппарата с суши (рис. 1) выполняется при вертикальном положении фюзеляжа 1 и силовых установок 2. Силовые установки 2 вращают управляемые воздушные винты 3, которые отбрасывают воздушный поток вниз и обеспечивают тем самым отрыв аппарата от поверхности суши. Аппарат зависает на не-

котором расстоянии от поверхности. После вертикального взлета и зависания аппарат делает горку и переходит в горизонтальный полет. При этом крестообразные крылья 5 на виде спереди ориентированы к вертикали под 45 градусов (рис. 5).

Стабилизация аппарата обеспечивается реализацией заданных синергетических алгоритмов управления пространственным движением аппарата. Управление – путем изменения режимов работы каждой из силовых установок 2 совместно с отклонением управляющих поверхностей 6 таким образом, чтобы возникал требуемый управляющий момент, а суммарная тяга силовых установок при этом не изменялась.

Во всех конфигурациях полета сигналы с датчиков 14 (V_x, V_y, V_z), датчиков 15 ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$), датчиков 16 (q, g, c), датчиков 17 (Y_1, Y_2), датчиков 18 (X, Z), характеризующих положение и состояние аппарата в пространстве, подаются в бортовой процессор 19, где обрабатываются в соответствии с заданными синергетическими алгоритмами управления пространственным движением аппарата и подаются на подсистемы автоматизированного управления силовыми установками 20 (δ_1), 21 (δ_2), 22 (δ_3), 23 (d_4) и на исполнительные органы адаптивных управляющих поверхностей 24 (Δ_1), 25 (Δ_2), 26 (Δ_3), 27 (Δ_4). Продольное управление аппаратом осуществляется путем дифференциального изменения режима работы передних и задних (вид по полету) силовых установок 20, 21 и 22, 23 (δ_1, δ_2) \neq (δ_3, δ_4) одновременно с отклонением соответствующих управляющих поверхностей 24, 25 и 26, 27 (Δ_1, Δ_2) \neq (Δ_3, Δ_4). Поперечное – путем дифференциального изменения режима работы силовых установок, расположенных справа и слева 20, 22 и 21, 23 (δ_1, d_4) \neq (δ_2, δ_3) и с отклонением соответствующих управляющих поверхностей 24, 26 и 25, 27 (Δ_1, Δ_3) \neq (Δ_2, Δ_4). Путевое – дифференциальным изменением режима работы накрест расположенных силовых установок 20, 23 и 22, 21 (δ_1, δ_4) \neq (δ_3, δ_2) с отклонением соответствующих управляющих поверхностей 24, 27 и 26, 25 (Δ_1, Δ_4) \neq (Δ_3, Δ_2).

Адаптивные управляющие аэродинамические поверхности 6 крыльев 5 могут быть выполнены по аналогии с техническим решением, описанным в патенте РФ № 2162428 от 09.07.1998 г. кл. В64С 33/02 и не будут требовать механических исполнительных устройств.

Подсистема ввода информации 28 позволяет вводить цифровую информацию о заданном профиле, маршруте полета аппарата, законы управления и способы вывода аппарата из критических режимов, программировать реакцию на внешние возмущения. Командный блок управления аппаратом 29 позволяет задавать и корректировать поведение аппарата в соответствии с изменившейся ситуацией в реальном масштабе времени, в том числе в режиме ручного управления.

На аппарате реализована возможность уменьшения потребляемой электроэнергии благодаря его конвертированию – переводу из конфигурации вертикального взлета и посадки, при которой потребление энергии максимально, в конфигурацию горизонтального полета, при котором потребление энергии на борту минимально. Эти процессы обеспечивает бортовая система автоматизированного управления (БСАУ) 19, реализующая заданные синергетические алгоритмы управления. В летательном аппарате используются силовые установки 2 и соосно независимые приводы 7, выполненные на основе высокоэффективных бесколлекторных электрических двигателей постоянного тока с магнитными системами из редкоземельных материалов. Наличие нескольких таких электродвигателей позволяет в соответствии с заданием частично, группами или даже полностью на определенное время отключать их от системы энергоснабжения или производить электронную регулировку их режима работы для обеспечения экономичного полета без демаскирующих признаков. Такие режимы работы характерны для полета в горизонтальной конфигурации. Вариант размещения воздушных винтов 3 в тяговых кольцах 8 повышает эффективность всего двигательного комплекса, уменьшая влияние внешних возмущающих факторов, улучшая шумовые характеристики винтов 3 и обеспечивая защиту их от посторонних предметов, что особенно важно при выполнении вертикального взлета и посадки аппарата.

Нижние части мотогондол 4 аппарата снабжены выпускными (убираемыми) водоизмещающими взлетно-посадочными средствами 9. Выпуск и формообразование взлетно-посадочных средств 9 осуществляется избыточным давлением газообразной среды, а уборка – вакуумированием

их внутренних полостей. В описываемом летательном аппарате применяются взлетно-посадочные средства в виде надувных баллонетов 12, закрепленных во внутренних полостях 11 расщепляемых створок 10. Водоизмещающие свойства баллонетов 12 обеспечиваются заполнением оболочки каждого из них газообразной средой под давлением, в результате чего оболочка принимает заданную форму (например, сферы) и увеличивается в объеме, вытесняя определенный объем воды. Групповое расположение таких баллонетов 12 в нижней части аппарата позволяет обеспечивать его плавучесть. В данном техническом решении надувные баллонеты 12 закреплены во внутренних полостях 11 каждой из расщепляющихся створок 10, что позволяет передавать гидростатическую силу выталкивания от баллонетов 12 через каркас створок 10 на нижние части мотогондол 4 и удерживать, таким образом, аппарат на плаву. В результате того, что расщепляющиеся створки 10 при их раскрытии на 90° уходят от их центральных осей к периферии, вынося тем самым к периферии и баллонеты 12, обеспечивается горизонтально-групповое расположение надувных баллонетов 12 по водной поверхности (рис. 5), и создается необходимая остойчивость аппарата на плаву.

Возможные области применения. Разработка летательного аппарата-конвертоплана-амфибии предназначена для:

– обеспечения подразделений ВМФ, МЧС информацией о ситуациях в зонах предполагаемого проведения операций, наведения десантируемых спасательных средств в зоны терпящих бедствие кораблей, самолетов, космических летательных аппаратов;

– обеспечения ликвидации последствий аварий на взрывопожароопасных объектах, нефтегазопроводах, химически опасных объектах, в зонах разрушения плотин гидроузлов;

– обеспечения проведения антитеррористических, антинаркотических операций, а также специальных операций в интересах ФСБ, МВД, МЧС, спецподразделений Вооруженных сил и т.д. на суше и на водных пространствах;

– обеспечения ликвидации последствий землетрясений, цунами, наводнений, лесных пожаров, ураганов, тайфунов.

Выводы

Таким образом, предложен беспилотный летательный аппарат, в котором ис-

пользованы новые, современные подходы и технологии:

– предложена новая оригинальная компоновочная схема, ставшая предметом защиты патентом [7].

– предложено использование синергетических законов управления [8] для САУ пространственным движением ЛА, позволяющих в максимальной степени учитывать его динамические свойства как сложного нелинейного объекта.

– описанный аппарат способен вертикально взлетать с водной поверхности и осуществлять на воду вертикальную посадку в сложных метеоусловиях.

Все эти инновации позволяют определить облик летательного аппарата-амфибии вертикального взлета и посадки, способного осуществлять наведение спасательных средств и обеспечивать проведение спасательных операций, как на суше, так и в морских условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курочкин Ф.П. Основы проектирования самолетов с вертикальным взлетом и посадкой. – М.: Машиностроение, 1970.
2. Остославский И.В., Матвеев В.Н. О работе винта, помещенного в кольцо. – М.: Труды ЦАГИ. № 248, 1935.
3. Стечкин Б.С. и др., Теория реактивных двигателей. – М.: Оборонгиз, 1956.
4. Шайдаков В.И., Аэродинамические исследования систем «Винт в кольцо» на режиме висения // Труды МАИ, № 111. – М.: Оборонгиз, 1959.
5. Исследования в области теоретической и прикладной аэрогидродинамики / Под редакцией заслуженного деятеля науки РСФСР проф. Н.С. Аржанникова // Труды МАИ, вып. III – М.: Оборонгиз, 1959.
6. Шайдаков В.И. Аэродинамика винта в кольце: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 1996.
7. Макаров Ю.В. Летательные аппараты МАИ. – М.: Изд-во МАИ, 1994.
8. Кобзев В.А., Колесников А.А., Воронков Ю.С., Мушенко А.С., Воронков О.Ю. Патент РФ № 2312795 от 15.09.2005 г. «Летательный аппарат-конвертоплан-амфибия» МПК В64С 37/00, В60F 5/02, В64С 29/02.
9. Колесников А.А., Мушенко А.С. Синергетическое управление процессами пространственного движения летательных аппаратов // Авиакосмическое приборостроение. 2004. № 2.
10. Математическое моделирование при формировании облика летательного аппарата / Под ред. В.А. Подобедова. – М.: Машиностроение, 2005.

УДК 629.7

ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ С СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ НА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.*ОНТТЭ «Ювенал», Таганрог, e-mail: yuven@mail.ru*

В течение многих лет в разных странах мира проводятся исследования возможности создания беспилотного летательного аппарата с силовой установкой, работающей на солнечной энергии, для выполнения длительных высотных полетов. Такой аппарат может быть альтернативой искусственным спутникам земли (ИСЗ) и пилотируемым самолетам при выполнении задач мониторинга в интересах метеорологических, экологических, природоохранных, сельскохозяйственных и т.д. структур.

Ключевые слова: преобразование солнечной энергии, накопление энергии для полета в ночное время, полет на малых числах Рейнольдса, нетрадиционные аэродинамические компоновки

AIRCRAFT WITH POWER PLANTS TO SOLAR POWER

Voronkov Y.S., Voronkov O.Y.*ONTTE «Juvenal», Taganrog, e-mail: yuven@mail.ru*

For many years in various countries around the world, studies the possibility of creating an unmanned aerial vehicle with the power plant running on solar energy to perform time-altitude flights. Such a device can be an alternative to artificial earth satellites (satellites) and manned aircraft in the performance of tasks for the benefit of monitoring meteorological, ecological, environmental, agricultural, etc. structures.

Keywords: solar energy conversion, energy storage for a flight at night, flying at low Reynolds numbers, unconventional aerodynamic configurations

К числу первых попыток создания летательного аппарата на солнечной энергии относится дистанционно пилотируемый летательный аппарат «Солярис», построенный в середине 60-х годов в Западной Европе конструктором Ф. Милитки. В октябре 1973 года в Австрии состоялся первый полет первого пилотируемого самолета на солнечной энергии с электродвигателем. Самолет был построен на основе мотоплана НВ-3. Самолеты на солнечной энергии разрабатывались и строились в Англии, ФРГ и США.

Результаты, привлекающие к себе внимание

Наибольших успехов в области проектирования и постройки аппаратов на солнечной энергии достиг американский конструктор П. Маккриди. Так, разработанный им самолет «Солар Челленджер» продемонстрировал возможности длительного полета с использованием только солнечной энергии. Самолет, имея классическую аэродинамическую схему при площади крыла 26 м² и площади горизонтального оперения 9,3 м², был оснащен 16 128 фотоэлементами, имел массу 156 кг. В декабре 1980 года самолет пролетел 24 км за 2 часа. В другом полете была достигнута высота 1070 м. После незначительной модернизации в середине мая 1981 г. самолет «Солар Челленджер» пролетел 305 км за 6 ч 38 мин и достиг

высоты 3500 м. Во втором полете преодолел 307 км за 8 ч 19 мин и достиг высоты 4359 м. Такие обнадеживающие результаты привлекали все большее число энтузиастов к тематике создания самолета на солнечной энергии. На протяжении всех последующих лет и до настоящего времени проводились исследования, накапливался опыт, продолжали строиться и испытываться летательные аппараты, позволяющие делать смелые, технически обоснованные прогнозы на будущее коммерческое использование подобной техники.

По мнению специалистов, на основе уже накопленного опыта возможно создание беспилотного летательного аппарата, который с большой долей вероятности может стать альтернативой искусственным спутникам земли (ИСЗ) и пилотируемым самолетам для выполнения связных и разведывательных операций, картографирования, различных видов мониторинга в интересах метеорологических, экологических, природоохранных, сельскохозяйственных и т.д. структур. Эти летательные аппараты смогут обеспечить полеты с определенной частотой малой дальности или продолжительные полеты в намеченной зоне. Продолжительность полетов таких аппаратов ограничена только надежностью оборудования и их систем. Для сравнения: продолжительность полета пилотируемого самолета ограничена особенностями чело-

веческого организма, а ИСЗ не всегда могут выполнить поставленные задачи по причине потери разрешающей способности при съемках с высокой орбиты или по причине прерывистого обзора в условиях полета на низкой орбите. Летательный аппарат с силовой установкой на солнечной энергии имеет уникальное преимущество осуществлять полет в течение многих месяцев на высоте свыше 15 000 м над большей частью поверхности Земли.

Проблемы, которые необходимо преодолеть

Обеспечение подобных летно-технических характеристик и продолжительности полета может быть осуществлено на основе внедрения комплекса новейших научно-технических достижений, в том числе прорывного характера. Аппарат подобного типа должен иметь высочайшее весовое совершенство, высокую эффективность работы силовой установки, в том числе иметь высокоэффективные системы и комплексы для преобразования и аккумулирования солнечной энергии. В нем должны быть использованы новейшие сверхлегкие конструкционные материалы и новые принципы их расчета на прочность. Аэродинамическая компоновка, аэродинамические профили, воздушные винты должны иметь оптимальные аэродинамические характеристики при их работе на малых числах Рейнольдса. При этом надо иметь в виду, что аэродинамика полета на малых числах Рейнольдса значительно отличается от классической аэродинамики.

Необходимо определить оптимальный состав полезной нагрузки, возможность включения в неё датчиков, работающих в ближних и далеких областях инфракрасного и ультрафиолетового спектров, состав оборудования для передачи данных в реальном масштабе времени. Обеспечение качества изображений, передаваемых с аппарата, должно быть более высоким, чем с ИСЗ, летающих на орбитах высотой 35 200 км.

При определении суточного баланса энергии для полета аппарата необходимо иметь избыток солнечной энергии, аккумулированной в полдень, которая должна быть достаточной для осуществления полета с крейсерской скоростью в ночное время без потери высоты. В этом случае можно говорить, что летательный аппарат находится в равновесном состоянии и осуществляет крейсерский полет при неизменной высоте.

Суточный баланс энергии для обеспечения полета аппарата в равновесном состоянии должен включать часть энергии, потребной для маневрирования и управления полетом, часть энергии для функционирования полезной нагрузки, обработки и передачи данных на землю.

Поскольку высота установившегося полета зависит от угловой высоты Солнца и продолжительности ночи, она может меняться для данного аппарата с полезной нагрузкой в зависимости от географической широты места и времени года. Это говорит о том, что если летательный аппарат такого типа точно удовлетворяет расчетным требованиям в дни начала и окончания выполнения намеченной программы, то он может быть способен функционировать и в других широтах на других высотах полета. Это имеет место потому, что если где-либо и когда-либо высота установившегося полета такого аппарата превысит расчетную высоту, требуемую для выполнения поставленной задачи, возникнет избыток солнечной энергии. Эта энергия может быть использована для маневрирования, повышения скорости или увеличения возможностей работы полезной нагрузки.

Применение научно-технических усовершенствований в аппаратах такого типа может обеспечить сокращение их габаритных параметров на довольно значительную величину. В свою очередь, эти факторы могут повысить противодействие таким явлениям аэроупругости как флаттер или закручивание крыла.

Истоки информации для исследований и проектирования

В конце 80-х один из авторов этих строк активно занимался патентным поиском по разделам «Авиация», «Летательные аппараты», ознакомился с различными научно-техническими журналами, в которых все чаще попадались материалы об исследованиях, строительстве и полетах аппаратов на солнечной энергии. Эти материалы стали отбираться, систематизироваться, и на их основе начала умозрительно возникать концепция беспилотного летательного аппарата для экологического мониторинга (БЛАЭМ).

В 1995 году, учредив Городскую общественную организацию Благотворительное общество научно-технического творчества и экологии «Ювенал» города Таганрога (ОНТТЭ «Ювенал»), мы продолжили твор-

ческие изыскания без афиширования темы, так как «Самолет на солнечной энергии» вызывал улыбки специалистов-авиастроителей с причислением наших исследований к фантастике. К 1997 году были получены исходные данные для выбора аэродинамической компоновки, силовой установки, разработки конструкции планера аппарата, расчета летно-технических, энергетических и т.д. характеристик, определения возможностей и назначения БЛАЭМ.

Преодоление «инерции мышления» при разработке новой техники

В июне 1997 года по нашей просьбе было получено подтверждение Северо-Кавказского Гидрометцентра об актуальности и целесообразности проведения названных работ в интересах СК ГМЦ. С этим подтверждением и предварительными характеристиками БЛАЭМ мы обратились к Генеральному конструктору – Генеральному директору АОТ «ТАНТК им. Г.М. Бериева», заведующему кафедрой «Летательные аппараты» ТРТУ Г.С. Панатову с просьбой рассмотрения и утверждения темы дипломного проекта «Беспилотный летательный аппарат для экологического мониторинга» (БЛАЭМ). Тема была утверждена, назначены исполнитель – студент-дипломник, член ОНТТЭ «Ювенал» – и руководитель проекта – один из авторов этих строк. В результате многомесячной подготовки и выполнения дипломного проекта, который был реализован на уровне эскизного проекта, определен облик, разработаны чертежи и определены основные параметры БЛАЭМ. Защита проекта состоялась в апреле 1998 года с оценкой «отлично» в присутствии представителей Северо-Кавказского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СК УГМС). На проект было выдано Заключение СК УГМС о практической ценности и перспективности проведения работ в данном направлении (Приложение I, Приложение II).

В том же 1998 году проект БЛАЭМ стал участником Второго Всероссийского открытого конкурса дипломных проектов студентов по специальности «Проектирование авиационной техники» «Будущее авиации – 98», Генеральным спонсором которого была компания Boeing (США).

Проект БЛАЭМ в данном конкурсе занял первое место, исполнитель проекта,

став Лауреатом конкурса, был награжден дипломом Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации и денежной премией в размере 1000\$ от компании Boeing.

К сожалению, интерес к данной тематике со стороны производителей авиационной техники в нашем регионе в течение последующих 15 лет даже в рамках НИОКР так и не возник, несмотря на то, что растет потребность использования таких средств в хозяйственном комплексе страны.

Общие сведения о БЛАЭМ

Беспилотный летательный аппарат для экологического мониторинга (БЛАЭМ) (рис. 1) выполнен по аэродинамической схеме составного крыла с круглым в плане центропланом, с прямым передним горизонтальным оперением, оснащенным элеронами для управления по крену, и стреловидным задним горизонтальным оперением с отогнутыми вверх поворотными консолями, обеспечивающими управление аппаратом по тангажу и курсу. Верхняя поверхность составного крыла покрыта фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП) пленочного типа, преобразующими солнечное излучение в электрическую энергию. В качестве двигателей на аппарате применены 2 высокоэффективных электродвигателя постоянного тока со сдвоенными якорями на основе SmCo (самариево-кобальтовых) магнитов. Электродвигатели работают как попеременно в одиночном режиме, так и совместно. Движителем БЛАЭМ является двухлопастный воздушный винт изменяемого шага. Профиль лопастей винта Эпплер 193 обеспечивает КПД винта, равный 86%. Получаемая в дневное время полета энергия обеспечивает питание электродвигателей, бортовой аппаратуры, исполнительных электромеханизмов и накапливается в электроаккумуляторах или супермаховике для дальнейшего обеспечения полета в малоосвещенное и темное время суток.

Конструкция БЛАЭМ полностью выполнена из композитов, преимущественно из органита 10Т, по балочно-лонжеронной схеме с обшивкой на основе мелкоячеистых сот из органита.

Традиционные взлетно-посадочные устройства (шасси) на аппарате отсутствуют.

Unmanned aircraft for ecological monitoring			
Main data of the aircraft	Notation	Unit	Value
Performance			
Cruising speed at altitude	V/H	Km/h/Km	90/18
Service ceiling	H _{serv}	m	27100
Landing speed	V _{land}	Km/h	25
Time in flight	T	Days	≥ 60
Time of climb to cruise altitude	t _{climb}	min	100,36
Weight data			
Takeoff service weight	G ₀	Kg	225
Target-oriented load weight	G _{TL}	Kg	60
Storage batteries comparative weight	G _{batt}	-	0,21
Lifting surface loading	P ₀	Kg/m ²	5,2
Thrust /weight/ratio	\overline{P}_0	-	0,096
Power system data			
Solar battery surface	S _{sb}	m ²	-
Maximum power produced by solar batteries	N _{maxSB}	KW	28
Electric motor power	N _M	KW	10

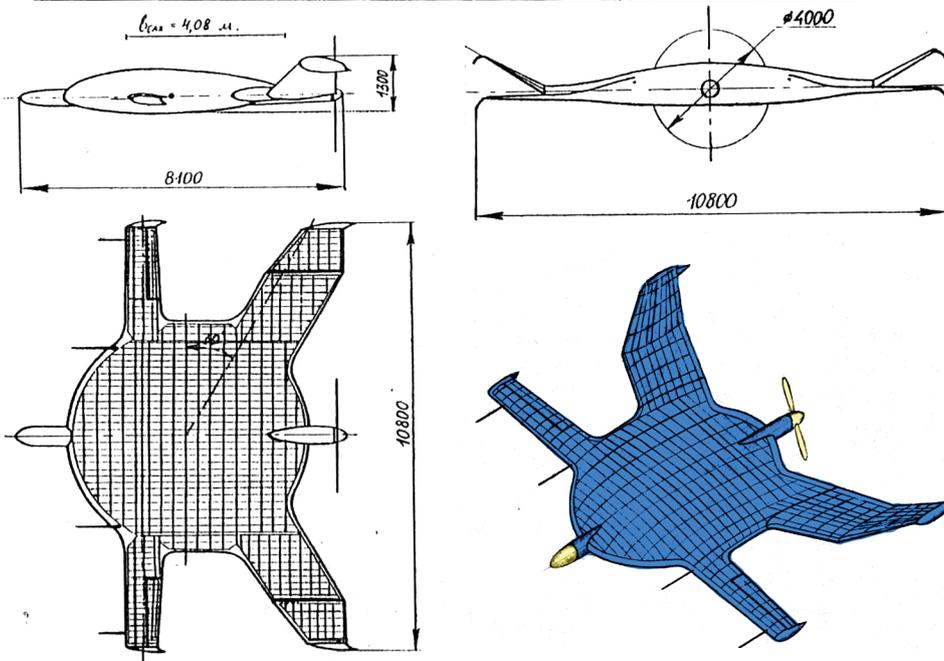


Рис. 1

Запуск БЛАЭМ осуществляется его подъемом посредством самолета-носителя (Бе-200) или аэростатическим летательным аппаратом на высоту ~ 3000 – 4000 м с последующей отцепкой от носителя и переходом в самостоятельный набор рабочей высоты.

Приземление аппарата производится на минимально возможной эволютивной скорости путем использования парашюта или на специальные сети-улавливатели.

Бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО) состоит из бортового оборудо-

вания навигации, связи, управления, съема и передачи информации целевого назначения, управления энергетикой БЛАЭМ.

БЛАЭМ оснащен малогабаритной инерциальной навигационной системой, которая в себя включает:

1. Приемник сигналов спутниковой радионавигационной системы типа GPS;
2. Бесплатформенную инерциальную навигационную подсистему на основе:

- баровысотомера;
- микромеханических акселерометров;
- пьезогироскопов;

- трехосного магнитометра.

Комплексируя данные этих датчиков с данными приемника GPS, система вырабатывает полное навигационное решение по координатам и углам ориентации БЛАЭМ.

Информационно-логическим центром БРЭО и всего БЛАЭМ является бортовой процессор (БП). БП служит для сбора и обработки всей информации, доступной на борту БЛАЭМ. Результатом работы БП являются управляющие воздействия на исполнительные органы (сервоприводы) системы управления аппаратом и целевой нагрузки, команды электронному блоку управления и коммутации энергии, блоку управления двигателями-генераторами, а также телеметрическая, прежде всего, навигационная информация для передачи по каналам бортового приема-передающего комплекса управления и контроля (ППКУК).

Управление БЛАЭМ осуществляется в 2-х режимах: ручном и автоматическом.

В обоих режимах управления аппаратом используется мобильный командный пункт (МКП). В ручном режиме управления и контроля оператор МКП ведет двухсторонний радиотелеметрический обмен информацией с бортовым приемно-передающим комплексом управления и контроля (ППКУК). Комплекс обеспечивает дешифровку и передачу команд на органы управления режимами полета БЛАЭМ и его пространственно-временное положение, а также обеспечивает контроль этих параметров. Одновременно оператор МКП получает с борта БЛАЭМ и анализирует текущую информацию о результатах наблюдения воздушной среды, земной и водной поверхности. При необходимости, к МКП могут быть подключены дополнительные ЭВМ для связи со специальными потребителями.

В автоматическом режиме управления полетом БЛАЭМ бортовой процессор (БП) обеспечивает выполнение полетного задания с возможностью его корректировки в зависимости от пространственно-временного положения летательного аппарата и окружающих метеоусловий. В этом режиме управления предусмотрена экстренная передача на Землю информации о внезапно произошедших экологических, техногенных катастрофах и пожарах с предоставлением экспресс-результатов их анализа в инфракрасном и ультрафиолетовом спектре оператору ППКУК.

При опасном приближении аппарата к границам зоны устойчивого обеспечения

связи на землю подаются предупреждающие радиосигналы с одновременным уводом аппарата от границ этой зоны.

Назначение БЛАЭМ

Вести воздушный мониторинг (определять изменение химического состава атмосферы городов, промышленных районов, крупных лесных массивов);

Патрулировать обширные территории (определять наличие и состояние растительности, состояние поверхности почв, наличие влаги и др.);

Наблюдать подвижные и стационарные объекты;

Определять место и интенсивность пожаров, катастроф, природных катаклизмов, обеспечивая авиацию МЧС (самолеты-амфибии Бе-200) данной информацией.

Полезная нагрузка БЛАЭМ выполняет вышеобозначенные задачи на основе:

- получения телевизионного, тепловизионного, радиолокационного изображения местности и передачи его на командный пункт в реальном масштабе времени;

- сбора и обработки полетной информации;

- определения координат наземных объектов по указанию оператора.

Аппарат оснащен оптико-электронной системой на гиростабилизированной платформе.

Оптико-электронная система (ОЭС) оснащена автофокусировкой изображения и автоматической следящей системой, обеспечивающей захват и сопровождение подвижного объекта.

В состав полезной нагрузки БЛАЭМ входят также бортовые видеоспектрометры высокой разрешающей способности, работающие в ультрафиолетовой (УФ), видимой и инфракрасной (ИК) областях спектра.

Аппарат оснащен малогабаритной радиолокационной станцией (МРЛС) бокового обзора, предназначенной для получения радиолокационного изображения земной поверхности днем и ночью, в простых и сложных метеоусловиях.

Фотоэлектрическая силовая установка БЛАЭМ

Беспилотный летательный аппарат для экологического мониторинга (БЛАЭМ) оснащен фотоэлектрической силовой установкой (рис. 2), преобразующей солнечную энергию в электрическую, упрощенно состоящую из следующих элементов:

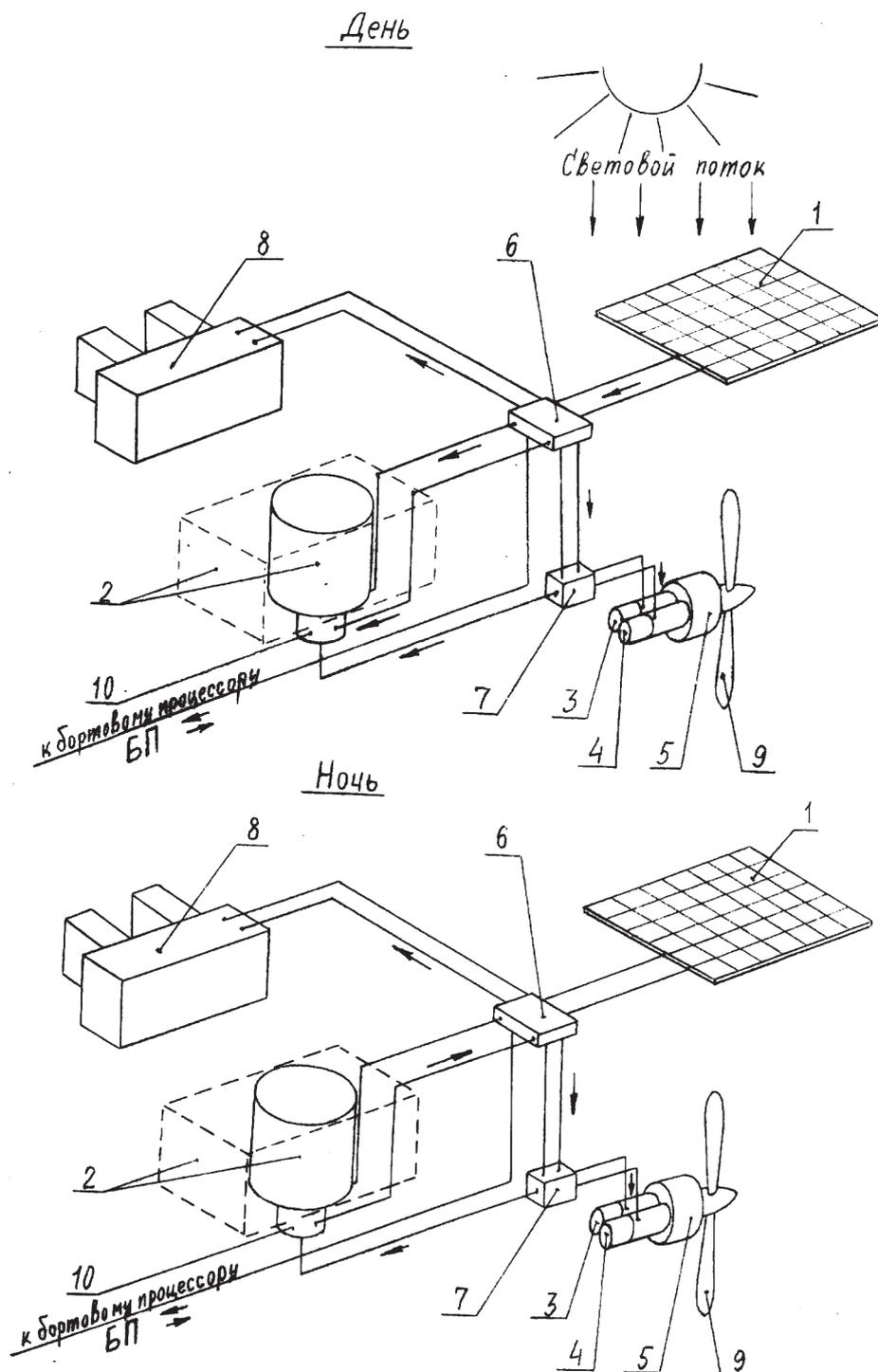


Рис. 2

1. пленочные ФЭП на несущих поверхностях ЛА;
2. блок аккумуляторов или маховичный накопитель энергии;
3. электродвигатель № 1;
4. электродвигатель № 2;
5. редуктор силовой установки с электромагнитными муфтами;
6. электронный блок управления и коммутации бортовой энергии;
7. блок управления электродвигателями № 1, № 2 и двигатель-генератором;
8. бортовые потребители электрической энергии;
9. воздушный винт изменяемого шага с горизонтальной укладкой лопастей;
10. двигатель-генератор для разгона маховичного накопителя энергии и съема с него электрической энергии в малоосвещенное время суток.

Часть энергии, преобразуемой пленочными ФЭП 1 в светлое время суток, через электронный блок управления и коммутации бортовой энергии 6 подается для накопления в блок аккумуляторов или запасается в маховичном накопителе энергии 2. Другая часть энергии через электронный блок управления и коммутации бортовой энергии 6 подается на блок управления электродвигателями и двигатель-генератором 7 и на один из электродвигателей № 1 или № 2. Третья часть энергии также через электронный блок управления и коммутации бортовой энергии 6 подается на питание бортовой аппаратуры и исполнительных механизмов (потребителей) 8 летательного аппарата.

В светлое время суток силовая установка БЛАЭМ, оборудование и целевая нагрузка питаются энергией, получаемой от ФЭП, расположенных на верхней поверхности составного крыла в соответствии с расчетом баланса энергии для обеспечения полета аппарата с условиями:

- БЛАЭМ совершает горизонтальный полет без ускорения;
- ввиду малой кривизны верхней поверхности профиля крыла принимается, что ФЭП расположены горизонтально;
- все бортовые потребители электроэнергии работают непрерывно с постоянным потреблением энергии.

По зарубежным данным тех лет, ФЭП, выполненные по пленочной технологии с легированием алюминием, могли повысить КПД до 27,5%. Это позволяло на ос-

новании расчетных данных снимать свыше 20 кВт энергии с площади покрытия ФЭП составного крыла порядка 40 м² при оптимальном угле падения солнечных лучей – 90 градусов.

В темное время суток силовая установка БЛАЭМ, оборудование и целевая нагрузка питаются энергией, запасенной в светлое время суток в аккумуляторах или в маховичном накопителе энергии. Конструктивно маховичный накопитель энергии представляет следующее. Два рабочих колеса противоположного вращения, имеющие нулевой реактивный момент, образуют супермаховик. Колеса выполнены путем намотки из углеволокна на синтетическом связующем, свободно подвешены в магнитных опорах герметичного корпуса, из которого удален воздух. Имея расчетную массу, колеса маховика раскручиваются до 40000 – 60000 об/мин. При этом они запасают механическую энергию, достаточную для обеспечения полета БЛАЭМ в малоосвещенное и темное время суток. В нижней части герметичного корпуса посредством электромагнитной муфты запасенная механическая энергия отбирается от вала супермаховика и подается на специальный двигатель-генератор 10, который работает в режиме генератора и преобразует механическую энергию в электрическую. Получаемая электрическая энергия направляется в электронный блок управления и коммутации бортовой энергии 6. Накопление энергии в супермаховике в дневное время суток происходит в обратном порядке. Специальный двигатель-генератор 10, работая в режиме электродвигателя, через электромагнитную муфту разгоняет супермаховик до расчетных оборотов.

Управление режимами потребления и преобразования энергии в любом из вариантов выполняет электронный блок управления и коммутации бортовой энергии 6 по командам БП в автоматическом режиме.

Конструктивно-силовая компоновка БЛАЭМ

Конструктивно-силовой набор составного крыла с круглым в плане центропланом изготавливается преимущественно из органика 10Т и имеет достаточно большую жесткость при малой массе. Конструктивно силовая схема (КСС) круглого в плане центроплана образована совмещением внутреннего силового набора с перегородками отсеков для полезной нагрузки. Все пере-

городки продольного (лонжероны) и поперечного (нервюры) набора круглого в плане центроплана выполнены по балочной схеме и имеют верхний и нижний пояс и стенку. Верхняя обшивка круглого в плане центроплана, представляющая собой мелкоячеистую сотовую конструкцию, изготавливается как единое целое с силовым набором.

После общей сборки БЛАЭМ на верхнюю обшивку наклеиваются пленочные фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП) с присоединением их токоведущих шин к контактам, заформованным в верхней обшивке. Нижняя обшивка круглого в плане центроплана в местах размещения оборудования и полезной нагрузки представляет собой отдельные съемные панели (крышки люков), которые крепятся к поясам силового набора посредством быстросъемных заклепок.

На каждой из бортовых нервюр круглого в плане центроплана имеются 4 узла крепления для навески переднего горизонтального оперения (ПГО) и 4 узла крепления для навески заднего горизонтального оперения (ЗГО). Узлы изготовлены из титана ВТ-22 и заформованы в элементы лонжеронов при изготовлении конструктивно-силового набора круглого в плане центроплана.

В носовой части круглого в плане центроплана по оси симметрии установлена съемная носовая часть фюзеляжа, которая крепится посредством титанового крепежа к силовому набору центроплана. Носовая часть имеет разъемы для доступа к оборудованию, которое она закрывает.

ПГО выполнено по 2-лонжеронной схеме с нервюрами балочного типа из органиката 10Т. Лонжероны выполнены по балочной схеме с заформованными при изготовлении узлами навески. Верхняя обшивка ПГО формируется совместно с силовым набором. Конструкция элеронов и их узлов навески – аналогичная.

ЗГО (заднее горизонтальное оперение), состоящее из неподвижной и поворотной (руля направления и высоты (РНВ)) частей, выполнено также по 2-х лонжеронной схеме. Лонжероны формируются совместно с нервюрами и верхней обшивкой. Так как между неподвижной и поворотной частями находится поворотный узел, требующий обслуживания, то нижняя панель выполнена съемной для доступа к узлу.

Хвостовой обтекатель имеет конструкцию, аналогичную носовой части фюзеля-

жа аппарата, имеет разъемы, позволяющие обслуживать электродвигатели и редуктор БЛАЭМ. Крепится хвостовой обтекатель к заднему лонжерону круглого в плане центроплана посредством титанового крепежа.

Все стыки агрегатов БЛАЭМ закрыты обтекаемыми зализмами сложной формы, а несущие агрегаты снабжены аэродинамически совершенными законцовками.

Выводы

1. При получении в результате расчетов крейсерской скорости 90 км/ч на высоте 18 000 м., БЛАЭМ имеет возможность длительного наблюдения за одной локальной зоной.

2. Габариты и масса аппарата позволяют использовать в качестве его носителя самолет-амфибию Бе-200, взлетающую с сухопутных аэродромов.

3. БЛАЭМ имеет летно-технические характеристики, позволяющие включить его в систему совместной эксплуатации с самолетами-амфибиями Бе-200 для обеспечения их информацией о пожарах, экологических и техногенных катастрофах.

4. Спроектированный беспилотный летательный аппарат БЛАЭМ является экологически чистым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадягин А.Л., Мухаммедов Ф.А. Проектирование легких самолетов. – М.: Машиностроение, 1978.
2. Голубев И.С. «Конструкция летательных аппаратов». – М.: Изд-во МАИ, 1964.
3. Макаров Ю.В. «Летательные аппараты МАИ». – М.: Изд. МАИ, 1994 г.
4. Ханцев Ф. Основы общей методики конструирования (Систематизация конструирования). – Л.: Машиностроение, 1962.
5. Торенбик Э. Проектирование дозвуковых самолетов. – М.: Машиностроение, 1983.
6. Егер С.М. Проектирование самолетов. – М.: Машиностроение, 1983.
7. Остославский И.В. Аэродинамика самолета. – М.: Машиностроение, 1969.
8. Стригунов В.М. Расчет самолета на прочность. – М.: Машиностроение, 1984 г.
9. Гайдачук В.Е., Гречка В.Д. и др. Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов. – Харьков, ХАИ, 1989 г.
10. Васильев В.В. Основы проектирования и изготовления конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов. – М.: МАИ, 1985.
11. Журналы: «Техническая информация» ЦАГИ; «Изобретатель и рационализатор»; «Авиация и космонавтика»; «Техника-молодежи»; «Знание-сила»; «Science News» (США); «Изобретения стран мира» Кл. В64С.

УДК 629.7

**ПЕРВЫЙ В ТАГАНРОГЕ. МАЛОРАЗМЕРНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ
НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЛАНХ-2000****Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.***ОНТТЭ «Ювенал», Таганрог, e-mail: yuven@mail.ru*

В начале 2000 года ОНТТЭ «Ювенал» совместно с кафедрой летательных аппаратов Таганрогского государственного радиотехнического университета (ТРТУ) приняли совместное решение о поэтапном выполнении проекта «Разработка системы беспилотных малоразмерных высокотехнологичных летательных аппаратов с дистанционным управлением широкого назначения (для использования в регионах северного Кавказа и Поволжья) в рамках Программы «Разработка и реализация Федерально-Региональной политики в области науки и образования» в соответствии с разделом «Содействие развитию научно-технического потенциала регионов страны и уникальных объектов системы образования» путем участия в ежегодно проводимых Министерством образования РФ конкурсах.

Ключевые слова: малоразмерные летательные аппараты (МЛА) народно-хозяйственного применения, целевая нагрузка, аэродинамические характеристики, аппаратура и оборудование

**FIRST IN TAGANROG. SMALL-SIZED AIRCRAFTS ECONOMIC USAGE
MLANH-2000****Voronkov Y.S., Voronkov O.Y.***ONTTE «Juvenal», Taganrog, e-mail: yuven@mail.ru*

In early 2000, ONTTE «Juvenal» together with the Department of aircraft Taganrog State University (TSURE) made a joint decision to phase implementation of the project «Development of small-sized high-tech unmanned aerial vehicles with remote control general-purpose (for use in the North Caucasus and the Volga region) in the framework of the «Development and implementation of the Federal Regional policy in the field of science and education», in accordance with section «Promoting scientific and technological potential of the country's regions and the unique educational facilities» through participation in the annual Ministry of Education of the Russian Federation competitions.

Keywords: small-size aircraft (LAM) economic usage, target load, aerodynamic characteristics, hardware and equipment

В 70-е годы минувшего столетия в Советском Союзе студенческие конструкторские бюро (СКБ) авиационных ВУЗов создали и испытали множество образцов дистанционно пилотируемых малоразмерных летательных аппаратов (МЛА) народно-хозяйственного применения, которые, имея далеко не совершенную аппаратуру управления и целевого применения, показали высокую эффективность при выполнении задач гражданского назначения.

Так, в 1978 году над полями Молдавии испытывались телепилотируемые (дистанционно пилотируемые) МЛА, спроектированные и построенные в СКБ Московского авиационного института (МАИ) им. С. Орджоникидзе. Площадь 150 га малоразмерный летательный аппарат обрабатывал всего за один час (для сравнения: стоимость обработки одного гектара МЛА составляла тогда 4 – 6 копеек, а обработка сельскохозяйственным самолетом Ан-2 – от 80 до 90 копеек).

Тогда же на эти работы обратили самое пристальное внимание авиамоделисты – экспериментаторы нашего города. Они получили реальное подтверждение своих давних намерений – использовать авиамодел

для выполнения народнохозяйственных задач. Родство радиоуправляемых моделей и МЛА было явным.

Тернистый путь воплощения

В последующие годы, теперь уже от имени юридического лица (ОНТТЭ «Ювенал»), без лишнего шума и рекламы мы продолжали настойчиво изучать, анализировать бесценный опыт создания МЛА и готовить новаторские предложения для авиационных кафедр наших ВУЗов. Разработанные темы вносились для дипломных и конкурсных проектов БЛА преимущественно гражданской сферы применения. Наиболее неясные вопросы, новые идеи воплощались и отрабатывались на летающих моделях и затем рекомендовались к дальнейшей разработке в дипломных проектах.

Инициатива ОНТТЭ «Ювенал» по разработке дипломных проектов БЛА и МЛА была поддержана Генеральным директором – Генеральным конструктором ОАО ТАНТК им. Г.М. Бериева, заведующим кафедрой летательных аппаратов ТРТУ Г.С. Панатовым. Он подчеркивал важность и перспективность работ в этом направлении.

Но даже после получения кафедрой ЛА финансовых средств на проектирование аппарата МЛАНХ-2000 желающих участвовать в выполнении расчетно-графических работ по определению облика и характеристик аппарата, разработке конструкции планера и его систем, выпуске рабочих чертежей среди студентов и аспирантов университета в то время, к сожалению, так и не оказалось. Для постройки аппарата МЛАНХ-2000 не удалось найти и привлечь молодежь из числа студентов и аспирантов с умениями и навыками работы столярным, слесарным инструментом, умеющих работать на токарном, фрезерном оборудовании.

Сроки выполнения договора неумолимо приближались, поэтому все работы по проектированию аппарата, включая выполнение предпроектных исследований, разработку технического задания, разработку эскизного проекта, выпуск рабочей документации, постройку аппарата МЛАНХ-2000, подготовку проекта переносного комплекса воздушного мониторинга «Альтаир-01» на основе аппарата МЛАНХ-2000, пришлось выполнять инициаторам проекта. Как и своими руками изготавливать оснастку и различные узлы аппарата. Из-за отсутствия помещения часть работ выполнялась в домашних условиях, а общую сборку аппарата пришлось заказывать одному из руководителей кружков дополнительного образования. Но, несмотря на всякого рода трудности, аппарат МЛАНХ-2000 был построен в объеме выделенных на эти цели средств и передан в ТРТУ на испытания.

Назначение и требования к аппарату

Малоразмерный летательный аппарат народно-хозяйственного применения. МЛАНХ-2000 был предназначен для:

1. измерения температуры, влажности окружающей среды и передачи снимаемых параметров состояния атмосферы на землю;
2. исследований климатических явлений с целью прогнозирования чрезвычайных ситуаций;
3. взятия проб воздуха в приземных слоях атмосферы.

Требования, предъявляемые к летательному аппарату:

Максимальный размер агрегатов аппарата в растыкованном состоянии – не более 1700 мм.

Полетная масса – не более 7 кг.

Масса целевой нагрузки – 2 кг.

Высота полета – до 500 м.

Потребная дистанция для взлета и посадки в условиях стандартной атмосферы – не более 200 м.

Продолжительность полета – 0,5 ч.

Аппарат должен летать на заданной высоте и быть полностью управляемым в пределах видимости.

Аппарат должен иметь конструкцию, позволяющую перевозить его в разобранном на агрегаты состоянии в легковом автотранспорте с последующей сборкой в полевых условиях, с минимальным объемом подготовительных работ к вылету на задание.

Аппарат должен иметь конструкцию с достаточным ресурсом, обеспечивающим не менее 10 посадок, ремонтпригодную в полевых условиях силами специалистов средней квалификации.

Конструкция аппарата должна обеспечивать быструю и безопасную заправку топливом в полевых условиях, удобную и простую замену аккумуляторов с обеспечением надежности электрического контакта всех электроцепей и возможностью их проверки.

На аппарате должны быть предусмотрены легкодоступные выключатели питания целевой нагрузки, аппаратуры связи, управления и навигации. Допускается использование объединенного выключателя питания всей бортовой аппаратуры.

Конструкция аппарата должна обеспечить быструю замену силовой установки в полевых условиях.

Аппарат должен быть оснащен дистанционными средствами управления по курсу, крену, тангажу, дросселем силовой установки, а также средствами дистанционного включения и выключения аппаратуры целевого назначения.

Средства управления аппаратом должны обеспечивать устойчивый полет с сохранением заданной высоты над сушей и водной поверхностью.

Состав целевой нагрузки аппарата должен включать в себя:

- микротермометр с линией передачи данных на Землю;
 - высотомер барометрического или иного принципа действия;
 - измеритель влажности воздуха;
 - средства для взятия проб воздуха.
- Отсек целевой нагрузки должен иметь габариты не менее:
- длина – 400 мм,

- высота – 100 мм,
- ширина – 80 мм.

Конструкция аппарата должна обеспечить быстрый и безопасный монтаж, демонтаж и замену целевой нагрузки, ее осмотр перед полетом и после его выполнения.

На борту аппарата должны быть предусмотрены узлы для:

1. обеспечения разгона аппарата перед взлетом катапультной или стартовым амортизатором;

2. обеспечения установки средств безопасной посадки на грунтовые полосы.

Средства наземного обслуживания должны обеспечивать качественное и высокопроизводительное техническое обслуживание аппарата на грунтовых площадках в полевых условиях с соблюдением мер защиты окружающей среды.

В соответствии с предъявляемыми требованиями был спроектирован и построен малоразмерный летательный аппарат народно-хозяйственного применения МЛАНХ-2000, который имел следующую конструкцию.

Описание конструкции

Малоразмерный летательный аппарат народно-хозяйственного применения МЛАНХ-2000 выполнен в модульно-блочном варианте по схеме моноплан с верхним расположением крыла и Т-образным оперением, с силовой установкой в мотогондоле, закрепленной на пилоне над фюзеляжем в месте разъема крыла.

Шасси на аппарате отсутствовало. На фюзеляже для посадки на грунт и травяное покрытие была предусмотрена лыжа.

Конструктивно аппарат представлял собой деревянно-пластиковую конструкцию с широким использованием деталей из композитов.

Все агрегаты аппарата имели возможность расстыковки и замены в полевых условиях.

Установка винтомоторной группы на пилоне над фюзеляжем позволяла размещать в носовой части аппарата целевую нагрузку, в том числе датчики, выводимые в невозмущенный поток воздуха перед носовой частью фюзеляжа. Это решение позволяло создать более комфортные условия для работы целевой нагрузки. Отдаление ее от вредных влияний работы силовой установки способствовало более свободному доступу к аппаратуре.

Из необходимости многочасового ресурса работы конструкции аппарата с одно-

временным снижением затрат на его производство фюзеляж аппарата выполнялся наборным, состоящим из продольного набора – деревянных лонжеронов, а также поперечного набора – фанерных шпангоутов. Сверху фюзеляж был обшит пластинами из бальзы на цианакриловом клее и покрыт специальной полимерной пленкой с возможностью ее термоусадки.

Носовая часть аппарата была снабжена съемным обтекателем, выклеенным по болванке из стеклоткани на эпоксидном связующем. В местах усиления фюзеляжа были применены детали из стеклопластика.

Крыло – наборной конструкции, выполнено по однолонжеронной схеме с задней стенкой. Продольным набором крыла являлись лонжероны, представляющие собой полки со стенкой. Полки выполнены из прямослойной сосны с усилением органолокном на эпоксидном связующем. Поперечным набором являлись нервюры из бальзовых пластин. Задняя стенка, к которой прикреплены узлы навески элеронов из алюминиевого сплава, как принадлежность продольного набора также была усилена органолокном на эпоксидном связующем. Крыло, имея специальные фрезерованные узлы, крепилось к узлам внутри фюзеляжа, выполненным из алюминиевого сплава, посредством винтов, образуя легкоразъемное в полевых условиях соединение. Разъем крыла у правой и левой боковин фюзеляжа производился путем отвинчивания двух винтов внутри фюзеляжа через специальные лючки с последующим удалением корневых частей крыла из гнезд его крепления.

Верхняя и нижняя поверхности носовых частей крыла до лонжерона с целью сохранения более точных теоретических обводов профиля крыла и повышения прочности были обшиты листовой бальзой. Обшивка всего крыла, верх и низ, выполнена из полимерной пленки с возможностью ее термоусадки.

Горизонтальное оперение (ГО) выполнено наборным по однолонжеронной схеме со стенкой, на которую посредством специальных узлов навешивался руль высоты.

Обшивалось ГО спереди до лонжерона пластинами из бальзы. Окончательно ГО обшивалось специальной полимерной пленкой с возможностью ее термоусадки.

Вертикальное оперение (ВО) имело аналогичную конструкцию.

Мотогондол аппарата была выклеена из стеклоткани на эпоксидном связующем

по болванке. Внутри мотогондолы на эпоксидном связующем установлены усиленные шпангоуты, связанные между собой лонжеронами. На одном из шпангоутов посредством стального крепежа закреплена фрезерованная моторама. В пространстве за усиленными шпангоутами размещен цилиндрический топливный бак. Мотогондола с внутренними элементами и силовой установкой являлась отдельным легкозаменяемым модулем.

Управление аппаратом осуществлялось дистанционно комплектом пропорциональной радиоаппаратуры 9CAP Futaba. В её составе T9CAP PCM 1024 Futaba – передатчик и R149DP Futaba – приемник. Сигналы управления передавались по каналам курса, крена, тангажа, изменения режимов работы двигателя. Позднее для изменения режимов работы бортовой аппаратуры и целевой нагрузки, для обеспечения стабильного полета при выполнении задания в каналы управления по курсу, крену, тангажу были включены пьезогирометры GY240 по одному на каждый канал с соответствующей их ориентацией при установке. Сервоприводы S3001 Futaba управления рулем высоты, рулем направления и целевой нагрузкой были размещены в фюзеляже на специальных амортизированных платах. Сервоприводы S3001 Futaba управления элеронами размещались в крыле.

В любой момент времени с целью проверок и отработок аппаратура могла быть включена. В дальнейшем развитии аппарата МЛАНХ-2000 предусмотрена установка бортовой системы автоматизированного управления (БСАУ) с комплектом датчиков линейных положений, высоты полета, скорости, угловых скоростей, угловых отклонений.

В местах расстыковки агрегатов аппарата механическая проводка системы управления была снабжена высокоточными узлами передачи усилий, которые легко в полевых условиях отделяли одну часть проводки от другой.

Аппарат был оснащен четырехтактным двигателем O.S. Engine FS-70 II с глушителем. Двигатель был закреплен на моторама на амортизаторах внутри мотогондолы.

Топливный бак располагался выше уровня жиклера, и топливо поступало в двигатель самотеком. Была предусмотрена принудительная подача топлива из бака в двигатель под избыточным давлением, отбираемым из картера двигателя.

МЛАНХ-2000 был оснащен двухлопастным воздушным винтом диаметром 300 мм с шагом 120 мм.

В соответствии с проектом, аппарат имел отсек целевой нагрузки размером 400×100×80 мм. Отсек предназначен для размещения:

1. Микротермометра с линией передачи данных.
2. Высотомера барометрического принципа действия.
3. Измерителя влажности воздуха.
4. Аппаратуры изокинетического отбора проб воздуха.

Некоторые итоги предпроектных исследований

Одним из условий малозатратной эксплуатации МЛА являлось сокращение времени на его подготовку к вылету. Различные проекты МЛА, подготовленные ОНТТЭ «Ювенал» в 2000 годах для кафедры ЛА ТРТУ г. Таганрога, представляли собой конструктивные решения, которые могут обеспечить сокращение затрат времени на их подготовку к вылету и обеспечить контроль технического состояния.

К таким решениям относятся, прежде всего, блочность, модульность и взаимозаменяемость оборудования аппарата и его агрегатов.

Так, аппарат МЛАНХ-2000 при его габаритно-массовых параметрах предусматривал поагрегатную расстыковку с возможностью замены каждого из агрегатов в полевых условиях.

Выполнение элементов фюзеляжа в виде несущих оболочек, имеющих цельнопластиковую или деревяннопластиковую конструкцию, позволяло легко их демонтировать в полевых условиях с целью обеспечения доступа к бортовому оборудованию и обеспечения ремонта самих оболочек.

ОНТТЭ «Ювенал» разрабатывало проект МЛА как вариант МЛАНХ-2000, характерной чертой которого был разъем фюзеляжа в вертикальной плоскости для возможности отделения правой или левой половины оболочки. При этом фюзеляж имел продольную в данной плоскости раму с сечением двутавра из стеклоуглепластика, на стенке которой смонтировано оборудование, а на пояса рамы были уложены кромки правой и левой оболочки, фиксируемой резьбовым крепежом. Продольная рама при этом являлась силовым элементом, вос-

принимающим маловероятный лобовой удар при отвесно-пикирующем падении аппарата на землю при нештатной посадке. Контроль состояния оборудования и его работоспособности можно было легко проводить при снятой правой и левой частях оболочки фюзеляжа с помощью переносного наземного пульта контроля систем.

В соответствии с проектом, целевая нагрузка МЛАНХ-2000 была скомпонована по модульному принципу в стандартные для данного аппарата габариты с обеспечением взаимозаменяемости как модулей, так и посадочных мест их установки. Она была легко заменяема в полевых условиях в соответствии с выполняемыми задачами. Такое техническое решение позволяло одному аппарату в течение летного дня обеспечивать выполнение широкого круга задач, различающихся как по содержанию, так и по условиям выполнения.

Конструкция МЛА в силу кажущейся простоты и малых габаритов их элементов и узлов диктует иные, более оригинальные подходы при проектировании с удовлетворением ряда противоречивых требований. Так, необходимо уделять особое внимание многофункциональности элементов конструкции аппарата, т.е. сокращению их числа за счет того, что один и тот же узел одновременно выполняет несколько функций.

В аппарате МЛАНХ-2000 в мотогондоле, расположенной над фюзеляжем, размещены двигатель с воздушным винтом, топливный бак, система топливопитания и контроля наличия топлива, а в одной из модификаций – датчик изокINETического отбора проб воздуха. В некоторых других модификациях МЛАНХ-2000 мотогондолa содержит тяговый электродвигатель с воздушным винтом, регулятор хода электродвигателя, резервный блок аккумуляторов и ряд датчиков аппаратуры целевого назначения. Мотогондолa является легкоъемной и легкозаменяемой в полевых условиях, обеспечивает возможность надежной защиты силовой установки от повреждений при посадке аппарата. Все агрегаты, расположенные в мотогондолe, доступны и легко контролируются.

Особенности проекта аппарата МЛАНХ-2000:

- элементы крепления целевой нагрузки аппарата включены в конструктивно-силовую схему фюзеляжа;
- лючки и вырезы под целевую нагрузку усилены и окантованы силовыми элементами;

- силовая установка выделена в отдельный легкосменяемый модуль;

- силовая установка закреплена в мотогондолe с использованием эластичных амортизирующих и звукопоглощающих элементов;

- на аппарате обеспечена возможность осмотра всех стыковочных узлов планера и основных элементов его системы управления;

- система спасения на борту аппарата сосредоточена на спасении дорогостоящего оборудования, а безопасность места падения самого аппарата обеспечивается парашютной системой спасения, фалы которой выдерживают перегрузку $n \sim 10$;

- элементы системы спасения аппарата легко контролируемы перед каждым полетом;

- радиоэлектронное оборудование МЛАНХ-2000 и целевая нагрузка интегрированы в отдельные модули с обеспечением доступа к ним в полевых условиях и при всех видах технического обслуживания.

Основные технические характеристики аппарата МЛАНХ-2000

Длина, м	1,500
Размах крыла, м	2,500
Площадь крыла, м	0,700
Максимальное аэродинамическое качество	17,6
Взлетная масса, кг	6,500
Масса целевой нагрузки, кг	2,000
Масса топлива, кг	1,000
Мощность двигателя, л.с.	1,2
Диапазон скоростей, км/ч	37– 134
Радиус действия, км	5 – 20
Время полета, час	1,0
Высота полета (теоретический потолок) м	> 3000

МЛАНХ-2000 имеет диапазон рабочих скоростей, при котором он в зону критических чисел Рейнольдса (Re) 10 000 – 200 000 не попадает.

Заключение

Применение новых материалов и технологий, а также высокоинтегрированного бортового оборудования для МЛА способствует повышению ресурса планера и увеличению весовой отдачи аппарата, что в конечном итоге может обеспечить создание МЛА уменьшенных габаритно-массовых параметров с сохранением его важнейших характеристик.

Применение новых типов силовых установок на основе электродвигателей с про-

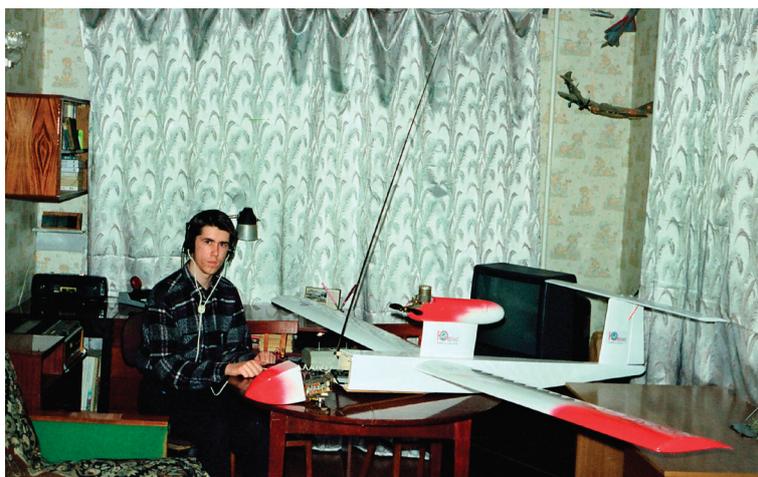


Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

цессорным управлением позволяет обеспечивать их многократно повторные запуски и увеличивать продолжительность полета МЛА в экономичном режиме с использованием атмосферных явлений.

Разработка вопросов внедрения новых технических решений на этапах предварительного проектирования МЛА, таких как комплексирование сигналов спутниковой радионавигационной системы типа GPS с данными бесплатформенной инерциальной навигационной системы, обеспечит создание аппарата с конкурентоспособными возможностями, приспособленными для работы в хозяйственном комплексе страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болонкин А. Теория полета летающих моделей. – М.: ДОСААФ, 1964.
2. Бадягин А.Л., Мухаммедов Ф.А. Проектирование легких самолетов. – М.: Машиностроение, 1978 .
3. Макаров Ю.В. Летательные аппараты МАИ. – М.: Изд-во МАИ, 1994.
4. Ханцев Ф. Основы общей методики конструирования (Систематизация конструирования). – Л.: Машиностроение, 1962.
5. Шмитц Н.В. Аэродинамика малых скоростей / Пер. с нем. – М.: ДОСААФ, 1963. – 59 с.
6. Журналы: «Техническая информация» ЦАГИ; «Изобретатель и рационализатор»; «Техника-молодежи»; «Знание-сила»; «Science News» (США); «Изобретения стран мира» Кл. В64С.
7. Материалы Благотворительного общества научно-технического творчества и экологии «Ювенал» города Таганрога.
8. Договор от 08 декабря 2000 г. между ректором ТРТУ Захаревичем В.Г. и Администрацией РО, Бедриком А.И. Решение Правительства Ростовской области от 04 декабря 2000г. № 46., Код темы ГРНТИ: 55.47.07., № гос. регистрации 01.20.0008487
9. Договор от 28 июня 2000 г. между Первым проректором по научной работе ТРТУ Калякиным А.И. и Начальником Северокавказского Гидрометцентра Лурье П.М. по выполнению обязательств о расширении и укреплении творческого содружества работников науки и промышленности.

УДК 681.518.3

ТЕСТИРОВАНИЕ КАУПЕРА ГИПЕРЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ АДИАБАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

¹Гилев В.М., ¹Шпак С.И., ²Гаркуша В.В., ²Шакиров С.Р., ²Яковлев В.В.

¹Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск, e-mail: gil@itam.nsc.ru;

²Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН, Новосибирск, e-mail: vgarkusha@kti.nsc.ru

В данной работе представлено описание и результаты тестирования каупера создаваемой в ИТПМ СО РАН гиперзвуковой аэродинамической трубы адиабатического сжатия. Рассмотрены функции, выполняемые каупером, приведена его структура, методика проведения измерений температуры. Представлены результаты тестирования каупера, выполненные с использованием создаваемой системы управления аэродинамической трубой.

Ключевые слова: Гиперзвуковая аэродинамическая труба, каупер, система управления трубой, аппаратно-программный комплекс

TESTING OF CAUPER OF A HYPERSONIC WIND TUNNEL OF ADIABATIC COMPRESSION

¹Gilyov V.M., ¹Shpak S.I., ²Garkusha V.V., ²Shakirov S.R., ²Yakovlev V.V.

¹Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Novosibirsk, e-mail: gil@itam.nsc.ru;

²Design Technological Institute of Digital Techniques SB RAS, Novosibirsk, e-mail: vgarkusha@kti.nsc.ru

The description and results of testing of a cauper created at ITAM of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science on hypersonic wind tunnel of adiabatic compression is submitted. The functions which are carried out by a cauper are considered, his structure, a technique of carrying out measurements of temperature is given. Results of testing of the cauper executed with use of the created control system of a wind tunnel are presented.

Keywords: Hypersonic wind tunnel, cauper, control system of the wind tunnel, hardware-software complex

Для проведения научных исследований в области сверх- и гиперзвуковой аэродинамики в Институте теоретической и прикладной механики (ИТПМ) им. С.А. Христиановича СО РАН создается новая оригинальная экспериментальная установка – гиперзвуковая аэродинамическая труба адиабатического сжатия АТ-304 [1, 2], позволяющая моделировать обтекание перспективных летательных аппаратов вплоть до космических скоростей полета. Чтобы обеспечить такие условия рабочий газ должен иметь в форкамере давление до 3000 атм и температуру до 3000 К. Нагрев газа осуществляется в два этапа – сначала в омическом подогревателе (каупере) и далее в адиабатическом нагревателе. В данной статье рассматривается тестирование первой системы подогрева газа – Каупера [2, 3].

Каупер аэродинамической трубы. Каупер аэродинамической трубы представляет собой полый цилиндрический объем, через который проходит рабочий газ (воздух) перед тем, как поступить в адиабатический подогреватель газа. Корпус, через который проходит рабочий газ, выполнен в виде трубы из нержавеющей стали. Внутренний объем корпуса заполнен плоскими вкладышами с от-

верстиями, равномерно распределенными по площади вкладыша. Вкладыши сделаны из нихромового сплава и установлены последовательно друг за другом с небольшим зазором так, чтобы была возможность для прохождения газового потока через объем, заполненный вкладышами. Внешний вид каупера на стадии его технологических испытаний представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид каупера аэродинамической трубы

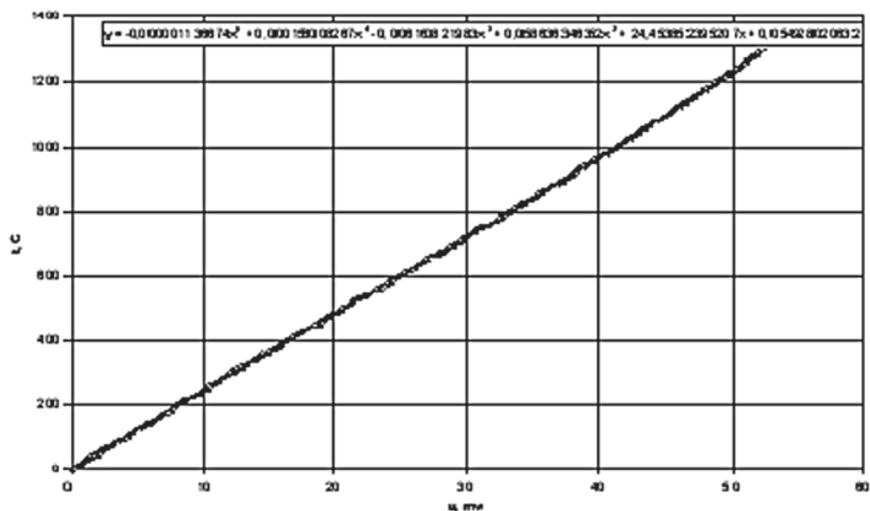


Рис. 2. Градуировочная кривая термопары каупера

Электрическая цепь, обеспечивающая питание каупера – трехфазная, изолированная от корпуса. Спираль через электрический контактор подключается к силовой электрической сети 380 В. Для измерения температуры газа, протекающего через каупер, на его стенках в разных точках установлены четыре термопары («хромель-капель»). При этом в качестве контрольной температуры используются показания выбранной оператором термопары.

Управление каупером. Управление каупером аэродинамической трубы осуществляется АСУ АТ-304 [2, 6] с использованием аппаратно-программного комплекса АПК-2010, который разработан в КТИ ВТ совместно с ИТПМ СО РАН и предназначен для управления источником рабочего газа аэродинамической трубы [5]. Комплекс АПК-2010 построен на основе магистрально-модульного принципа, предложенного коллективом разработчиков [4]. В состав АПК-2010 входят измерительные модули – аналого-цифровые преобразователи (АЦП), а также модули дискретных сигналов, которые позволяют по команде программы, выполняющейся в компьютере, включить/выключить подачу напряжения на электрическую спираль каупера. Алгоритм регулирования построен таким образом, что при достижении заданной температуры подается сигнал на выключение контактора, а при спаде температуры ниже определенного уровня по команде компьютера контактор вновь включается и силовое питающее напряжение подается на электрическую спираль каупера. Таким способом произ-

водится непрерывное автоматическое поддержание температуры газа в каупере аэродинамической трубы.

Измерение температуры рабочего газа. Измерение температуры рабочего газа в каупере осуществляется с помощью встроенных термопар. Напряжение на выходе каждой термопары измеряется с использованием соответствующих каналов АЦП. Полученные значения переводятся в температуру с использованием построенной аппроксимации табличных данных (рис. 2), и отображаются на мониторе АРМ оператора аэродинамической трубы в числовом, а также в графическом виде. Таким образом, на экране монитора можно визуально наблюдать весь процесс нагрева рабочего газа в каупере во времени.

Текущие значения температуры в точках установки термопар каупера заносятся в базу данных эксперимента. Это позволяет анализировать результаты работы аэродинамической трубы после завершения эксперимента и использовать эти данные в процессе обработки результатов проводимых исследований [6]. Кроме того, эти данные могут помочь обслуживающему персоналу при разборе нештатных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации аэродинамической трубы.

Тестирование каупера. По завершении разработки и изготовления каупера, а также аппаратно-программных средств АСУ, использующихся, в том числе и при измерении температуры газа, проводилась проверка работоспособности каупера, а именно: измерялось время нагрева до заданной

температуры и возможность длительной работы без перегрева конструкции и нагревательных элементов. Кроме этого осуществлялась проверка работоспособности создаваемой АСУ АТ-304 в приближенных к рабочим условиям эксплуатации. Тестирование проводилось в двух режимах.

1) Тестирование и калибровка термодатчиков каупера. Для этой цели термодатчики опускались в сосуд с водой, которая подвергалась нагреву с помощью электроплитки. На рис. 3 представлена диаграмма изменения температуры при таком способе тестирования термодатчиков. Видно, что измерительная система правильно отражает процесс нагрева. Термодатчик Т2 располагалась над

нагреваемым сосудом, а термодатчик Т3 опускали в уже кипящую воду. Термодатчики Т1 и Т4 в эксперименте не участвовали.

2) Тестирование каупера в режиме без теплоизоляции. Результаты тестирования представлены на рис. 4. Сначала идет процесс нагрева (около 40 минут). Термодатчики установлены в таком порядке: Т1 и Т3 – в середине (по высоте) каупера, Т2 – сверху и Т4 – внизу. Рабочий газ через каупер в этих испытаниях не пропускаться, поэтому шел обычный процесс конвективного теплообмена с окружающей средой, что и отражено на графике. Затем фиксируется длительный процесс остывания всей конструкции.

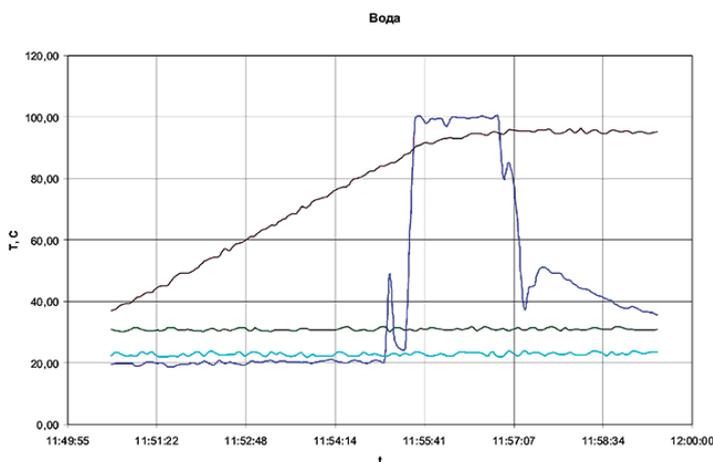


Рис. 3. Результаты тестирования термодатчиков аэродинамической трубы

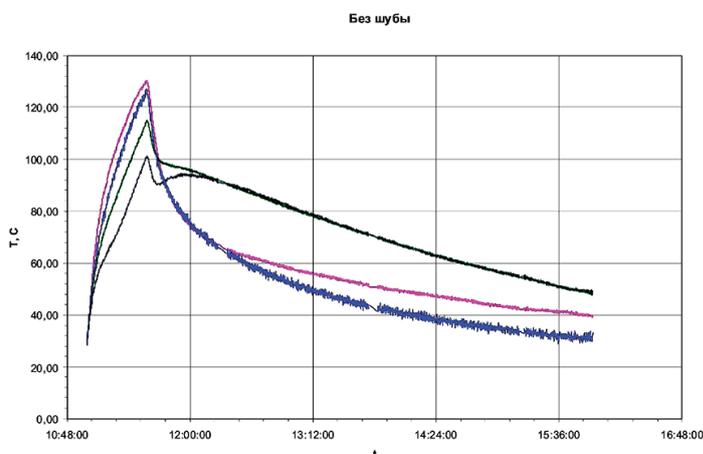


Рис. 4. Результаты тестирования каупера в режиме без теплоизоляции

Заключение

Проведенные тестовые испытания каупера показали работоспособность как самого устройства (каупера), так и создаваемой АСУ АТ-304 и соответствие их заданным параметрам. В настоящее время ведутся работы по отладке системы и дальнейшей привязке её к реальным условиям эксперимента.

Выполнение данного проекта осуществлялось при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-07-00483-а и 12-07-00548-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zvegintsev V.I., Shpiyuk A.N., Shpak S.I. Mathematical model of the working gas source for hypersonic wind tunnel АТ-304 // 15th International conference on the methods of aerophysical research (ICMAR'2010) (Novosibirsk, Russia, 1-6 nov., 2010): abstracts. Pt.1. -Novosibirsk, 2010. – P. 261–262.
2. Gilyov V.M., Garkusha V.V., Zvegintsev V.I., Shpiyuk A.N., Shpak S.I., Yakovlev V.V. Structure of data acquisition

system of experimental researches in the hypersonic wind tunnel // 16th International conference on the methods of aerophysical research (ICMAR'2012) (Kazan–Novosibirsk, Russia, 20–26 aug., 2012): Abstracts. Pt. 1. – Kazan, 2012. – P. 110–111.

3. Гилев В.М., Шпак С.И. Управление каупером гиперзвуковой аэродинамической трубы // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 5. – С. 109–111.

4. Гаркуша В.В., Гилев В.М., Мишнев А.С., Собстель Г.М., Шевченко Д.О., Яковлев В.В. Магистрально-модульный подход к созданию унифицированной системы автоматизации научных исследований и управления технологическими процессами // Сборник научных трудов Sworld. Материалы международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте'2012». – Вып. 2. Том 4. – Одесса: Куприненко, 2012. – ЦИТ: 212-259. – С. 40–43.

5. Гилев В.М., Гаркуша В.В., Мишнев А.С., Шевченко Д.О., Яковлев В.В. Аппаратно-программный комплекс для создания систем автоматизации // Датчики и системы. – 2012. – № 4. – С. 6–9.

6. Гилев В.М., Суродин С.П., Шакиров С.Р., Шевченко Д.О., Шпак С.И. Автоматизированная система управления гиперзвуковой аэродинамической трубой адiabатического сжатия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 11. – С. 38–40.

УДК 551.509

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУБ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
НАЗЕМНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГО РЕАГЕНТА**¹Диневич Л.А., ²Ингель Л.Х., ³Хайн А.¹*Университет Тель-Авива, Рамат-Авив, e-mail: dinevich@013.net;*²*Научно-производственное объединение «Тайфун», Обнинск;*³*Еврейский университет, Иерусалим*

Предлагается способ повышения эффективности наземных генераторов ядер кристаллизации при засевах облаков с целью увеличения осадков и предотвращения развития града. Использование в этих генераторах специальных труб с вытяжными вентиляторами разной мощности позволяет поднять уровень введения реагента на высоту 20-30 и более метров. При этом сам факт внесения частиц на приподнятых уровнях, по всей видимости, может приводить к заметному повышению их концентраций в пограничном слое атмосферы и в облаках.

Ключевые слова: засева облаков, наземные генераторы, концентрация реагента

**THE USE OF PIPES TO INCREASE THE EFFECTIVENESS
OF GROUND-BASED GENERATORS**¹Dinevich L., ²Ingel L., ³Khain A.¹*George S. Wise Faculty of Natural Sciences, Tel-Aviv University, Ramat Aviv, e-mail: dinevich@013.net;*²*Research and Production Association «Typhoon», Obninsk;*³*Department of Atmospheric Sciences, The Hebrew University, Jerusalem*

Provides a method of improving the efficiency of ground generators nucleation in cloud seeding to increase rainfall and prevent the development of hail. Using these generators, special pipes with exhaust fans of different power can raise the level of reagent introduction to a height of 20-30 meters and more. Thus the fact of making particles elevated levels apparently can lead to a marked increase in their concentration in the boundary layer air and clouds.

Keywords: cloud seeding, ground generators, reagent concentration

Наземные генераторы ядер кристаллизации широко используются для воздействий на облака с целью увеличения осадков и предотвращения развития града [1, 4]. Использование наземных генераторов имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с внесением реагента в облака с помощью самолетов и ракет. Наземные генераторы дешевы, могут работать в любое время дня и ночи при любых атмосферных условиях, включая сильный ветер, дождь, снег, и т.д. Особое преимущество наземных генераторов проявляется в гористой местности, где использование самолетов представляет серьезную опасность. В то же время, в гористой местности вертикальные потоки бывают достаточно интенсивными, стабильными и изученными. Это делает наземные генераторы эффективным средством засева орографических облаков (см., например, [5]).

И в случаях воздействия на орографические облака, и при внутримассовых осадкообразовательных процессах конвективные или орографические течения сами доставляют искусственные ядра кристаллизации от генераторов в зону роста капель или образования града. При этом отпадает

необходимость сложной задачи радиолокационного определения этих областей. При фронтальных процессах следует учитывать зону предварительного засева [4].

Основная проблема связанная с использованием наземных генераторов состоит в создании достаточной концентрации реагента на высотах, где этот реагент наиболее активен. В работе [4] отмечалось, что целесообразно наземные генераторы поднимать на несколько метров над землей, чтобы уменьшить потери реагента на подстилающей поверхности, деревьях, строениях и т.д. Поскольку подъем всего генератора связан с серьезными техническими трудностями и большими затратами, в настоящей статье предлагается использовать специальные трубы высотой порядка 15 м, в которых продукты горения от наземного генератора могут за счет нагрева при горении и специального вытяжного вентилятора быть подняты на высоту 20, 30 и более метров. Высота подъема может зависеть от мощности вентилятора. Реагент с помощью таких труб может быть эффективнее вовлечен в естественные конвективные движения (струи и термики) или орографические восходящие движения. При этом существенно

уменьшается негативное влияние мелко-масштабной турбулентности в приземном слое. Ниже приведены соответствующие расчёты.

Оценка эффекта труб

Эффекты от использования труб можно разделить на две категории.

Эффекты, не зависящие от динамики восходящих движений в трубе и над ней. Имеется в виду, что даже если восходящие движения очень медленны, и восходящая струя практически не образуется, то и в этом случае, благодаря трубе, частицы вносятся в воздух не у поверхности, а на уровне высоты трубы $z = H$. При этом частицы в меньшей степени теряются на подстилающей поверхности, в большей степени насыщают пограничный слой и легче достигают необходимых уровней.

Эффекты, обусловленные восходящими струями, благодаря которым частицы дополнительно поднимаются над трубой. Такие эффекты могут усиливаться применением специальных вытяжных вентиляторов.

Эффекты, не связанные с динамикой восходящих движений в трубе и над ней.

При слабых вертикальных движениях частицы по выходе из труб переносятся, прежде всего, горизонтальным ветром – распределяются по горизонтали. Поскольку горизонтальный поток существенно сильнее вертикального, то в первом приближении можно рассматривать эффективный плоский горизонтальный источник частиц на уровне высоты труб $z = H$. Рассмотрим задачу, в которой на этой высоте действует однородный по горизонтали плоский источник частиц, интенсивность которого обозначим через σ ($\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$). Диффузия частиц от этого источника описывается уравнением

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K(z) \frac{\partial n}{\partial z} + \sigma \delta(z - H). \quad (1)$$

Здесь n – концентрация частиц, $K(z)$ – коэффициент вертикального турбулентного обмена, t – время, δ – символ дельта-функции Дирака.

Остановимся на краевых условиях. Предполагаем выполнение условия поглощения частиц $n = 0$ на некотором уровне $z = z_0$ (порядка уровня шероховатости). Если искать стационарное решение, то на больших высотах имеет смысл задать условие нулевого градиента концентрации:

$$\frac{\partial n}{\partial z} \xrightarrow{z \rightarrow \infty} 0.$$

Это можно пояснить следующим образом. При длительной работе горизонтального источника частицы распространяются всё выше, их концентрация над источником постепенно выравнивается, и всё более толстый слой среды над ним приобретает концентрацию, близкую к её значению на уровне источника.

Проинтегрировав стационарное уравнение диффузии по z , получаем

$$K(z) \frac{dn}{dz} = -\sigma \eta(z - H) + C. \quad (2)$$

Здесь η – символ единичной функции Хевисайда, C – постоянная интегрирования, которую, с учетом последнего краевого условия следует положить равной σ . Получаем

$$\frac{dn}{dz} = \frac{\sigma [1 - \eta(z - H)]}{K(z)}. \quad (3)$$

Проинтегрировав ещё раз от z_0 до z получаем

$$n = \begin{cases} \sigma \int_{z_0}^z \frac{dz'}{K(z')} & \text{при } z_0 \leq z \leq H, \\ \sigma \int_{z_0}^H \frac{dz'}{K(z')} & \text{при } z \geq H. \end{cases} \quad (4)$$

При стратификации, близкой к нейтральной, в приземном слое зависимость $K(z)$ обычно предполагается линейной [3, 6]: $K = \kappa u_* z$, где κ – безразмерная постоянная Кармана (≈ 0.4), u_* – динамическая скорость. В этом случае на уровне источника и выше получаем

$$n = \frac{\sigma}{\kappa u_*} \ln \frac{H}{z_0}. \quad (5)$$

Пусть эффективная высота источника при внесении частиц без использования труб составляет H_0 , а с трубами – H_1 . Тогда, благодаря использованию труб, концентрация частиц на уровне источника и выше увеличивается с коэффициентом

$$\xi = \ln \frac{H_1}{z_0} / \ln \frac{H_0}{z_0}.$$

Из последнего соотношения видно, что в рассматриваемой модели достигаемая на уровне источника концентрация логариф-

мически растет с его высотой (т.е. высотой трубы). Пусть, например, уровень шероховатости составляет 0.5 м, высота генератора (при отсутствии трубы) – $H_0 = 1.5$ м, высота трубы $H_1 = 15$ м. Тогда, благодаря использованию трубы (поднятого источника), концентрация частиц на его уровне и выше увеличивается примерно в 3 раза. Таким образом, эффект подъема источника получается достаточно значительным. Но, согласно последней формуле, дальнейшее увеличение высоты труб не приводит к сильному эффекту, поскольку зависимость от этой высоты – логарифмическая.

Движение воздуха и концентрация частиц внутри трубы. Чтобы рассчитать подъем струи частиц, выходящей из трубы высотой H , надо предварительно рассчитать средние по сечению скорость и перегрев воздуха (относительно окружающей среды) на выходе из этой трубы (w_H и θ_H соответственно).

Поток нагретого воздуха в трубе ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$\Psi = w_H S_0 = \pi R_0^2 w_H, \quad (6)$$

где S_0 , R_0 – поперечное сечение трубы и ее радиус соответственно, можно выразить с помощью формулы для дымовой тяги [2] (при отсутствии дополнительного механического «вынуждения»). С точностью до обозначений, упомянутая формула имеет вид

$$\Psi = C S_0 (2\alpha g H \theta_H)^{1/2}. \quad (7)$$

Здесь $\alpha = 1/T_*$ – термический коэффициент расширения воздуха, T_* – средняя температура воздуха, g – ускорение свободного падения, C – коэффициент расхода (обычно берётся от 0.65 до 0.70). В (6), (7) предполагается приближенное постоянство средних по сечению вертикальной скорости и перегрева воздуха вдоль трубы. Постоянство скорости достаточно очевидно из неразрывности и практической несжимаемости воздуха. Постоянство перегрева предполагает, что воздух, поднимаясь по трубе, не успевает существенно обменяться теплом со стенками. В пользу такого допущения свидетельствуют приведенные ниже оценки времени подъема – воздух проходит трубу за считанные секунды.

Из (6) и (7) следует соотношение между перегревом воздуха и скоростью его подъема в трубе:

$$w_H = C (2\alpha g H \theta_H)^{1/2}. \quad (8)$$

Обозначим интенсивность источника тепла в трубе через Q (Вт). Этот источник каждую секунду нагревает объем воздуха, равный $\Psi = w_H S_0 = \pi R_0^2 w_H$. Отсюда получаем выражение для отклонения температуры воздуха (т.е. еще одну связь между w_H и θ_H):

$$\theta_H = \frac{Q}{\pi c_p \rho R_0^2 w_H}, \quad (9)$$

где ρ – плотность воздуха, c_p – его теплоемкость при постоянном давлении. Из (8) и (9) находим параметры струи воздуха на выходе из трубы:

$$w_H = \left(\frac{2C^2 \alpha g H Q}{\pi c_p \rho R_0^2} \right)^{1/3}, \quad (10)$$

$$\theta_H = \left[\frac{1}{2\alpha g H} \left(\frac{Q}{\pi C c_p \rho R_0^2} \right)^2 \right]^{1/3}. \quad (11)$$

Оценим также концентрацию частиц на выходе из трубы n_H , если известна производительность генератора частиц Π (частиц/с). Ежесекундно генерируемые частицы распределяются в объеме воздуха $\pi R_0^2 w_H$. Отсюда

$$n_H = \frac{\Pi}{\pi R_0^2 w_H} = \Pi \left(\frac{c_p \rho}{2\pi^2 C^2 \alpha g H R_0^4 Q} \right)^{1/3}. \quad (12)$$

Сделаем оценку. Пусть высота трубы $H = 15$ м, её радиус $R_0 = 0.1$ м. Интенсивность источника тепла в генераторе частиц принимаем $Q = 10^4$ Вт. (Эта цифра получается следующим образом. Теплотворная способность топлива не превышает по порядку величины $3 \cdot 10^7$ Дж/кг – столько у спирта; у нефтепродуктов лишь в полтора раза больше. Если сгорает порядка 1 кг в час, то и получается $Q \sim 10^4$ Вт). При $C = 0.7$ получаем $w_H \approx 5$ м/с, $\theta_H \approx 60$ К; поток воздуха через трубу – порядка 0,15 кубометров в секунду. Время, в течение которого воздух проходит через трубу, составляет около трех секунд.

Пусть A – интенсивность расхода йодистого серебра (г/с), p – количество частиц, которое дает каждый грамм (1/г). Тогда, количество частиц, генерируемое за единицу времени, будет $\Pi = Ap$ (1/с). Если $A = 8,8$ г AgI в час $\approx 3 \cdot 10^{-3}$ г/с; $p \approx 2 \cdot 10^{14}$ 1/г, то $\Pi = 6 \cdot 10^{11}$ 1/с, и концентрация частиц на выходе из трубы

$$n_H = \frac{\Pi}{\pi R_0^2 w_H} \approx 4 \cdot 10^{12} \text{ 1/м}^3$$

Отметим слабую зависимость величин в (10)-(12) от H . Даже изменение высоты трубы в два раза лишь примерно на четверть увеличивает вертикальную скорость и в той же степени уменьшает перегрев струи и концентрацию частиц. Столь же слаба зависимость w_H и n_H от интенсивности источника тепла Q (перегрев воздуха зависит от Q более сильно). Наиболее существенна зависимость от радиуса трубы, с увеличением которого поток воздуха через трубу ($\text{м}^3/\text{с}$) увеличивается, но уменьшаются величины w_H , θ_H и n_H (особенно две последние). Увеличение же высоты трубы, в основном меняет лишь уровень, на котором вносятся частицы, а не динамику дальнейшего подъема этих частиц.

Динамика восходящей конвективной струи над трубой. Будем пользоваться численной моделью восходящих турбулентных конвективных струй, которая подробно описана и проанализирована в [8]. В упомянутой монографии эта модель в какой-то мере апробирована сопоставлением с натурными данными. Данная модель частично использовалась нами в предыдущей работе [4] (следует оговориться, что она предполагает отсутствие достаточно сильного ветра). Приведем здесь некоторые сведения об используемой модели.

В теории струй метеотронов обычно предполагается, что на некотором уровне $z = 0$ (в нашем случае это будет уровень $z = H$) действуют стационарные источники тепла и вертикального количества движения мощностью Q_θ и Q_w соответственно, локализованные в одной и той же области малых размеров. Предполагается, что мощность этих источников достаточно велика, так что над ними образуется относительно тонкая турбулентная осесимметричная восходящая струя.

С использованием приближения пограничного слоя, вытянутого вдоль оси струи и гипотезы подобия профилей вертикальной скорости и температурного возмущения в струе, для этих возмущений температуры и скорости выведена система уравнений

$$\begin{aligned} \frac{d}{dz}(wR)^2 &= \frac{a_2}{a_1} \alpha g \theta R^2, \\ \frac{d}{dz}(w\theta R^2) &= -\frac{a_4}{a_3} \Gamma w R^2. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь z – вертикальная координата, $R(z)$ – радиус струи (эта функция определяется интенсивностью вовлечения), w и θ – вертикальная скорость и отклонение температуры на оси струи соответственно, $\Gamma(z) = \gamma_a - \gamma(z)$ – отличие вертикального градиента температуры от сухоадиабатического ($\Gamma > 0$ соответствует устойчивой стратификации); a_i – безразмерные коэффициенты, значения которых выражаются через интегралы от предполагаемых радиальных профилей w и θ . В [8], из эмпирических данных приняты радиальные зависимости типа $\sqrt{1 - (r/R(z))^2}$, для которых $a_1 = a_3 = 1/4$, $a_2 = a_4 = 1/3$.

Согласно [8], мощность упомянутых источников тепла и вертикального количества движения можно выразить следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_\theta &= 2\pi r c_p a_3 R_0^2 w_0 \theta_0, \\ Q_w &= 2\pi r a_1 R_0^2 w_0^2. \end{aligned} \quad (14)$$

Здесь индексом «0» обозначены величины на уровне источников тепла и импульса. Для конвективных струй над трубой соответствующие величины выше обозначены R_0 , w_H , θ_H и, с учетом (10), (11), нетрудно получить

$$Q_\theta = 2a_3 Q, \quad (15)$$

$$Q_w = 2a_1 C \left[4\pi C p \left(\frac{\alpha g H R_0 Q}{c_p} \right)^2 \right]^{1/3}. \quad (16)$$

Напомним физический смысл системы (13). Величина $(wR)^2$ пропорциональна вертикальному количеству движения элемента струи, произведение $\alpha g \theta R^2$ – работе, совершаемой силами плавучести при подъеме элемента струи. Эта работа и приводит к изменению с высотой количества движения. Аналогичным образом, тепло-содержание элемента струи (относительно окружающей среды) $w\theta R^2$ меняется с высотой пропорционально Γw , поскольку в процессе его подъема меняется температура окружающей его среды. Рассматриваемая модель (дифференциальная) мало отличается от известных интегральных моделей (например, [7]). Отметим, что при выводе уравнений (13) предполагалось, что струя вытянута по вертикали. Поэтому они могут существенно нарушаться, например, в обла-

сти горизонтального растекания струи под задерживающим слоем, а также непосредственно над источником, где еще не сформировалась четко выраженная струя.

Уравнение аналогичное второму уравнению (13) можно вывести и для влажности воздуха (эффекты влажности пока не учитываем) и для других примесей. Например, если примесь консервативна и фоновый градиент ее концентрации n отсутствует, то уравнение ее переноса в данном приближении представляет собой просто закон сохранения ее потока вдоль сечения струи:

$$\frac{d}{dz}(wnR^2) = 0. \quad (17)$$

Из (17) следует

$$n = \frac{\Pi}{\pi R^2 w}, \quad (18)$$

где Π – поток примеси через сечение струи, который можно считать известным, зная параметры генератора частиц. Таким образом, для расчета изменений в струе концентрации частиц, необходимо знать зависимости $R(z)$, $w(z)$.

Если считать фоновый профиль $\Gamma(z)$ известным, то уравнения (13), вообще говоря, представляют собой систему двух уравнений с тремя неизвестными w , θ , R (дополнительное включение уравнения (17) добавляет одно уравнение и одно неизвестное). Для замыкания системы требуется привлечение дополнительной информации или гипотезы. Нередко используется гипотеза о вовлечении, пропорциональном периметру сечения струи (т.е. ее радиусу $R(z)$) и вертикальной скорости [7]. Иными словами, вовлечение предполагается пропорциональным площади боковой поверхности элемента струи $2\pi R w$. Тогда можно записать третье уравнение, которое замыкает систему [7]. В [8] используется более простая схема: на основе теоретических соображений и опытных данных принимается, что радиус турбулентной струи линейно возрастает с высотой.

$$R(z) = \beta z \quad (19)$$

$$w(z) = w_H \frac{R_0}{R(z)} \left\{ 1 + \frac{3a_2}{2a_1} \frac{\alpha g \theta_H}{w_H^2} (z-H) \left[1 + \frac{\beta}{2R_0} (z-H) \right] \right\}^{1/3}, \quad (22)$$

$$\theta(z) = \theta_H \frac{R_0}{R(z)} \left\{ 1 + \frac{3a_2}{2a_1} \frac{\alpha g \theta_H}{w_H^2} (z-H) \left[1 + \frac{\beta}{2R_0} (z-H) \right] \right\}^{-1/3}, \quad (23)$$

(в предположении точечного источника на уровне $z=0$). Значение безразмерного коэффициента β находится в пределах $0,1 \div 0,2$.

В нашем случае последняя формула нуждается в модификации. Прежде всего, источники тепла и вертикального количества движения в данном случае находятся на выходе из трубы, т.е. на уровне $z=H$. Кроме того, эти источники имеют конечный размер, определяемый радиусом трубы. Замена их точечными источниками, вообще говоря, не приводит к большим ошибкам вдали от уровня $z=H$ (известно, что динамика струй от локальных источников вдали от них мало зависит от деталей геометрии этих источников – она определяется лишь интегральными интенсивностями источников тепла и количества движения). Но рассмотрение точечных источников на нижнем уровне струи сопряжено с некоторыми формальными трудностями, особенно для численного моделирования. Поэтому задачу можно и имеет смысл регуляризовать – заменить точечные источники источниками конечного радиуса $R=R_0$. Это приводит к некоторой модификации (19):

$$R(z) = R_0 + \beta(z-H). \quad (20)$$

Наибольший интерес в рассматриваемой задаче представляют случаи относительно слабой неустойчивой стратификации. На нижних десятках метров при этом вертикальные перепады температур практически не отличаются от случая нейтральной стратификации. Поэтому мы ограничиваемся здесь анализом случая $\Gamma(z) = \gamma_a - \gamma(z) = 0$.

В этом случае аналитическое решение системы (13) существенно упрощается. Из второго уравнения (13), с учетом условий при $z=H$, при $\Gamma=0$ следует

$$w\theta R^2 = w_H \theta_H R_0^2 \quad (21)$$

Это алгебраическое соотношение позволяет исключить одну из неизвестных, и общее решение первого уравнения в (13) с учетом (20), легко находится. Приведем результат:

где $R(z)$ выражается (20). Нетрудно также получить аналогичное выражение для концентрации частиц:

$$n(z) = n_H \frac{R_0}{R(z)} \left[1 + \frac{3a_2 \alpha g \theta_H}{2a_1 w_H^2} (z-H) \left[1 + \frac{\beta}{2R_0} (z-H) \right] \right]^{-1/3}. \quad (24)$$

Для рассматриваемых значений параметров на уровнях выше нескольких метров над трубой последние выражения упрощаются, поскольку

$$R(z) \approx \beta(z-H), \quad (25)$$

а в фигурных скобках в (22) – (24) основным является слагаемое

$$\frac{3a_2 \alpha g \theta_H \beta}{2a_1 w_H^2 2R_0} (z-H)^2. \quad (26)$$

Остальными слагаемыми в фигурных скобках можно пренебречь при весьма мягком условии

$$z-H \gg \frac{2R_0 w_H^2}{\beta \alpha g \theta_H}. \quad (27)$$

Тогда приближенный вид решения:

$$w(z) \approx \left[\frac{3a_2 \alpha g \theta_H w_H R_0^2}{4a_1 \beta^2 (z-H)} \right]^{1/3}, \quad (28)$$

$$\theta(z) \approx \left[\frac{4a_1 w_H^2 \theta_H^2 R_0^4}{3a_2 \beta^4 \alpha g (z-H)^5} \right]^{1/3}, \quad (29)$$

$$n(z) \approx n_H \left[\frac{4a_1 w_H^2 R_0^4}{3a_2 \beta^4 \alpha g \theta_H (z-H)^5} \right]^{1/3}. \quad (30)$$

На рис. 1 приведен пример вертикальных зависимостей w , θ , n , построенных по формулам (22) – (24). По горизонтальным осям отложена высота $Z=z-H$ над трубой. Приняты использованные выше значения высоты и радиуса трубы и полученные там значения w_{HP} , θ_{HP} , n_{HP} на выходе из трубы, а также следующие значения параметров: $\beta=0.15$, $\alpha g = 1/30$ м/с²К, $a_1 = a_3 = 1/4$, $a_2 = a_4 = 1/3$.

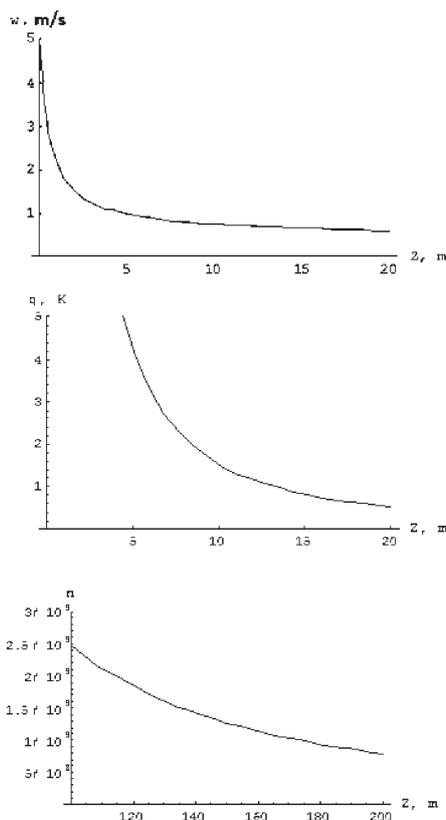


Рис. 1. Пример вертикальных зависимостей w , θ , n , построенных по формулам (22)–(24) (без использования вентиляторов)

Видно, что скорость подъема струи w сначала довольно быстро убывает с высотой (затем медленнее – выходит на известный режим $w \sim Z^{-1/3}$ [7, 8]). Интенсивность струи получается довольно слабой, что неудивительно, если учесть, что интенсивность источника тепла генератора частиц примерно в 3000 меньше, чем в метеотроне или в двигателе крупного судна. Следует иметь в виду, что для слабых струй использованная модель турбулентных конвективных струй [8] может быть плохо применимой, поскольку турбулентность в такой струе генерируется слабо, и может преобладать фоновая атмосферная турбулентность, которая в данной модели не учитывается.

Использование интенсивных вентиляторов (напорная струя). Пусть теперь течение в трубе, помимо источника тепла, дополнительно подвергается механическому вынуждению – действует вентилятор производительностью порядка 2000 кубометров воздуха в час. В предыдущей оценке (для случая, когда течение в трубе вызывалось только тепловыделением) поток воздуха из трубы был

$$\Psi = w_H S_0 = \pi R_0^2 w_H \approx 0.15 \text{ м}^3/\text{с} = 540 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Следовательно, вентилятор примерно в 4-5 раз увеличивает поток воздуха по трубе по сравнению с чисто конвективным потоком за счет тепловыделения. Струя над трубой теперь получается, в основном, «напорная» (за счет механического напора, а не плавучести).

Вертикальную скорость на выходе из трубы теперь примем в 4 раза больше. Соответственно, нагрев и концентрация частиц на выходе из трубы будут в 4 раза меньше (те же количества тепла и частиц теперь распределяются в больших объемах воздуха): $w_H \approx 20 \text{ м/с}$, $\theta_H \approx 15 \text{ К}$, $n_H \approx 10^{12} \text{ 1/м}^3$.

Формулы (22)-(24) в этом случае также применимы. Но основными в них становятся другие слагаемые. В предыдущем случае главным в фигурных скобках было слагаемое (26). Теперь же из-за существенного увеличения w_H и уменьшения θ_H все слагаемые в фигурных скобках в (22)-(24) на уровнях непосредственно над трубой становятся значительно меньше первого (единицы), так что вместо (28)-(30) получаем асимптотику:

$$w(z) = w_H \frac{R_0}{R(z)}, \quad \theta(z) = \theta_H \frac{R_0}{R(z)},$$

$$n(z) = n_H \frac{R_0}{R(z)}.$$

где $R(z)$ выражается (20).

На рис. 2 приведен пример вертикальных зависимостей w , θ , n , построенных по формулам (22)-(24) для рассматриваемого случая (при тех же, что и выше значениях остальных параметров).

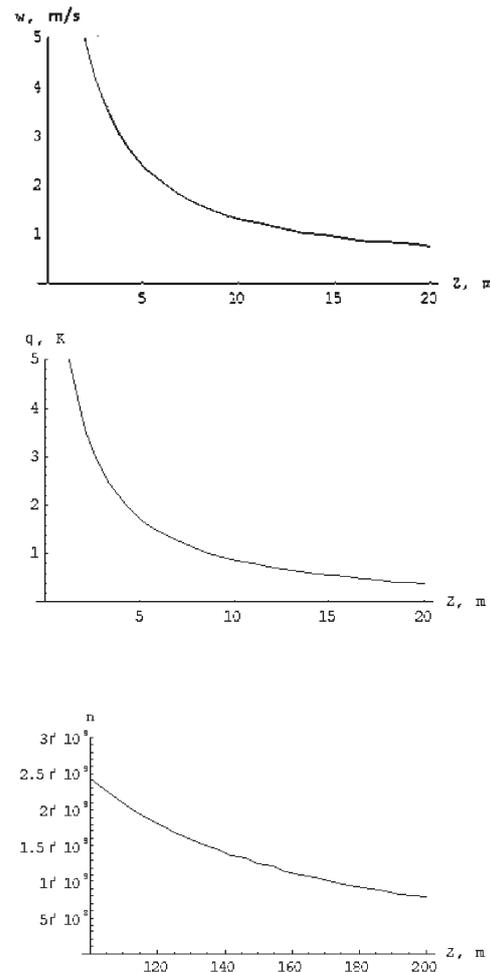


Рис. 2 Пример вертикальных зависимостей w , θ , n , построенных по формулам (22) – (24) (с использованием вентиляторов)

Вертикальную протяженность струи имеет смысл рассматривать до вертикальных скоростей не ниже 1-2 м/с (выше обычно определенно преобладают фоновые горизонтальные движения). Видно, что в рассмотренных случаях реальное вертикальное распространение струи не превышает 5-15 м. Этот результат подтверждается и следующими простыми соображениями. Для напорных струй характерно сохранение с высотой величины $w(z)R(z)$ [8]. Иными словами,

$$w(z)R(z) = w_H R_0,$$

$$w(z) = w_H \frac{R_0}{R(z)} \approx w_H \frac{R_0}{\beta(z-H)}, \quad \beta \approx 0.15.$$

При радиусе трубы $R_0 = 0.1$ м на высоте над трубой 15 м вертикальная скорость убывает примерно в 20 раз – до 1 м/с. Рассматривать восходящую струю выше этого уровня, видимо, нет смысла, поскольку уже такая струя легко сносится горизонтальным потоком. Это, видимо, и есть максимальная «дальнобойность» струи, даже несколько завышенная.

Заключение

Увеличение высоты внесения частиц может приводить к существенному уменьшению их потерь и увеличению их концентрации в пограничном слое, и, по-видимому, в облаках.

Вертикальные струи над трубами должны довольно быстро затухать с высотой, и их роль в увеличении концентрации частиц представляется относительно небольшой по сравнению с самим фактом подъема источника частиц. Относительно неэффективным представляется и дальнейшее увеличение высоты труб. Например увеличение высоты труб с 15 до 25 м увеличивает приведенную в разделе 2.1 оценку увеличения концентрации частиц лишь на 20%.

Заметим, что роль труб может стать более значительной при неустойчивой стратификации, когда реагент поднимающийся из трубы подхватывается конвективными движениями и выносится в облака. В данной работе приведены аналитические оценки эффекта труб. Более детальные оценки могут быть получены с помощью конвективных моделей с высоким разрешением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bruitjes R.T. A review of cloud seeding experiments to enhance precipitation and some new prospects // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1999. V. 80. P. 805–820.
2. Chimney. Wikipedia. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%8B%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%B0.
3. Динамическая метеорология / Под ред. Д.Л. Лайхтмана. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 607 с.
4. Dinevich L., Ingel L., Khain A. Evaluations of vertical transport of ice-forming particles produced by ground-based generators // *Scientific Israel – Technological Advantages*. 2011. V. 13. N 1. P. 95-107.
5. Manton M.J., Warren L., Kenyon S.L., Peace A.D., Bilish S.P., Kemsley K.A. Confirmatory Snowfall Enhancement Project in the Snowy Mountains of Australia. Part I: Project design and response variables // *J. Appl. Meteor. Climatol.* 2011. V. 50. P. 1432–1447.
6. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 751 с.
7. Turner J.S. Buoyancy effects in fluids. Cambridge: University Press, 1973.
8. Вульфсон Н.И., Левин Л.М. Метеотрон как средство воздействия на атмосферу. – М.: Гидрометеиздат, 1987. – 131 с.

УДК 331

ОЦЕНКА ТРУДОЕМКОСТИ НИОКР: ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Дурнев Р.А., Жданенко И.В.

ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), Москва, e-mail: rdurnev@rambler.ru

В первой статье этой серии определены показатели качества научных результатов, влияющие на увеличение трудоемкости НИОКР, и приведено их качественное описание.

Ключевые слова: трудоемкость, научные результаты, показатели качества, уровни факторов, практическая значимость, достоверность, практическая новизна, научная новизна

ASSESSMENT OF LABOUR INPUT OF SCIENTIFIC RESEARCHES: INFLUENCE OF INDICATORS OF QUALITY OF SCIENTIFIC RESULTS

Durnev R.A., Zhdanenko I.V.

FGBU «Institute of Civil Defense (FC)», Moscow, e-mail: rdurnev@rambler.ru

In the first article of this series indicators of quality of the scientific results, labor inputs of research works influencing increase are defined, and their qualitative description is provided.

Keywords: Labor input, scientific results, quality indicators, levels of factors, practical importance, reliability, practical novelty, scientific novelty

В статьях [1-4] показано, что трудоемкость НИОКР зависит от трудоемкости типовых этапов и значений коэффициентов увеличения трудоемкости работ (КУТР) для отдельных этапов. В свою очередь, значения КУТР определяются уровнями факторов, влияющих на трудоемкость НИОКР. При этом сами уровни факторов будут устанавливаться в зависимости от требований к качеству научных результатов (НР). Т.е., чем выше требования заказчика к качеству НР, тем выше уровни факторов, влияющих на трудоемкость работ, тем выше значения КУТР и планируется больше затрат труда на выполнение этапа НИОКР (см. рис. 1).

В качестве примера можно привести следующее утверждение. Если заказчик считает, что уровень достоверности результатов расчета обстановки в очаге поражения высокоточным оружием должен быть высоким, то фактор «объем (полнота) и качество исходных данных» должен также иметь высокий уровень. С учетом этого необходимо предусмотреть дополнительные затраты труда на сбор и обработку исходных данных. Это, в рамках рассматриваемого подхода, потребует задания большого значения КУТР и увеличения трудоемкости соответствующего этапа и НИОКР в целом.

Следует отметить, что качество НР – это понятие комплексное, многосоставное, оценить которое возможно по различным показателям. Так, например, в [5] определены следующие показатели качества НР:

- новизна;
- достоверность;

- практическая значимость.

Несомненно, что указанные показатели не являются единственными и понимаются по-разному многими специалистами. Поэтому необходимо их уточнить и привести лингвистические признаки данных показателей.

Очевидно, что для прикладных научных исследований, направленных на решение, прежде всего, практических задач, важнейшим будет являться практическая значимость (ПЗ) научных результатов. Составляющими данного показателя качества, будут являться следующие:

- возможность внедрения в ближайшее время. Так, к примеру, для двух опытных образцов приборов поиска пострадавших в завалах с близкими тактико-техническими и эксплуатационными характеристиками, большей практической значимостью будет обладать тот, который можно внедрить в более короткие сроки;

- массовость внедрения. Очевидно, что чем больше тиражируемость полученных НР, тем выше практическая значимость. В качестве примера можно привести проект руководства по ведению аварийно-спасательных работ в очаге поражения современными средствами вооруженной борьбы для нештатных аварийно-спасательных формирований (НАСФ) и спасательных воинских формирований (СВФ). В связи с тем, что на военное время численность НАСФ во много раз будет превышать аналогичный показатель для СВФ и они будут выполнять задачи на потенциально опасных и критически

важных объектах, по которым планируется нанесение массовых ударов противника, то и практическая значимость руководства для них будет больше, чем для спасательных воинских формирований;

• эффект от внедрения. Не вызывает сомнений, что чем выше технико- или социально-экономический эффект от внедрения научных результатов, тем выше их практическая значимость.

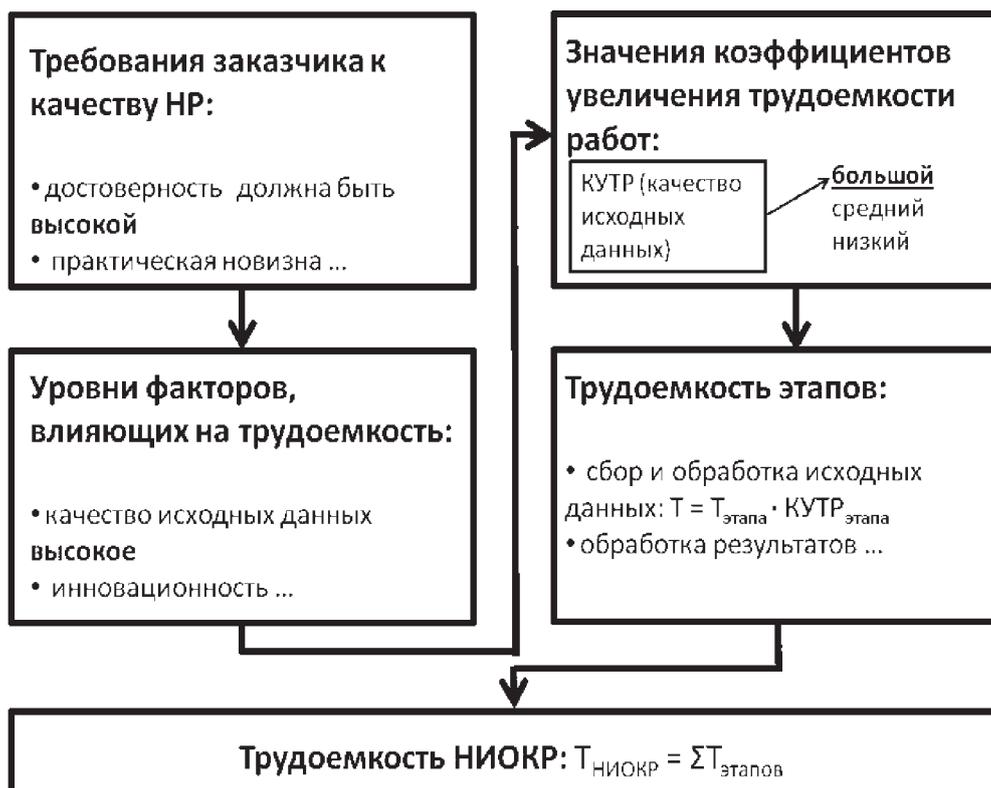


Рис. 1. Схема расчета трудоемкости НИОКР в зависимости от значений показателей качества НР

Для более детальной оценки рассматриваемого показателя качества результатов НИОКР предлагается выделить три уровня – низкий, средний и высокий. Чрезмерное увеличение количества уровней может привести к уменьшению чувствительности

экспертов при их различении, снижение – к огрублению оценок показателей качества.

В этой связи в первом приближении возможно установить следующие лингвистические характеристики уровней практической значимости:

Таблица 1

Характеристика уровней практической значимости научных результатов

Уровни	Характеристика уровней
1	2
Низкий	В связи со слабым прикладным характером ¹⁾ , отдаленностью получения НР, пригодных для использования в практической деятельности ²⁾ , их внедрение предполагается в долгосрочной перспективе ³⁾ . Предполагается использование НР в узких областях применения в отдельных сферах ответственности МЧС России. Ожидается незначительный эффект от внедрения НР либо оценка такого эффекта затруднена.
Средний	Внедрение НР в практику предполагается в среднесрочной перспективе или плановом периоде ⁴⁾ . Предполагается использование НР в практической деятельности многих подразделений в ряде сфер ответственности МЧС России. Ожидается эффект от внедрения НР по отдельным показателям в ряде сфер ответственности МЧС России.
Высокий	В результате выполнения НИОКР обеспечены все условия для скорейшего внедрения НР в практику. Предполагается использование НР в практической деятельности большинства подразделений практически во всех сферах ответственности МЧС России. Ожидается значительный эффект от внедрения НР, связанный с уменьшением потерь населения и материального ущерба и снижением затрат на обеспечение безопасности жизнедеятельности.

Примечания: 1) для НИР, в основном, теоретического характера (например, новые подходы к управлению рисками);

2) например, для НИР, в которых обосновываются перспективы развития системы защиты;

3) более 10 лет;

4) от 2-3 до 10 лет.

Не менее важным показателем качества НР является их достоверность (Д), с такими составляющими, как:

- обоснованность (доказательность, убедительность);
- точность (погрешность);
- устойчивость для различных областей применения.

В соответствии с [6] обоснованность НР подтверждается их непротиворечивостью (корректностью применения существующей теории, апробированных научных методов, близостью с результатами аналогичных исследований, полученных, в том числе, с использованием других методов), а также соответствием эмпирическим данным (сходимостью с реальными явлениями и процессами, опытом практической реализации результатов и т.п.).

Точность (погрешность) НР обуславливается качеством и объемом исходных данных, качеством методик их сбора и обработки, точностью расчетов, оценки параметров, объемом экспериментальных исследований и т.п.

Устойчивость для различных областей применения характеризует возможность использования полученных НР не только в границах исследования, но и в соседних областях знаний, практики. Примером этому может служить применение закономерностей потоков людей при пожарной эвакуации в зданиях к передвижению людей в местах их массового пребывания.

Лингвистические характеристики уровней достоверности приведены в табл. 2.

Другим показателем качества прикладных НР в области безопасности жизнедеятельности является практическая новизна (ПН). Несмотря на достаточную очевидность данного показателя для научно-исследовательских работ, целью которых и является получение новых НР, особенно практического характера (в противном случае было бы достаточно проектно-исследовательских, технологических, инженерно-технических и иных работ), его более подробное рассмотрение не является тривиальным. Слишком высокие требования к практической новизне результатов потре-

буют применение новых методов и методик, изыскания новых принципов создания научно-технической продукции, поиск новаторских решений и т.п. В противоположном случае, при низких требованиях в практической новизне НР, возможно, например, получение

только новой комбинации уже известных элементов, или несущественное изменение уже полученных ранее результатов.

Лингвистические характеристики уровня практической новизны приведены в табл. 3.

Таблица 2

Характеристика уровней достоверности научных результатов

Уровни	Характеристика уровней
Низкий	НР получены с применением новых, слабо апробированных методов, близость к реальным явлениям и процессам требует дополнительного доказательства ¹⁾ . Качество исходных данных, точность расчетов, экспериментов низкое или нуждается в дополнительной оценке ²⁾ . Невозможно использование НР в соседних областях применения или такое использование нуждается в дополнительном обосновании.
Средний	НР получены с применением апробированных методов, не противоречат результатам аналогичных исследований, реальным явлениям и процессами. Качество исходных данных, точность расчетов, экспериментов средние ³⁾ . Возможно частичное использование НР в ряде областей применения.
Высокий	НР получены корректным применением широко апробированных методов и средств, близки к результатам аналогичных исследований, реальным явлениям и процессами. Качество исходных данных, точность расчетов, экспериментов высокое. Возможно широкое использование НР в различных областях применения.

Примечания: 1) например, для НИР, связанных с разработкой нового научно-методического аппарата (например, методик оценки обстановки в очаге биологического заражения);

2) например, для НИР, в которых обосновываются перспективы развития системы защиты;

3) например, при разработке нормативов аварийно-спасательных работ в завалах разрушенных зданий, параметры которых носят случайный (но не неопределенный) характер.

Таблица 3

Характеристика уровней практической новизны научных результатов

Уровни	Характеристика уровней
Низкий	НР содержат новую комбинацию известных организационных и технических решений, не подтвержденную патентной экспертизой.
Средний	НР содержат ряд новых организационных и технических решений, подтвержденных единичными патентами на изобретения или полезные модели.
Высокий	НР содержат принципиально новые организационные и технические решения, обеспечивающих получение новых качеств и свойств штатных структур, технических средств, технологий. Технические решения подтверждены многочисленными патентами на изобретения.

Менее важным с позиций прикладных исследований, является такой показатель, как научная новизна (НН). Научные результаты, характеризующиеся высокой научной новизной, бывают получены, как правило, в результате проведения фундаментальных исследований, работ теоретического характера и являются вкладом непосредственно в науку. Но, в то же время, рассмотрение данного показателя и в прикладной области представляется целесообразным в связи с тем, что именно он является основой до-

стижения высокой практической новизны (требуется усовершенствование теории, объясняющей новые принципы и явления, положенные в основу НР, разработка новых методов и методик), достоверности (за счет разработки новых экспериментальных методик, методов снижения погрешности, повышения устойчивости результатов) и, в меньшей степени, практической значимости.

Лингвистические характеристики уровня научной новизны приведены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристика уровней научной новизны научных результатов

Уровни	Характеристика уровней
Низкий	НР получены путем адаптации (приспособления) существующих методов и методик к решаемым задачам
Средний	НР получены путем доработки, усовершенствования существующих методов и методик
Высокий	НР получены путем разработки новых методик на основе уточнения существующих методов или новых методов на основе уточнения существующей теории

Предполагается, что уровни рассматриваемых показателей качества могут иметь допустимые и недопустимые сочетания. Так, если заказчиком задаются высокие требования к научной новизне получаемых научных результатов, то, вероятнее всего, сложно ожидать их высокую достоверность. Очевидно, что новые теория, методология, методы и методики нуждаются в длительной апробации, экспериментальном подтверждении своей работоспособности, адекватности реальным процессам и явлениям, оценки погрешности, устойчивости выводов и т.п. Аналогичные примеры можно привести и для других сочетаний уровней показателей качества НР.

В этой связи априорно приняты следующие соотношения указанных показателей качества научных результатов:

1. Если практическая значимость высокая, то достоверность будет средняя или высокая.

Действительно, если планируется скорое внедрение полученного результата в практику МЧС России, возлагаются значительные надежды на эффект от такого

внедрения (например, методики прогнозирования лесных пожаров), то предполагается, что погрешность таких результатов будет минимально возможной, результаты будут внушать доверие и будут устойчивы для различных заявленных областей применения (для различного состава деревьев, подстилающей растительности, атмосферных условий).

2. Если практическая значимость низкая, то, скорее всего, высоких требований к достоверности не должно выдвигаться.

Очевидно, что нет необходимости затрачивать дополнительные усилия на достижение высокой достоверности результатов, которые планируется внедрять в отдаленном будущем. Например, нерационально создавать методику оценки обстановки при применении противником геомагнитного оружия, обладающую высокой степенью достоверности, т.к. ее внедрение в управленческую практику до окончания разработки такого оружия нецелесообразно.

В этой связи наиболее возможен характер зависимости, представленный на рис. 2 (а).

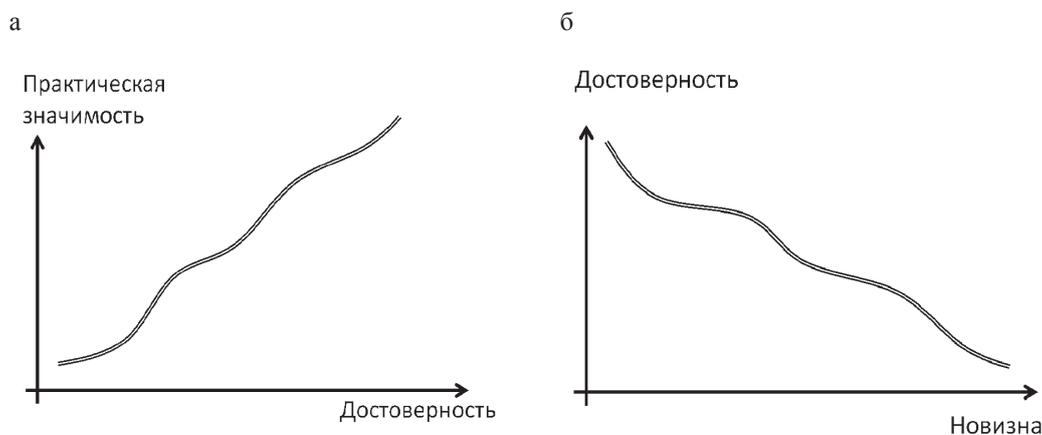


Рис. 2. Характер зависимости показателей качества научных результатов

3. Если достоверность высокая, то практическая новизна будет средняя или низкая.

Высокая достоверность результата может быть достигнута при получении в прошлом и апробации близкого результата, наличии прототипа или аналога, т.е. в тех случаях когда есть задел, обоснованность и достоверность которого не вызывает сомнения. Поэтому требование высокой практической новизны при высокой достоверности является не вполне приемлемым и характер зависимости будет таким, как показано на рис. 2 (б).

4. Если достоверность высокая, то научная новизна будет низкой.

Аналогично, если предъявляются высокие требования к достоверности, то более возможно получение результата с низкой или, как исключение, со средней научной новизной (рис. 2 (б)). Это связано с тем, что высокие требования к достоверности сильно усложняют достижение высокой научной новизны – всё новое нужно апробировать, дорабатывать до тех пор, пока не будет доказана или достигнута приемлемая для практики достоверность.

Таким образом, определены показатели качества научных результатов, влияющие на увеличение трудоемкости НИОКР, при-

ведено качественное описание и установлены их возможные соотношения.

В следующей статье этой серии будут обоснованы типовые сочетания показателей качества НР и приведена схема выбора требуемых значений указанных показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов В.А., Дурнев Р.А. В поисках подходов к оценке трудоемкости НИОКР в области безопасности жизнедеятельности: анализ состояния вопроса // *Современные наукоемкие технологии*, вып. 5, 2011.
2. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Жданенко И.В. В поисках подходов к оценке трудоемкости НИОКР в области безопасности жизнедеятельности: анализ основных факторов // *Современные наукоемкие технологии*, вып.6, 2011.
3. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Жданенко И.В. В поисках подходов к оценке трудоемкости НИОКР в области безопасности жизнедеятельности: предпосылки и допущения к определению трудозатрат // *Современные наукоемкие технологии*, вып.1, 2012.
4. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Жданенко И.В. В поисках подходов к оценке трудоемкости НИОКР в области безопасности жизнедеятельности: процедура оценки трудозатрат // *Современные наукоемкие технологии*, вып.2, 2012.
5. Дурнев Р.А., Жданенко И.В. Оценка трудоемкости НИОКР в области безопасности жизнедеятельности: проблемы, идеи, подходы. Монография / Под ред. В.А. Акимова. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012, – 256 с.
6. Подготовка и аттестация научных и научно-педагогических кадров в системе МЧС России. Учебно-методическое пособие / В.А. Акимов, Р.А. Дурнев, Е.М. Мещеряков, И.Т. Севрюков. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012, – 232 с.

УДК 331

**РАЗВИТИЕ ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ТРУДОЕМКОСТИ НИОКР:
ЗАВИСИМОСТЬ ТРУДОЕМКОСТИ ОТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА****Дурнев Р.А., Жданенко И.В.***ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), Москва, e-mail: rdurnev@rambler.ru*

Во второй статье этой серии рассмотрены типовые сочетания показателей качества научных результатов и установлен порядок оценки коэффициентов увеличения трудоемкости работ в зависимости от этих показателей.

Ключевые слова: Научные результаты, показатели качества, функция принадлежности, импликация, коэффициенты увеличения трудоёмкости работ

**APPROACH DEVELOPMENT TO THE ASSESSMENT OF LABOUR INPUT
OF SCIENTIFIC RESEARCHES: DEPENDENCE OF LABOUR INPUT ON QUALITY
INDICATORS****Durnev R.A., Zhdanenko I.V.***FGBU «Institute of Civil Defense (FC)», Moscow, e-mail: rdurnev@rambler.ru*

In the second article of this series standard combinations of indicators of quality of scientific results are considered and the order of an assessment of coefficients of increase in labor input of works depending on these indicators is established.

Keywords: Scientific results, quality indicators, accessory function, implication, coefficients of increase in labor input of works

В первой статье данной серии определены показатели качества научных результатов (НР), влияющие на увеличение трудоемкости НИОКР и приведено их качественное описание.

С учетом этого применительно к тематике прикладных исследований в сфере ответственности МЧС России возможно установить следующие типовые сочетания показателей качества НР (рис. 1):

а) практическая значимость (ПЗ) высокая, достоверность (Д) высокая, практическая новизна (ПН) средняя, научная новизна (НН) низкая. Данное сочетание характерно, например, для НИОКР, посвященной модернизации аварийно-спасательного технического средства, у которого большинство основных тактико-технических характеристик (ТТХ) остается неизменным или разработке усовершенствованной методики расчета сил и средств развертывания пунктов временного размещения (ПВР) населения (при незначительном изменении состава средств ПВР).

б) практическая значимость высокая, достоверность средняя, практическая новизна средняя, научная новизна низкая.

Примером такого сочетания, отличающегося от (а) только уровнем достоверности, может быть НИОКР по созданию нового образца аварийно-спасательной машины, у которой существуют ближайшие аналоги, и включающей комбинацию существующего аварийно-спасательного оборудования, средств защиты, транспортной базы, при-

способлений для крепления и т.п. В этом случае могут измениться некоторые ТТХ (например, производительность).

в) практическая значимость средняя, достоверность высокая, практическая новизна средняя, научная новизна низкая.

В этом случае по сравнению с (а) практическая значимость находится на среднем уровне. Примером работы, с таким сочетанием требований к НР, может быть разработка нормативов ведения аварийно-спасательных работ в очаге поражения боеприпасами объемного взрыва. Установленный уровень практической значимости определяется тем, что востребованность таких нормативов может быть не очень высокой (недостаточно значительные оценки вероятностей развязывания военных действий и применения именно боеприпасов объемного взрыва.). Очевидно, что и принципиальной научной новизны в этой работе нет, т.к. сами по себе нормативы разрабатываются давно и во многих отраслях человеческой деятельности, в том числе и в области гражданской обороны (поэтому же и практическая новизна будет на среднем уровне). Но, при этом, может быть достигнута высокая достоверность (за счет имитации завала разрушенного здания, параметры которого, по всей видимости, будут отличаться только геометрическими размерами формы типа «обелиск», а также многочисленных повторений натуральных экспериментальных исследований).

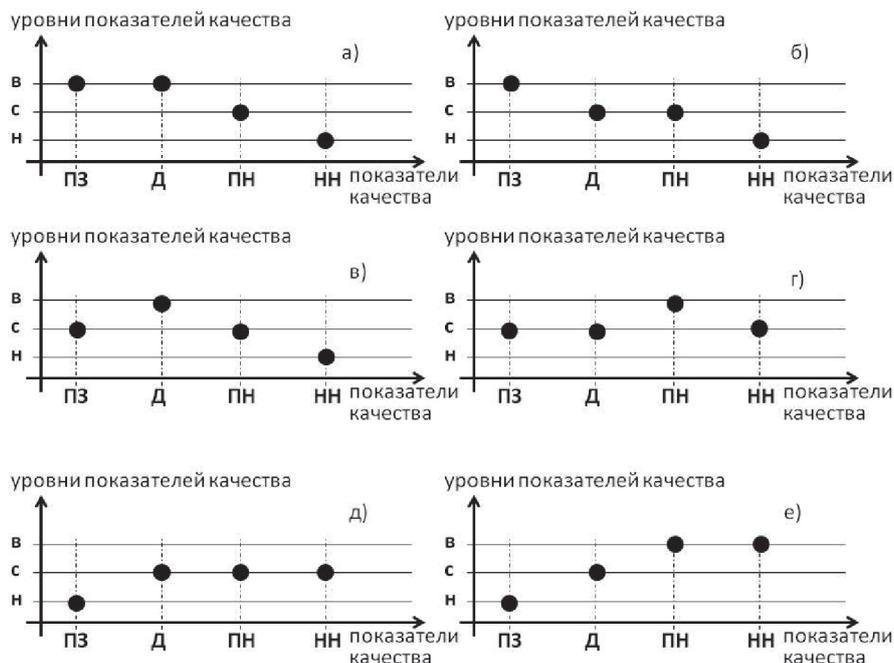


Рис. 1. Типовые сочетания показателей качества НР.
 Уровни показателей качества НР: н – низкий, с – средний, в – высокий

г) практическая значимость средняя, достоверность средняя, практическая новизна высокая, научная новизна средняя.

Данное сочетание характерно для НИ-ОКР, результаты которой могут быть получены только путем усовершенствования существующего научно-методического аппарата. Примером этому может служить оценка технико-экономической эффективности нового средства информирования и оповещения населения в зоне ЧС (например, мобильной лазерной установки). С одной стороны, вопрос достаточно известный, т.к. средства оповещения ГО существуют значительное время и их технико-экономическая эффективность зависит от охвата населения, времени доведения сигнала, затрат на обслуживание, а с другой стороны, при применении мобильных лазерных установок для информирования и оповещения населения важным является малоизученный вопрос восприятия людьми визуальной информации (лазерной проекции). Это и будет являться причиной незначительной доработки, усовершенствования соответствующего методического аппарата. Средние значения практической значимости обусловлены тем, что для данного средства не планируется широкого применения, а достоверности – в связи с тем, что такие средства хотя и широко применяются в ре-

кламной области, но требуется уточнение их характеристик применительно к процессу оповещения и информирования.

д) практическая значимость низкая, достоверность средняя, практическая новизна средняя, научная новизна средняя.

Примером работы с такими требованиями к научным результатам может быть создание методики оценки ликвидации последствий аварий, вызванных падением отделяющихся частей космических аппаратов (КА) на потенциально опасные объекты (ПОО). Вероятность таких аварий не высока, поэтому практическая значимость низкая. Если известны масса и траектория падения отделяющейся части КА, параметры ПОО и др. данные, сбор и обработка которых в принципе серьезных трудностей не вызывает, то может быть достигнута приемлемая достоверность. Но, в то же время, указанная задача обладает определенной новизной. В практическом плане это обуславливается отсутствием опыта подобных расчетов применительно к ПОО, в научном – тем, что до последнего времени не существовал методический аппарат, позволяющий оценивать математическое ожидание ущерба от падения отделяющихся частей КА на ПОО, зависящее от вероятности нештатного отделения данных частей, их начального импульса, проекций скоростей,

траектории точки падения, вероятностей попадания в критический элемент ПОО, возникновения масштабных поражающих факторов и т.п. (см. материалы работы [2]).

е) практическая значимость низкая, достоверность средняя, практическая новизна высокая, научная новизна высокая.

Примером такого сочетания может быть НИОКР по созданию, например, методики оценки обстановки в очаге поражения биологическим оружием. Практическая значимость низкая в связи с тем, что данное исследование в значительной степени обладает элементами фундаментальной работы (в области биологии), рассчитана на маловероятную перспективу применения биологического оружия.

Таким образом, на этапе формулирования тематики НИОКР, ожидаемых результатов, подготовки ТЗ заказчик должен определиться с требованиями к выходным

научным результатам, т.е. выбрать наиболее подходящие показатели качества НР из числа имеющихся. Схема для данного выбора представлена на рис. 2.

В соответствии с ней вначале выявляются предпочтения заказчика применительно к характеру ожидаемых результатов. Если НР должны иметь преимущественно практический характер, то практическая новизна должна быть более важной, чем научная новизна (условный график в левой части рис. 2 (а), показанный для наглядности в виде непрерывной линии). В этом случае возможно задать высокие или средние требования к ПЗ. При высокой ПЗ необходимо определиться с уровнем достоверности (высокий или средний). При средней ПЗ таким единственно возможным уровнем достоверности будет средний. Во всех случаях, указанных на рис. 2 (а), практическая новизна примет среднее значение, научная новизна – низкое.



Рис. 2. Схема выбора показателей качества научных результатов

Аналогично, при равной важности ПЗ и НН показатели качества принимают значения, указанные на рис. 2 (б), а в случае, когда, по мнению заказчика, научная новизна важнее практической значимости – на рис. 2 (в).

На рис. 3 приведена схема выбора с описанием показателей качества научных результатов.

Для определения уровней факторов, влияющих на трудоемкость работ,

и значений КУТР в зависимости от требований к качеству НР предлагается использование аппарата теории нечетких множеств [3-5].

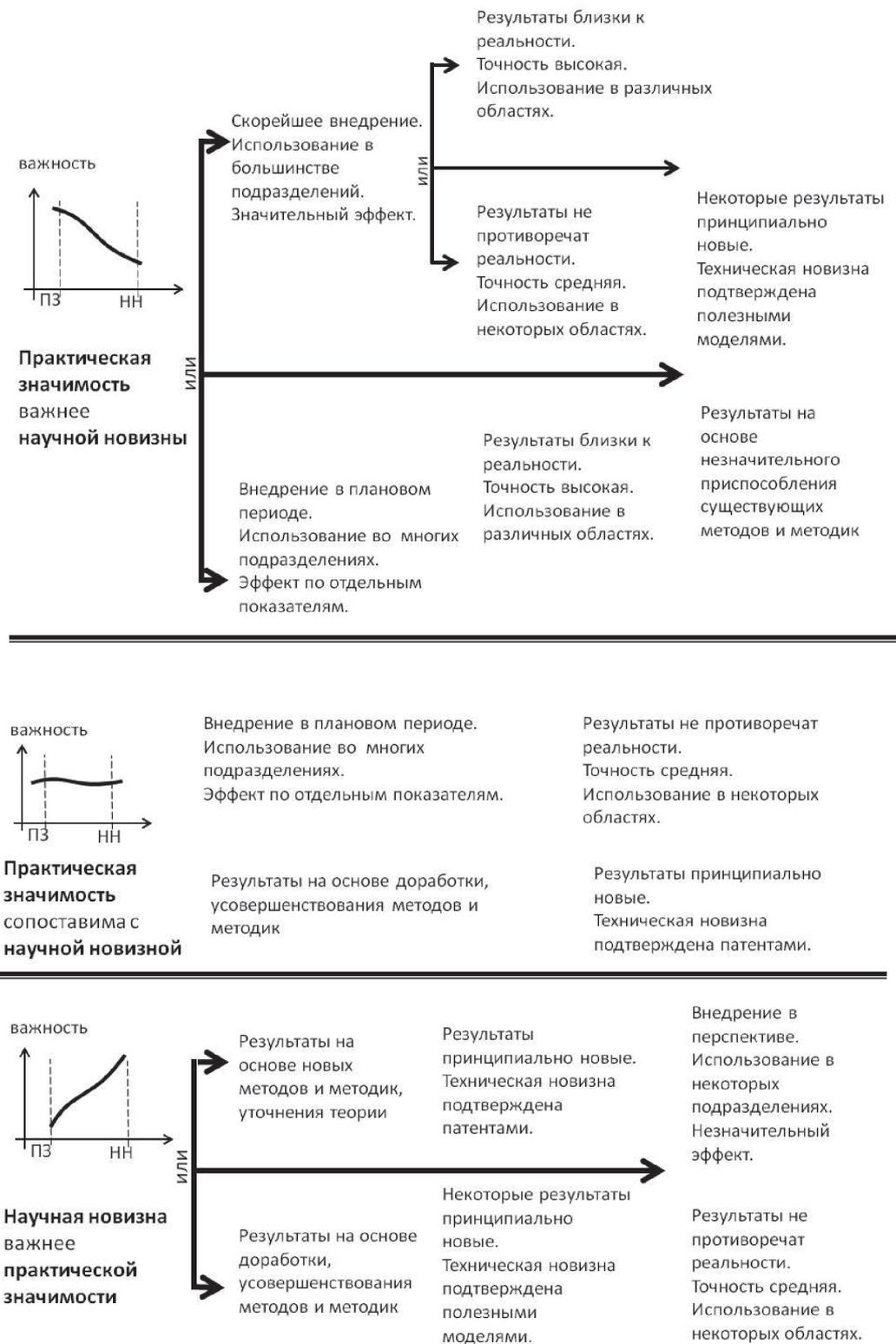


Рис. 3. Схема выбора показателей качества научных результатов с описанием данных показателей

В соответствии с ним формируются импликации, т.е. бинарные логические связки типа «Если (условие) то (следствие)». В качестве условия планируется

применение сочетаний показателей качества НР (см. рис. 1-3), следствия – уровней факторов, влияющих на трудоемкость работ.

ЕСЛИ (условие – сочетание показателей качества НР) ТО (следствие - уровни факторов трудоемкости)

Рис. 4. Импликация сочетаний показателей качества НР и уровней факторов, влияющих на трудоемкость

Факторы, влияющие на трудоемкость, рассматриваются на двух уровнях – высоком, при котором фактор значительно увеличивает трудоемкость НИОКР (большое значение КУТР), и низком, при котором трудоемкость

не увеличивается или увеличивается в меньшей степени (низкое значение КУТР).

При этом на основании экспертных знаний строится функции принадлежности вида:

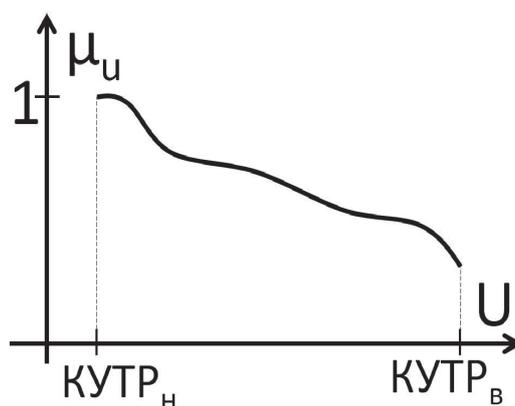


Рис. 5. Функция принадлежности значений КУТР нечеткому множеству уровней факторов: КУТР_н – низкое значение; КУТР_в – высокое значение

В связи с тем, что значения КУТР являются подмножеством действительных чисел, график функции принадлежности на рис. 5 показан непрерывным. На оси ординат обозначена функция принадлежности μ_u , определяющая степень экспертной уверенности о принадлежности значений КУТР нечеткому множеству «уровни факторов» $\mu_u \in [0; 1]$, а на оси абсцисс – значения КУТР. Видно, что условный эксперт более уверен в низком уровне фактора и, соответственно, низком значении КУТР для опре-

деленного сочетания показателей качества НР.

С учетом вышесказанного значение КУТР для определенного фактора рассчитывается следующим образом:

$$\overline{\text{КУТР}} = 0,5 \cdot (\text{КУТР}_н \cdot \mu_u^н + \text{КУТР}_в \cdot \mu_u^в), \quad (1)$$

где $\overline{\text{КУТР}}$ – среднее значение КУТР для определенного фактора; $\mu_u^н$ – значение функции принадлежности для КУТР_н; $\mu_u^в$ – значение функции принадлежности для КУТР_в.

Возможна различная форма функции принадлежности, однако в целях упрощения будет применяться треугольная или трапециевидальная [5]. На рис. 6 формы функций принадлежности характеризуют следующие логические посылки:

А) степень принадлежности низкого уровня фактора (а) больше, чем высокого (б);

Б) степень принадлежности низкого уровня фактора (в) меньше, чем высокого (г);

Г) степень принадлежности низкого уровня фактора (д) хотя и меньше, чем высокого (е), но незначительно (эксперт не вполне уверен);

Д) степень принадлежности низкого уровня фактора (ж) хотя и больше, чем высокого (з), но незначительно.

Функции принадлежности различных уровней факторов для некоторых импликаций представлена в таблице.

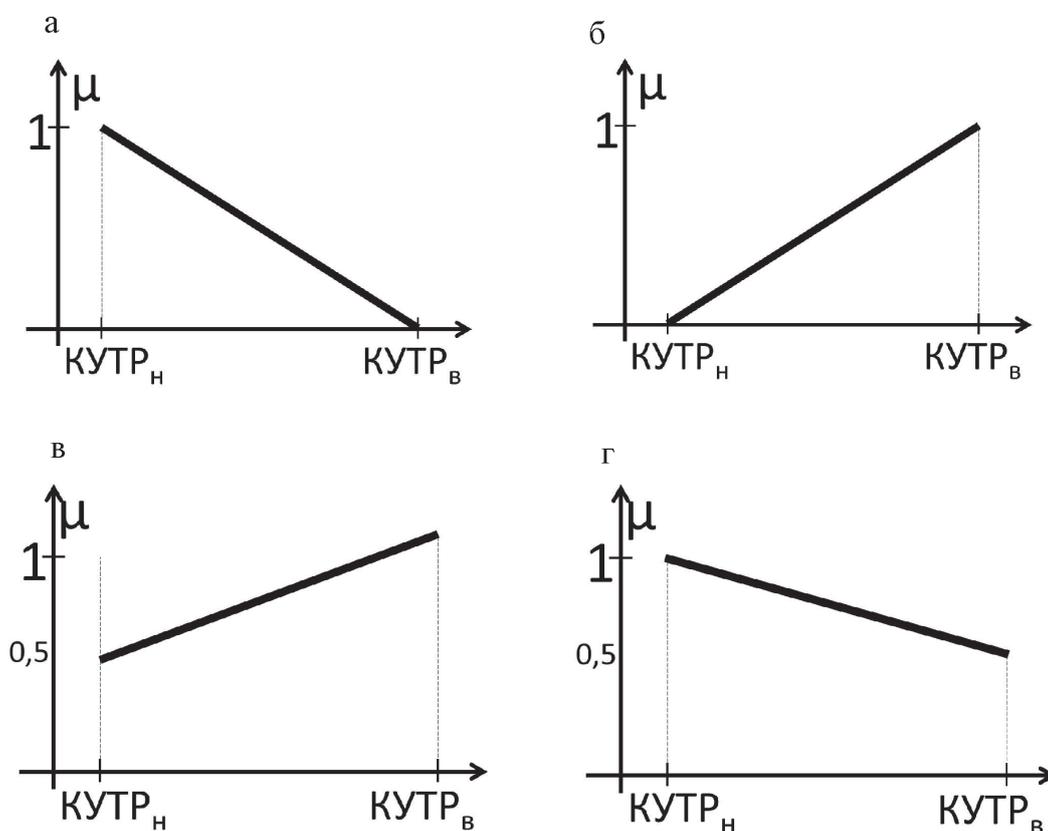


Рис. 6. Формы используемых функций принадлежности

Вид функций принадлежности различных уровней факторов для некоторых импликаций

Если ПЗ=высокая и Д=высокая и ПН=средняя и НН=низкая то																	
наименование фактора																	
Прототипы и аналоги реальных объектов и процессов	Доработка, уточнение, адаптация существующего научно-методического аппарата	Разработка новых методов и методик	Полнота и качество исходных данных	Разработка специального программного обеспечения	Наблюдения, машинные, лабораторные и натурные эксперименты, испытания	Экспертный опрос	Инновационный уровень научно-технической продукции	Степень улучшения состояния дел в сфере ответственности МЧС России									
наименование уровня фактора																	
существуют близкие прототипы и аналоги	не существует близких прототипов и аналогов	адаптация существующих методов и методик	уточнение, усовершенствование существующих методов и методик	разработка новых методик на основе уточнения существующих методов	разработка новых методов на основе уточнения существующей теории	полнота и качество исходных данных приемлемые	полнота и качество исходных данных неприемлемые	существующее СПО соответствует особенностям НМА	существующее СПО не соответствует особенностям НМА	требуется кратковременное проведение локальных экспериментов	требуется длительное проведение масштабных экспериментов	экспертные опросы проводятся в один этап	экспертные опросы проводятся в несколько этапов	низкий инновационный уровень	высокий инновационный уровень	несущественная степень улучшения состояния дел	существенная степень улучшения состояния дел
шифр уровня фактора																	
а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н	о	п	р	с	т
значение функции принадлежности уровня фактора																	
1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0,5	0	0	0	1	0	1
	нет		нет		нет												
Если ПЗ=высокая и Д=средняя и ПН=средняя и НН=низкая то																	
шифр уровня фактора																	
а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н	о	п	р	с	т
значение функции принадлежности уровня фактора																	
1	0	1	0	0	0	1	0,5	1	0	1	0	0	0	0,5	1	0,5	1
	нет		нет		нет												
Примечание. Отличие от условия предыдущей импликации заключается в значении достоверности (средняя, а не высокая). Это является причиной применения других функций принадлежности для уровней факторов «ж-з», «л-м», «п-р» и «с-т».																	
Если ПЗ=низкая и Д=средняя и ПН=высокая и НН=высокая то																	
шифр уровня фактора																	
а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н	о	п	р	с	т
значение функции принадлежности уровня фактора																	
1	0	0	0	0,5	1	1	0	0	1	0,5	1	1	0,5	1	0	0	1
	нет																

При определении суммарной трудоемкости НИОКР, по которым предусмотрено несколько выходных НР, будут находиться итоговые значения КУТР каждого фактора для всех результатов (рис. 7).

Факторы Научные результаты	Φ_1	Φ_2	...	Φ_m
НР ₁	$\overline{КУТР}_1^1$	$\overline{КУТР}_1^2$...	$\overline{КУТР}_1^m$
НР ₂	$\overline{КУТР}_2^1$	$\overline{КУТР}_2^2$...	$\overline{КУТР}_2^m$
...
НР _n	$\overline{КУТР}_n^1$	$\overline{КУТР}_n^2$...	$\overline{КУТР}_n^m$
Итоговый коэффициент	$КУТР^1$	$КУТР^2$...	$КУТР^m$

Рис. 7. Расчетная таблица для оценки итоговых КУТР факторов

При этом следует отметить, что данные коэффициенты показывают, на сколько (во сколько) увеличивается трудоемкость (продолжительность) определенного этапа НИОКР, т.е. характеризуют только приращение трудоемкости этапа. В этой связи зависимость вида

$$КУТР^j = \sum_{i=1}^n \overline{КУТР}_i^j, \quad (2)$$

где $КУТР^j$ – итоговое значение КУТР для j -го фактора; $j=1,2,\dots,m$ – номера факторов; $\overline{КУТР}_i^j$ – среднее значение КУТР для i -го НР и j -го фактора; $i=1,2,\dots,n$ – номера НР.

не является корректной, т.к. определяет, что продолжительность этапа НИОКР возрастает в количество раз, значительно большее числа рассматриваемых результатов. Действительно, если, например, продолжительность этапа равна 100 часам, а значения КУТР для четырех научных результатов равны соответственно 1,3; 2,1; 2,8 и 1,5 (применительно к какому-то

j -тому фактору), то в соответствии с (2) суммарная трудоемкость этапа будет: $100 \cdot (1,3+2,1+2,8+1,5)=770$ часов, т.е. отличается от базовой в 7,7 раза.

С учетом того, что в рамках одного этапа (например «Обработка результатов наблюдений, экспериментов, испытаний, экспертных опросов») даже для различных научных результатов выполняются близкие мероприятия, то затраты труда для последующих аналогичных результатов будут значительно меньше, чем для первого (т.к. труд уже будет «алгоритмизирован», появятся навыки в выполнении даже творческой работы). Интуитивно понятно, что корректнее будет значение, рассчитываемое как

$$100 \cdot ((1,3-1)+(2,1-1)+(2,8-1)+(1,5-1))=370 \text{ ч.}$$

В этом случае базовая оценка продолжительности этапа (100 часов) увеличивается только за счет приращения КУТР (на 30, 110, 180 и 50% соответственно).

В этой связи итоговые значения КУТР предлагается определять, как

$$\text{КУТР}^j = \sum_{i=1}^n \overline{\text{КУТР}_i^j} - n + 1. \quad (3)$$

С учетом сказанного, порядок оценки трудоемкости работ будет включать следующие укрупненные этапы:

1. Установление требований к качеству выходных научных результатов;

2. Оценка трудоемкости этапов НИОКР с учетом значений КУТР, зависящих от указанных требований;

3. Оценка трудоемкости НИОКР в целом.

Таким образом, рассмотрены типовые сочетания показателей качества НР, приведена схема выбора требуемых значений указанных показателей и установлен порядок оценки значений КУТР в зависимости от этих показателей качества.

В следующей статье будут приведены результаты практических исследований по нормированию научного труда и пример оценки трудоемкости НИОКР в области безопасности жизнедеятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Предыдущая статья в этом же журнале.
2. Агапов И.В. Материалы диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» Федерального космического агентства, 2012.
3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
4. Борисов А.Н., Крумберг О.А. Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990.
5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009.

УДК 548.1

ФОРМИРОВАНИЕ И СИМВОЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ ГИБРИДНЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР В 1D ПРОСТРАНСТВЕ

Иванов В.В.

*Южно-Российский государственный технический университет, ФГУП ОКБ «ОРИОН»,
Новочеркасск, e-mail: valivanov11@mail.ru*

Обсуждаются общие принципы формирования и проблема символического описания детерминистических гибридных фрактальных структур в 1D пространстве.

Ключевые слова: гибридная фрактальная структура, детерминистическая фрактальная структура, фрактальная размерность, итерационная последовательность, канторово множество

FORMING AND SYMBOLIC DESCRIPTION OF THE DEDERMINISTIC GIBRID FRACTAL STRUCTURES IN 1D SPACE

Ivanov V.V.

*South-Russian state engineering university, FGUE SDTU «ORION», Novocheckassk,
e-mail: valivanov11@mail.ru*

The general principles of forming and the problem of symbolic description of the deterministic gibrid fractal structures in 1D space were discussed.

Keywords: hybrid fractal structure, deterministic fractal structure, fractal dimension, iterative successivity, Cantor's multitudine

Фрактальная структура может быть определена как структура, обладающая на всех своих уровнях структурной иерархии свойством самоподобия, либо как структура, в которой расположение одинаковых элементов подчиняется определенной фрактальной закономерности [1, 2]. Гибридность фрактальных структур определяется наличием в них двух или более простых фракталов с разными генераторами. Гибридную фрактальную структуру, составленную из определенным образом упорядоченных в пространстве локальных фракталов, будем считать детерминистической гибридной фрактальной структурой. Формирование детерминистических гибридных фрактальных структур проводится путем вложения по определенному алгоритму простых фракталов с разными генераторами в пространственные ячейки структурированного пространства методами комбинаторного или итерационного модулярного дизайна [3-19].

Сформулируем общие принципы формирования детерминистических гибридных фрактальных структур в 1D пространстве [14, 15]:

1) принцип использования предварительно структурированного (интервально-го) пространства,

2) принцип отбора мономодулярных однопериодических фрактальных структур

с близкими локальными размерностями по критериям совместимости на границе и внутри пространственных интервалов,

3) принцип выбора гибридных фракталов с минимальными периодами идентичности и максимальной симметрией.

Введем следующее символическое обозначение для детерминистической гибридной фрактальной структуры в 1D пространстве:

$$MGF_1^1 \{(a_i \text{ GenF}_i) (G_0^1)_i (CP)\} [(G_1^1), (a), (\text{Dim})].$$

Здесь: MGF_1^1 – наименование одномерной однопериодической мультифрактальной гибридной структуры, GenF_i и $(G_0^1)_i$ – генератор i -ого простого фрактала и его локальная симметрия, CP – код упаковки простых фракталов или последовательность их чередования, G_1^1 – группа симметрии одномерной однопериодической гибридной структуры, $\sum a_i = a$ – количество пространственных ячеек, определяющих период идентичности структуры, Dim – фрактальная размерность.

Для 1D пространства структурированность достигается разбиением его на одинаковые интервалы $[0, 1]$ – интервалы существования мономодулярной точечной фрактальной структуры [16-18]. Тогда будем учитывать, что каждая простая фрактальная структура формируется в результате бесконечной итерации генератора, заданного внутри этого интервала, инъективным способом и не выходит за его границы.

Гибридность фрактальных структур в 1D пространстве определяется наличием в них двух и более простых фракталов с разными генераторами, занимающими цепочку двух или более граничащих друг с другом интервалов. В качестве примера классических точечных фрактальных структур могут быть, в частности, итерационная последовательность точек ICp(1/2) ($\text{Dim ICp} = 0,50$, симметрия группы $G_0^1 = 1$) и канторово множество точек CMp(1/3) ($\text{Dim CMp} = 0,631$, симметрия группы $G_0^1 = 1$). В качестве дополнения

к ним может использоваться отрезок линии L, но при определении фрактальной размерности необходимо учитывать, что он не обладает фрактальными свойствами ($\text{Dim L} = 1$, симметрия группы $G_0^1 = 1$).

Перечислим формально возможные варианты гибридных фракталов из перечисленных выше структур с одним генератором в виде последовательности их чередования внутри периода идентичности a (количество заполненных интервалов 1D пространства):

$$\text{ICp}(1/2,+)-\text{CMp}(1/3)-\text{ICp}(1/2,-), a = 3,$$

$$\text{ICp}(1/2,+)-\text{CMp}(1/3)-L-\text{CMp}(1/3)-\text{ICp}(1/2,-), a = 5,$$

$$\text{ICp}(1/2,+)-L-\text{CMp}(1/3)-L-\text{ICp}(1/2,-), a = 5,$$

В данном случае с помощью символов + и – учтена асимметрия фрактала ICp(1/2) 1D пространства относительно геометрического центра интервала его существования.

Соответствующие этим последовательностям одномерные гибридные мультифрактальные структуры следующие:

$$\text{MGF}_1^1\{(2\text{GenICp}*\text{GenCMp})(1*1)(\text{ICp}-\text{CMp}-\text{ICp})\}[(1), (3)],$$

$$\text{MGF}_1^1\{(2\text{GenICp}*2\text{GenCMp}*L)(1*1*1)(\text{ICp}-\text{CMp}-L-\text{CMp}-\text{ICp})\}[(1), (5)],$$

$$\text{MGF}_1^1\{(2\text{GenICp}*2L*\text{GenCMp})(1*1*1)(\text{ICp}-L-\text{CMp}-L-\text{ICp})\}[(1), (5)].$$

Размерности гибридных фрактальных структур определяются через размерно-

сти генераторов простых моноמודулярных фракталов следующим образом:

$$\text{Dim}(\text{MGF11}(2\text{GenICp}*\text{GenCMp})) = [2\text{Dim GenICp} + \text{Dim GenCMp}]/3 = 0,543,$$

$$\text{Dim}(\text{MGF11}(2\text{GenICp}*2\text{GenCMp}*L)) = [2\text{Dim GenICp} + 2\text{Dim GenCMp} + 1]/5 = 0,652,$$

$$\text{Dim}(\text{MGF11}(2\text{GenICp}*2L*\text{GenCMp})) = [2\text{Dim GenICp} + \text{Dim GenCMp} + 2]/5 = 0,726.$$

Формально можно допустить возможность существования некоторых кентавроподобных гибридных структур MGKF11, включающих переходные структуры Tr(F1*F2) – интервалы квазинепрерывного перехода от одного простого фрактала F1 к другому F2. В част-

ности, такой структурой для гибридов 1D пространства может быть переходная структура Tr(ICp*CMp). Тогда максимально симметричными кентавроподобными гибридными структурами с минимальными периодами идентичности будут следующие:

$$1) \text{MGKF}_1^1\{(2\text{GenICp}*2\text{Tr}(\text{ICp}*\text{CMp})*\text{GenCMp})(1*1*1)(\text{ICp}-\text{Tr}(\text{ICp}*\text{CMp})-\text{CMp}-\text{Tr}(\text{ICp}*\text{CMp})-\text{ICp})\}[(T_2), (5)],$$

$$2) \text{MGKF}_1^1\{(2\text{GenICp}*2\text{GenCMp}*2\text{Tr}(\text{ICp}*\text{CMp})*L)(1*1*1*1)(\text{ICp}-\text{Tr}(\text{ICp}*\text{CMp})-\text{CMp}-L-\text{CMp}-\text{Tr}(\text{ICp}*\text{CMp})-\text{ICp})\}[(T_2), (7)],$$

$$3) \text{MGKF}_1^1\{(3\text{GenICp}*2L*2\text{Tr}(\text{ICp}*\text{CMp})*\text{GenCMp})(1*1*1*1*1)(\text{ICp}-L-\text{CMp}-\text{Tr}(\text{ICp}*\text{CMp})-\text{ICp}-\text{Tr}(\text{ICp}*\text{CMp})-\text{CMp}-L-\text{ICp})\}[(T_1), (9)].$$

Учитывая, что переходная точечная структура $Tr(ICr^*CmP)$ не обладает фрактальными свойствами и ее размерность равна 0, размерности трех представленных выше кентавроподобных фрактальных структур равны 0,326, 0,466 и 0,403, соответственно.

Можно также допустить для гибридов с полярным генератором $GenICr$ существование переходной структуры вида $Tr(ICr+*ICr+)$ или $Tr(ICr-*ICr-)$ с размерностью 0, однако кентавроподобные структуры с ними уже не будут удовлетворять условию минимальности периода идентичности.

Отметим, что в данной работе проанализированы вероятные гибридные фрактальные структуры 1D пространства как возможные аппроксиманты 1D сечений поверхности композиционных покрытий (КП) и сайз-распределения наноразмерных объектов в направлении трибовоздействия. В соответствии с концепцией синергизма свойств фаз твердой и смазочной компонент КП [20-23] в процессе трибоконтакта с сопряженной поверхностью износ более пластичной смазочной компоненты существенно снижается за счет ее «вмазывания» в макродефекты и межкристаллитное пространство фаз твердой компоненты и «намазывания» на поверхности этих фаз по межфазным границам [23]. Комплексная синергическая модель, описывающая трибологические свойства поверхности однородных КП, основана на одновременном учете параметра наноструктурности k_n и параметра $k_{r,s}$, характеризующего квазифрактальный характер конфигурации межфазных границ [24]. Экспериментально установлено [23, 25-30], что для КП разного фазового состава сумма параметров ($k_n + \alpha k_{r,s}$) может принимать существенно большие значения (от 0,03 до 0,08) и характеризует объемную долю наночастиц (или микрочастиц) фаз твердых компонент КП и контр-тела, которые могут находиться в зоне трибоконтакта. Сайз-распределения, полученные на основе анализа гибридных фрактальных структур, включающих локальную структуру $F(ICr)$, уже для предфракталов 3-го поколения характеризуются интервалом значений $(0,2 \dots 0,8)r_0$ нм (при размере структурного элемента $r_0 = 0,1$ нм – размер атома – длина пространственного интервала 1 нм). Если сайз-распределения получены на основе анализа гибридных фракталов, включающих структуру $F(CmP)$,

то для предфракталов 3-го поколения имеем интервал значений $(0,3 \dots 2,7)r_0$ нм (при $r_0 = 0,1$ нм длина пространственного интервала 3 нм). Если структурные элементы предфрактала представляют собой нанобъекты с размером порядка 1 нм, то длина интервала также возрастает на порядок, а периоды идентичности гибридных предфракталов могут принимать значения от 30 до 270 нм.

Отметим, что все полученные гибридные фрактальные структуры MGF^1_1 , симметрия которых описывается линейными группами класса G^1_1 , могут быть прообразами новых гибридных структур. В частности, при использовании одной (τ_2) или двух (τ_2, τ_3) трансляций соответствующих непрерывных групп T_{t_1, τ_2} или T_{t_1, τ_2, τ_3} в ортогональных к t_1 направлениях могут быть получены новые линейчатые или планарные фракталы вида MGF^2_1 или MGF^3_1 . Симметрия образов структур этих фракталов в квазиодномерном пространстве будет описываться одной из 2D групп симметрии бордюров $G^2_1(t:2.m, t:m)$ или 3D групп стержней $G^3_1(t4/mm, t4/m)$. Обозначения всех 1D, 2D и 3D групп симметрии приведены в соответствии с обозначениями, принятыми в [31].

Таким образом, сформулированы общие принципы формирования, предложено символическое описание и получены формально возможные детерминистические гибридные фрактальные структуры в 1D пространстве.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.U01.21.1078.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир. 1991. – 260 с.
2. Бурбаки Н. Теория множеств. – М.: Мир. 1965. – 455 с.
3. Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных структур неорганических веществ. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 204 с.
4. Иванов В.В., Таланов В.М. // Физика и химия стекла, 2008. Т.34, № 4. С. 528-567.
5. Иванов В.В., Таланов В.М. // Журн. неорганической химии, 2010. Т.55. № 6. С. 980-990.
6. Иванов В.В., Таланов В.М. // Кристаллография, 2010. Т.55. № 3. С. 385-398.
7. Иванов В.В., Таланов В.М. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2010. Т.1. № 1. С. 72-107.
8. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2011. Т.2. № 3. С. 121-134.
9. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2012. Т.3. № 4. С. 82-100.

10. Иванов В.В., Таланов В.М. // Журн. структурн. химии, 2013. Т.54. № 2. С. 354-376.
11. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. // Междунар. журн. эксп. образования, 2010. № 11. С. 153-155.
12. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Таланов В.М. // Современ. наукоемкие технологии, 2012. № 1. С. 54-55.
13. Иванов В.В., Таланов В.М. // Современ. наукоемкие технологии, 2012. № 2. С. 60-63.
14. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания, 2012. № 3. С. 56-57.
15. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания, 2012. № 4. С. 230-232.
16. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания, 2012. № 8. С. 75-77.
17. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания, 2012. № 10. С.78-80.
18. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания, 2012. № 9. С.74-77.
19. Иванов В.В., Таланов В.М. // Кристаллография, 2013. Т.58. № 3. С. 370-379.
20. Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2001. № 3. С. 60-61.
21. Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Спецвыпуск. Проблемы трибозлектрохимии, 2005. С.128-130.
22. Иванов В.В., Иванов А.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2005. № 3. С. 46-49.
23. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В., Башкиров О.М. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2005. № 4. С. 62-64.
24. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2011. № 3. С. 54-57.
25. Ivanov V.V., Balakai V.I., Ivanov A.V., Arzumanova A.V. // Russian Journal of Applied Chemistry, 2006. Т.79. № 4. С.610-613.
26. Ivanov V.V., Balakai V.I., Kurnakova N.Yu., Arzumanova A.V., Balakai I.V. // Russian Journal of Applied Chemistry, 2008. Т.81. № 12. С.2169-2171.
27. Balakai V.I., Ivanov V.V., Balakai I.V., Arzumanova A.V. // Russian Journal of Applied Chemistry, 2009. Т.82. № 5. С. 851-856.
28. Щербаков И.Н., Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2011. № 5. С.47-50.
29. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование композиционных никель-фосфорных покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2006. – 112 с.
30. Щербаков И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т., Дерлугян П.Д., Трофимов Г.П., Дерлугян Ф.П. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2011. – 132 с.
31. Современная кристаллография. В 4-х томах. – Т.1. Симметрия кристаллов. Методы структурной кристаллографии. – М.: Наука, 1980. – 524 с.

УДК 621

К ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КАК СТРУКТУРЫ ДИССИПАТИВНОГО ТИПА

Игонин В.И.

*ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный технический университет», Вологда,
e-mail: igonvlad@yandex.ru*

Работа посвящена анализу на макро уровне применимости диссипативной и интегральной формулировки второго закона термодинамики к модельной структуризации электро тепло гидравлической системы.

Ключевые слова: моделирование, структура, субъект, децентрализованная система теплоснабжения электро тепло гидравлического типа, диссипативные термодинамические системы, конструирование процесса диссипации, первый и второй законы термодинамики в интегральной диссипативной форме, термодинамический потоковый энергетический анализ отопительной установки

TO THE THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE HEATING SYSTEM AS PATTERNS DISSIPATION TYPE

Igonin V.I.

Vologda State Technical University, Vologda, e-mail: igonvlad@yandex.ru

The work is devoted to the analysis at the macro level, the applicability of a dissipative integral formulation of the second law of thermodynamics to a model structuring of electric and heat hydraulic system.

Keywords: modeling, structure, subject, a decentralized system of a heat supply of electric and heat hydraulic type, dissipative thermodynamic system, designing the process of dissipation, the first and the second laws of thermodynamics in a dissipative integral form, thermodynamic stream energy analysis of the heating installation

В работах [1, 2, 3, 4, 5] показано, что при моделировании любой энергетической системы требуется учитывать свойства ее человекомерности. Иначе говоря, модель системы создает человек со свойственным ему мировоззрением и глубиной понимания степени полезности рассматриваемого варианта. Несмотря на то, что модель делает «субъект» он же понимает итеративный характер процесса моделирования и связь апостериорных и априорных факторов, которые взаимно дополняют друг друга. В последнее время «научное сознание» признает важность особой роли диссипативных процессов при составлении энергетических балансов. Субъект считает, что любой энергетический объект это термодинамическая система (ТС) диссипативного типа [2]. Однако традиционная запись классической термодинамикой первого и второго законов не содержит этой энергетической составляющей, что на этапе изучения этой дисциплины затрудняет понимание энергетических преобразований в сложных энергетических системах, в которых присутствуют разные формы существования энергии [3, 4, 5]. Пусть энергия $DE_{\text{окр.ср.1}}$ подводится субъектом из окружающей среды к ТС для создания конечной разности потенциалов, за счет которой совершаются полезные эффекты и идут диссипационные процессы в резуль-

тате чего структура сохраняет свою индивидуальность. Для моделирования работы отопительной системы субъект описывает запас термомеханической формы энергии уравнением (1) с реализацией возможностей получить слагаемые уравнения (2)

$$DE_{\text{окр.ср.1}} \rightarrow \Delta Q_{\text{1т.м.}}, \quad (1)$$

$$\Delta Q_{\text{1т.м.}} \rightarrow (DL_{\text{мех}} + \Delta U + \Delta U_{\text{дис}} + DL_{\text{дис}}), \quad (2)$$

где ΔU , $DL_{\text{мех}}$ – изменение внутренней энергии и работы потоками рабочего тела (жидкости), $\Delta U_{\text{дис}}$, $DL_{\text{дис}}$ – необходимые расходы внутренней энергии и механической работы на диссипационные процессы. При этом субъект понимает, что диссипационные составляющие увеличивают или уменьшают величины слагаемых внутренней энергии или работы, а также то, что этот «суммарный запас» энергии нужен для создания температурного и механического потенциалов в энергосистеме. Для примера рассматриваются условия диссипационного моделирования на лабораторно-вычислительном комплексе [6]. Фотография лабораторной установки имитирующей схему децентрализованного теплоснабжения показана на рис. 1. Четыре системообразующих элемента комплекса соединены между собой тепловой сетью из пластиковых трубопроводов с помощью фитинговых соеди-

нений. К ним относятся: электротеплогенератор (ЭТГ), циркуляционный насос (ЭН), несколько тепловых конвекторов (ТГ), баки аккумуляторы энергии (БАЭ).

Управление потоками теплоносителя осуществляется с помощью гарнитуры в виде запорных органов (задвижек) и кранов. Организация той или иной технической

схемы осуществляется путем изменения пути перемещения теплоносителя в разные координатные точки геометрического пространства [6]. Продуманной последовательностью открытия и закрытия запорных элементов осуществляется движение теплоносителя в нужном направлении для решения той или иной поставленной задачи.



Рис. 1. Внешний вид лабораторно-вычислительного комплекса

Основные элементы комплекса следующие:

1. Электротеплогенератор (ЭТГ);
2. Шаровый кран;
3. Манометр стрелочный показывающий МП-16;
4. Циркуляционный насос Grundfos UPS серии 100 25-60;
5. Термосопротивление;
6. Мембранный расширительный бак Reflex;
7. Конвектор Комфорт-20;
8. Водяной счётчик ВСК-25;
9. Фильтр магнитный сетчатый;
10. Обратный клапан;
11. Теплосчётчик СТ10;
12. Баки –аккумуляторы;
13. Сбросной клапан;
14. Кран Маевского;
15. Участок со стеклянной трубой;
16. Электрическая сеть;
17. Кнопка запуска насоса;
18. Блок управления температурным режимом ЭТГ;
19. Амперметр;
20. Вольтметр.

Системно отдельные группы элементов схемы субъект структурирует в четыре бло-

ка. Два блока имитируют систему источник: ЭТГ и ЭН. Один блок – потребитель тепломеханической энергии (ТК и БАЭ). Четвёртый блок представляет собой группу элементов тепловой сети (Тес). Потребители и источники энергии связаны водяным циркуляционным контуром Тес за счет энергии ЭН. В целом организована система «источник-приемник» с прямыми и обратными потоковыми энергетическими связями.

На рис. 2 показана модель, в некотором приближении имитирующая энергоустановку для отопления помещения с помощью электро тепло гидравлического конвектора. Энергоустановка помещается в термодинамическую систему (ТС) путем построения ограждающей поверхности, которая отделяют ее от окружающей среды.

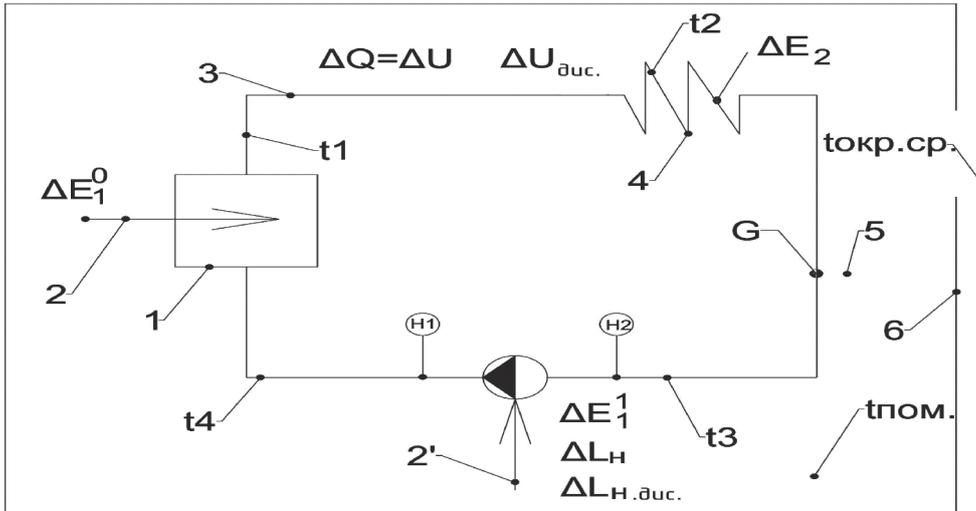


Рис. 2 Модель диссипативной термодинамической реальности с ограждающей поверхностью

Диссипативная ТС представляет собой климатическую ячейку со следующими температурными параметрами: t_1 – температура теплоносителя в тепловой сети после электротеплогенератора 1, t_2 – стенки конвектора, t_3 – жидкости перед насосом, t_4 – после насоса, температуры помещения – $t_{\text{пом}}$, окружающей среды за ограждающей поверхностью – $t_{\text{окр.ср.}}$.

К основным климатообразующим потокам энергии относятся потоки электроэнергии ΔE_1^0 , который нагревает жидкий теплоноситель до температуры t_1 , и ΔE_1^1 – питающий электронасос для создания необходимой механической энергии насоса H_1 . ЭН совершает работу проталкивания

теплоносителя $\Delta L_{\text{н}}$. Гидравлические и термические сопротивления формируют диссипационные составляющие $\Delta L_{\text{дис}}$ и $\Delta U_{\text{дис}}$. Электрические источники 2, 2' питают электрический насос и ТВЭЛы теплогенератора. ΔQ – количество теплоты равно ΔU попадает в теплоноситель от нагревательных элементов и от диссипации механической энергии в теплоту в насосе $\Delta L_{\text{н.дис}}$. H_2 , H_1 – потенциалы механической энергии до и после насоса. G – расход теплоносителя в циркуляционном контуре тепловой сети. ΔE_2 – энергия тепла от конвекторов.

Субъект продолжает параметрический анализ ТС выделяя основные энергетические потоки на рис. 3.

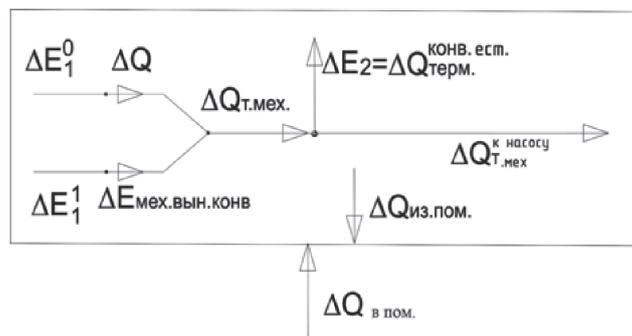


Рис. 3. Баланс потоков энергии

Электрическая энергия в общем случае преобразуется в термомеханическую энергию $\Delta Q_{\text{Т.мех}}$ теплоносителя (рис. 3), которая равна

$$\Delta Q_{\text{Т.мех}} = \Delta E_{\text{мех. вын. конв}} + \Delta Q, \quad (3)$$

где $\Delta E_{\text{мех. вын. конв}}$ – конвективный поток жидкости от насоса, ΔQ – поток теплоты от теплогенератора. Часть $\Delta Q_{\text{Т.мех}}$ уходит в помещение в виде ΔE_2 термомеханического потока естественной конвекции $\Delta Q_{\text{терм. конв. ест}}$. Другая ее часть $\Delta Q_{\text{к насосу}}$ уходит к насосу. Пото-

ки естественной конвекции DE_2 поступают в помещение, чтобы поддерживать балансовое соотношение между потоками входящей $\Delta Q_{в.пом.}$ и выходящей $\Delta Q_{из.пом.}$ теплоты, что сохраняет постоянной температуру $t_{пом.}$ независимо от изменения температуры окружающей среды $t_{окр.ср.}$

Субъект систематизирует условия энергообмена в диссипативной термодинами-

ческой системе. На рис. 4 субъект показал следующую модельную реальность организованную в виде потокового графа, который учитывает основные перетоки энергии в ТС.

Модель увязывает три блока Т(ТГ), Н-(ЭН), К-(ТК) с помощью основных и диссипационных потоков механической и тепловой форм энергии.

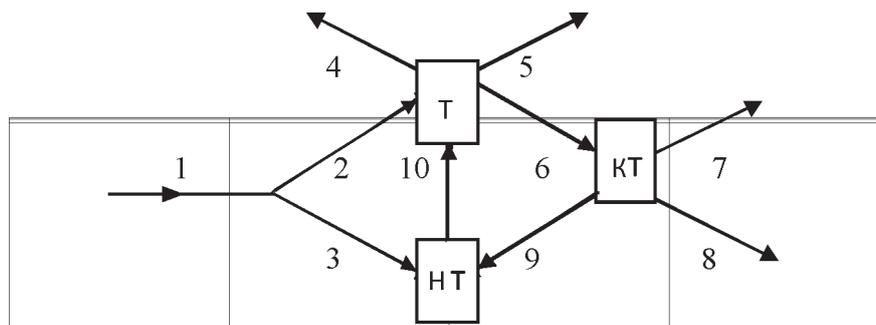


Рис. 4. Потоковый граф для диссипативной модели системы теплоснабжения: Т – электротеплогенератор (ТГ); Н – циркуляционный насос (ЭН); К – потребитель (ТК) – теплоконвекторы; Вектора связей – потоки энергии: 1 – электрической энергии из электрической сети; 2 – электрической энергии на тепловыделяющие элементы; 3 – электрической энергии на клеммы электродвигателя насоса; 4 – тепловой диссипационной механической энергии внутри теплоносителя в ТГ; 5 – тепловой диссипационной энергии конвективно-радиационного теплообмена от поверхности ТГ; 6 – тепломеханической энергии поступающей к конвекторам; 7 – теплоотдачи в виде конвективно-радиационного потока от конвекторов в окружающую среду; 8 – тепловых диссипативных потерь напора (механической энергии) связанных с преодолением гидравлических сопротивлений конвекторов; 9 – тепломеханической энергии к ЭН; 10 – тепломеханической энергии к ТГ

Обобщенные условия термодинамического баланса показаны на рис. 5. Поток электрической энергии $I_{эл}$ имитирует горячий источник теплоты. Из источника выходят эквивалентные потоки количества теплоты для циклического воспроизводства тепловой $Q_{ит}$ и механической форм энергии $Q_{и...м}$.

Поток тепломеханической энергии $Q_{1.т.м.}$ состоит из суммы указанных выше составляющих $Q_{ит} + Q_{и...м}$. Он представляет тепло-

механическую форму энергии рабочего тела, которая перемещается к холодному источнику. Поскольку при перемещении присутствуют диссипационные составляющие обеих форм энергии, то к холодному источнику подходит поток тепломеханической энергии $Q_x^{пр.}$

Естественно он отличается от значений потока $Q_{1.т.м.}$ на величину значений диссипационного потока $Q_{х.дис.}^{пр.}$ в прямом трубопроводе тепломеханической системы.

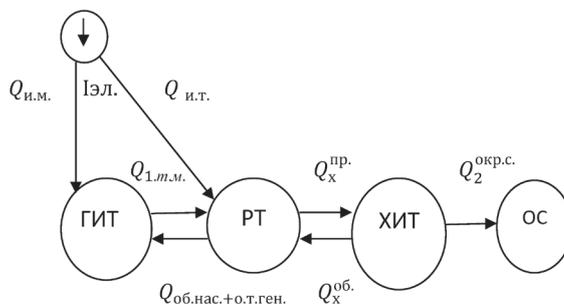


Рис. 5. Термодинамическая структурная модель энергетической системы

Субъект отмечает, что увеличение диссипационной составляющей внутренней энергии возможно за счет потока теплоты от необратимого действия сил вязкого трения, с одновременным эквивалентным уменьшением потока механической энергии теплоносителя. В тепловой составляющей изменение энергии диссипационного потока неизбежно за счет явлений необратимого теплообмена и ухода части теплоты внутренней энергии из системы через поверхности трубопроводных подсистем.

Если, например холодным источником теплоты является конвектор, то из тепловой схемы видно, что формируются два потока теплоты. Один поток для теплопередачи его в окружающую среду $Q_2^{окр.с}$, другой $Q_x^{об}$ для возврата теплоносителя по обратному тру-

бопроводу в насос и далее в теплогенератор. На этом пути продолжается изменение энергии теплоносителя за счет диссипационных процессов. Механическая составляющая ее увеличивает внутреннюю энергию рабочего тела, а тепловая составляющая ее уменьшает. Появляется еще одна диссипативная составляющая $Q_{хдис}^{об}$ в общем энергетическом балансе. Она характеризует условия обратного пути теплоносителя в теплогенератор. Поток энергии после ЭН в количестве $Q_{об.нас.+о.т.ген}$ поступает в ГИТ (теплогенератор) и участвует в формировании потока термомеханической энергии $Q_{1.т.м.}$. С учетом диссипационных эффектов последовательный ряд энергетических превращений имеет вид (4)

$$J_{эл.} \rightarrow (Q_{и.м.} + Q_{и.т.}) \rightarrow Q_{1.т.м.} \rightarrow Q_x^{пр.} \rightarrow (Q_2^{окр.с.} + Q_x^{об.}) \rightarrow Q_{об.нас.+о.т.ген} \quad (4)$$

Субъект понимает, что модель классической термодинамики подразумевает наличие холодного (ХИТ) и горячего (ГИТ) источников теплоты, которые связаны прямой и обратной связями с помощью рабочего тела (РТ). Два разнородных источника теплоты в системе (ЭН, ЭТГ) питаются электрической энергией. Источники энергии разнородные потому, что рабочее тело получает от электрического насоса механическую форму энергии, теплогенератор питает РТ тепловой ее формой. Рабочее тело перемещается в тепловой сети по кольцевой системе. За счет источника электрической энергии имеет место термодинамический цикл с изменением внутренней энергии рабочего тела и с совершением работы. В окружающую среду ОС уходит теплота от холодного источника. Если поток теплоты ОС влияет на параметры микроклимата в помещении, то для этой же цели уместно использовать диссипационные составляющие гидротермической энергии теплоносителя.

Таким образом, субъект иллюстрирует методологическое удобство использования «свойств диссипативности и интегральности» первого и второго законов термодинамики на примере рассмотрения нескольких термодинамических моделей как объективной (рис. 1), так субъективных

реальностей рис. 2, 3, 4, 5. Формулы (1), (2) обеспечивают условия моделирования процессов в диссипативной термодинамической системе. Формула (4) учитывает все диссипативные слагаемые в (2) и в моделях всего комплекса термомеханических структур участвующих в последовательном ряду энергопревращений [5, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игонин В.И. Особенности системной идентификации человекомерной модели функционирования технической энергосистемы. / В.И. Игонин // Современные наукоемкие технологии. № 1, 2013. С. 22-26.
2. Игонин В.И., Модельная структуризация и синергетический анализ энерготехнической системы / В.И. Игонин // Современные наукоемкие технологии. № 5, 2013. С. 39-45.
3. Игонин, В.И. Проявления свойств интегральности при системном термодинамическом анализе энергетической установки / В.И. Игонин // Международный научно-исследовательский журнал. Часть 1. 5(5). 2012. С.93-94. <http://research-journal.org>.
4. Игонин, В.И. Об очевидности проявления свойств интегральности при системном термодинамическом анализе энергетической установки / В.И. Игонин // Вестник Череповецкого государственного университета. № 1(45). 2013. С. 12-14.
5. Игонин, В.И. Методология научных исследований и научно-техническое развитие «субъекта»: учебное пособие / В.И. Игонин. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 111 с.
6. Игонин, В.И. Научно-исследовательская работа в семестре: Лабораторный практикум / В.И. Игонин, О.В. Стратунов. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – 90 с.

УДК 656.002.82

**АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ ТЕХНОПАРКА ПЕРЕДОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПО УТИЛИЗАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ****Кравченко И.Н., Кочуров В.В., Чернуха А.Л.***ФГБВОУ ВПО «Военно-технический университет», Балашиха, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru*

С начала 90-х годов обострилась проблема утилизации технических средств, сбора и переработки отходов в Российской Федерации, в связи с чем возникла необходимость создания принципиально новой системы вторичных ресурсов, способной работать в рыночных условиях хозяйствования. Использование вторичного сырья по средствам утилизации старой техники дает возможность экономить ресурсы и получать значительный народнохозяйственный эффект в масштабах всей страны. Опыт промышленной утилизации показывает, что еще не удалось в полной мере достичь поставленных стратегических целей и обеспечить создание благоприятных условий эффективного вовлечения в народно-хозяйственный оборот высвобождающихся технических средств, и ресурсосберегающих технологий их утилизации. В статье представлена динамика накопления неutilizированных автотранспортных средств и структура источников финансирования для проведения работ по их утилизации. Предложена система создания региональных органов, выполняющих объем работ на договорной основе, с имеющимися производственными предприятиями, занятыми в сфере утилизации автотранспортных средств.

Ключевые слова: утилизация автотранспортных средств, вторичное сырье, машиностроение, технопарк**RELEVANCE ESTABLISHMENT OF TECHNOLOGY PARKS ADVANCED
TECHNOLOGIES FOR DISPOSAL OF MOTOR VEHICLES****Kravchenko I.N., Kochurov V.V., Chernuha A.L.***Federal State military educational institution of higher education «Military-Technical University»,
Balashikha, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru*

Since the early 90s worsened utilization of technical means of collection and recycling of waste in the Russian Federation, in connection with which there was a need to create a fundamentally new system of secondary resources, capable of operating in a market environment management. The use of secondary raw materials by means of recycling old technology enables to save resources and to receive a significant economic effect on a national scale. Experience of industrial waste shows that have not yet managed to fully achieve its strategic goals and to create favorable conditions for effective involvement in national economic turnover of redundant hardware, and resource recycling technology. The paper presents the dynamics of accumulation of unutilized vehicles and the structure of the sources of funding for work on their disposal. The system of establishing regional bodies carrying amount of work on a contract basis, with existing production enterprises engaged in recycling of vehicles.

Keywords: utilization of vehicles, secondary raw materials, machinery, technology park

Многообразие и противоречивость факторов обеспечения национальной безопасности как необходимого условия динамичного социально-экономического развития страны во второй половине XX в. во многом были обусловлены научно-технической революцией.

В развитых индустриальных странах, прежде всего в России и США, это отразилось на развитии рынка автотранспортных средств и как следствие – накопление старой техники (рис. 1). При всей своей естественности проблема утилизации техники приобрела особую важность в последнее время. В значительной степени это связано с интенсивным развитием рыночного пространства и рыночной среды, включая формирование стратегии развития и экономического поведения в условиях функцио-

нирования рынка; крупномасштабным и интенсивным переговорным процессом в области развития производства техники; высокой наукоемкостью современных технических средств; резким сокращением бюджета и возможным сохранением этой тенденции в будущем; высокой стоимостью создания образцов техники и значительных затрат на их обслуживание и хранение.

В связи с этим возникает необходимость разработки научных основ и методических рекомендаций по организации и управлению процессами утилизации техники с целью обеспечения их высокой экономической эффективности в сочетании с экологической безопасностью. При этом техника должна достичь стадии применения ее как вторичного сырья в машиностроении (рис. 2).

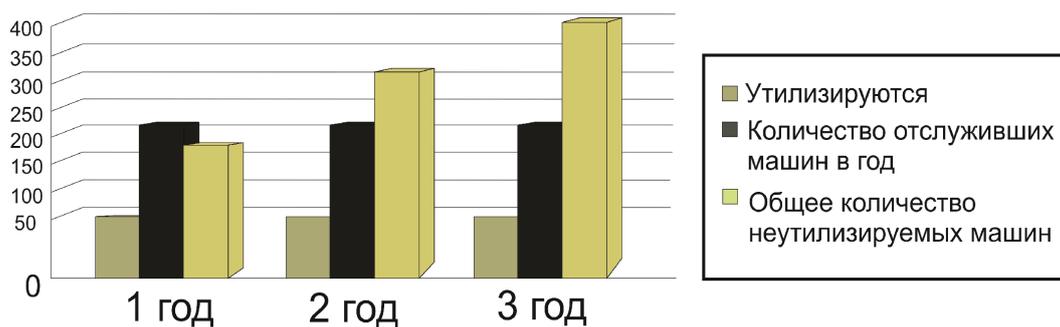


Рис. 1. Динамика накопления неутрализованных отработавших АТС

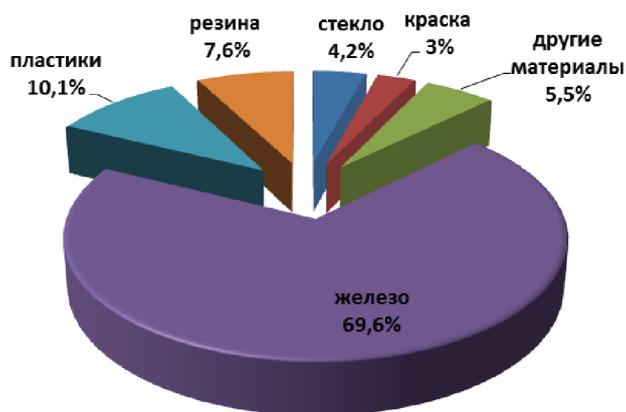


Рис. 2. Удельное содержание автомобильных отходов в общей массе и степень их утилизации (в % к массе отходов)

В условиях рыночной экономики главным фактором повышения ее эффективности становятся уже не отдельные достижения науки и техники, а высокий научный и технологический уровень всего производства. Этот уровень определяется в первую очередь состоянием машиностроения как отрасли, обеспечивающей потребности в технологическом оборудовании, которое должно обновляться непрерывно.

Использование вторичного сырья это не просто возможность пустить старую технику на изготовление новой продукции, это экономия ресурсов и значительная выгода в масштабах всей страны. В России серьезное отношение к вторичной переработке металла начало возвращаться совсем недавно. Этот вид вторичного сырья наиболее востребован в производстве сотен товаров и технических устройств. Металлолом, цена которого составляет копейки, при дальнейшем использовании позволяет экономить вполне серьезные средства.

Лом черных металлов в металлургических процессах, выступает как полноцен-

ный заменитель природного сырья, прошедшего стадии обогащения, окискования и доменной плавки. Рост затрат на подготовку природного сырья и выплавку чугуна вызывает в последние годы повышенный интерес к черному металлолому со стороны сталеплавильных предприятий зарубежных стран. Объем мировой торговли металлоломом составляет 360 млн. т. Особенно активно импортируют металлолом страны с высокой долей выплавки электростали и непрерывной разливкой металла.

Российская черная металлургия отстает от индустриальных стран мира по потреблению стального металлолома, что, в определенной мере, связано как с относительно низкой долей электростали, так и с наличием избыточных мощностей по выплавке стали.

Следовательно, для четкой и размеренной работы предприятий машиностроения должна быть отработана единая регламентированная форма организационного построения предприятий в системе утилизации техники, а также четко поставлены

в рамки роль и место промышленной утилизации в системе металлургического комплекса страны.

В новых хозяйственных условиях Минэкономки (Минэкономразвития) России не стали рассматривать вторичные ресурсы в числе объектов, требующих специальных мер государственного регулирования, а природоохранные ведомства пока не смогли создать эффективные нормативные ограничения и экономические инструменты государственного регулирования в этой области [4].

С 1991 года ликвидирована государственная система вторичных ресурсов, функционировавшая под эгидой Госнаба СССР. В рамках этой системы работало более пятисот предприятий по переработке вторичного сырья и около 6000 приемных пунктов по заготовке и переработке вторичного сырья от населения. В связи с ликвидацией государственной системы переработки вторичных ресурсов произошел рост накопления техники подлежащей утилизации (рис. 3).

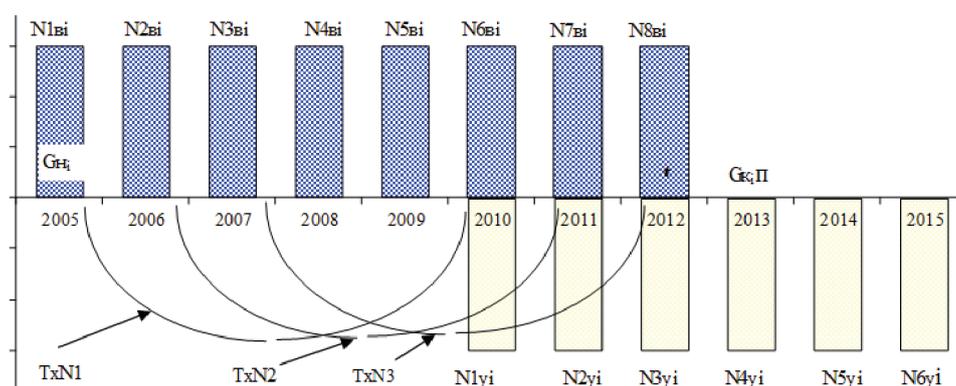


Рис. 3. Пример высвобождения техники в зависимости от срока, объема выпуска и хранения

Проведенные НИЦПУРО исследования проблемы управления отходами в Российской Федерации и за рубежом свидетельствуют о необходимости усиления государственного регулирования в области сбора, переработки и хозяйственного использования отходов в России с учетом рыночной направленности проводимых Прави-

тельством Российской Федерации реформ хозяйственного механизма, положений концепции устойчивого развития, а также достижений отечественного и зарубежного опыта по решению этой проблемы без использования механизма прямого финансирования из средств федерального бюджета (рис. 4).

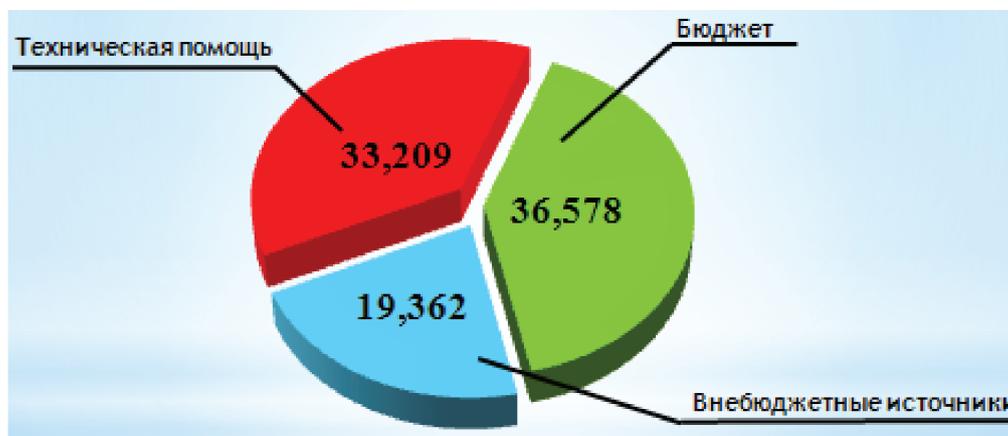


Рис. 4. Структура источников финансирования

Постановка такой задачи обусловлена следующими основными факторами [5]:

- значительным количеством образования отходов в России;

- отсутствием в России экономических условий для переработки основной массы отходов, в результате чего средний уровень переработки отходов не превышает 26%, а негативное воздействие постоянно накапливаемых отходов на окружающую среду и, следовательно, уровень экологической опасности постоянно возрастают;

- возможностью создания в рыночной экономике более благоприятных экономических условий для переработки наиболее распространенных отходов, демонстрируемой развитыми зарубежными странами в последние 5-10 лет, в том числе с использованием российского опыта функционирования в 70-80-х гг. системы вторичных ресурсов;

- финансовыми потерями из-за отсутствия механизма взимания экологических платежей за некоторые виды импортируемых товаров, а также за упаковку, поступающую в Россию с импортируемыми товарами;

- необходимостью ратификации Россией Директивы ЕС 1994 года № 62 «Об упаковке и отходах упаковки», поскольку РФ вступила в ВТО.

Таким образом, к настоящему времени сложились следующие основные предпосылки для необходимости и возможности решения проблемы сбора и переработки отходов в России:

- действующие инструменты государственного управления уже не могут обеспечить существенное повышение уровня сбора и переработки основной массы отходов, по крайней мере, без поддержки бюджетного финансирования муниципальных и городских органов административного управления;

- имеется зарубежный опыт создания централизованно-управляемых национальных систем сбора и переработки отходов, функционирующих за счет экологических платежей, то есть без целевого бюджетного финансирования (за исключением специальных государственных программ) [6, 7];

- имеется отечественный опыт организации сбора и переработки традиционных видов вторичного сырья на территории России по территориальному принципу. Отдельные элементы этой системы продолжают функционировать и в сложившихся экономических условиях [1].

Для комплексного решения обострившейся с начала 90-х годов проблемы сбора и переработки отходов в Российской Федерации целесообразно создать принципиально новую систему вторичных ресурсов, способную работать в рыночных условиях хозяйствования, то есть без выделения целевых средств из Федерального бюджета на эти цели. Её функциональные задачи целесообразно расширить в направлении увеличения номенклатуры перерабатываемых отходов и с учетом специфических условий России. Элементы такого подхода фактически имеют место и в ряде стран ЕС [4].

Для организации заготовки и переработки вторичного сырья в регионах в соответствии со сложившимися в России традициями должны быть созданы региональные органы Российской компании Вторресурсы, которые могли бы работать на договорной основе, прежде всего, с имеющимися производственными предприятиями, занятыми в этой сфере. В случае необходимости региональными органами должны приниматься меры по созданию новых предприятий (рис. 5).

В производственной инфраструктуре, которую региональные органы вторресурсов должны создать или организовать, рекомендуется выделять следующие подразделения:

- «Вторавторресурсы» – обеспечивающие сбор и прием выведенных из эксплуатации автомобилей, их дезагрегацию, первичную обработку и сбыт полученного в результате этого вторичного сырья, а также сбор и первичную переработку отходов, образующихся в результате эксплуатации автомобилей;

- «Втортехресурсы» – обеспечивающие сбор и прием вышедших из употребления сложной бытовой техники и радиоэлектронной аппаратуры, их дегагрегацию, первичную обработку и сбыт полученного при этом вторичного сырья.

Помимо этого, должны быть установлены производственные связи или партнерские отношения с уже функционирующими на рынке вторичного сырья системами «Ртуть-сервис» (люминесцентные лампы и другие ртутьсодержащие отходы), «Вторнефтепродукт», «Вторчермет» и «Вторцветмет».

Для осуществления государственной координации деятельности Российской системы вторичных ресурсов в МПР России (а, возможно, и в Минэкономразвития России) целесообразно учредить Департаменты или отделы вторичных ресурсов.



Рис. 5. Предлагаемая система региональных органов Российской компании Вторресурсы

В качестве первоочередных мероприятий по реализации изложенных предложений необходимо:

1) подготовить изменения в Российское законодательство в виде введения нового Федерального Закона «О вторичных ресурсах» или в виде поправок к Налоговому Кодексу, где определить статус платежей за использование упаковки и платежей на возмещение затрат на сбор и переработку отдельных видов продукции после использования, а также механизм их взимания и распределения [2];

2) разработать базовые нормативы тарифов для расчета платежей за использование упаковки и на возмещение затрат на сбор и предварительную переработку отдельных

видов и продукции после использования. Ввести эти нормативы в действие с помощью специального нормативного правового документа;

3) разработать программу мер по совершенствованию инструментов государственного управления обращением со вторичным сырьем, в том числе в области ведения государственной статистической отчетности; применения разрешительной системы размещения отходов с установлением лимитов; взимания платежей за размещение отходов, являющихся вторичным сырьем; стандартов на вторичное сырье и продукцию с их использованием;

4) подготовить инвестиционную программу по совершенствованию техноло-

гической и производственной базы сбора и переработки вторичного сырья. Реализацию этой программы можно осуществить в рамках раздела «Отходы» ФЦП «Экология и природные ресурсы»;

5) разработать программу мер по созданию системы идентификации материалов, содержащихся в отходах упаковки и в продукции конечного потребления, переходящей в категорию отходов.

Реализация предложений по созданию Российской системы вторичных ресурсов позволит принципиальным образом изменить организационные, нормативно-правовые и экономические условия для заготовки и переработки вторичного сырья в России. Уровень использования основных видов вторичного сырья повысится через 5 лет после ввода в действие системы не менее чем на 30%, по ряду позиций в 1,5-2 раза, снизятся потери природного сырья, содержащегося в отходах. Заметно снизится уровень загрязнения отходами окружающей природной среды.

Целевые ориентиры, определяющие структуру системы планирования программы утилизации, можно разделить на ближнесрочные и долгосрочные. Ближнесрочные ориентиры определяют необходимость утилизации техники, а также создания (совершенствования) научной, технологической и производственной базы и осуществления практической утилизации образцов, требующих минимальных затрат с целью получения прибыли, необходимой для полномасштабной утилизации всей номенклатуры образцов (долгосрочная перспектива). Естественно, на данном этапе утилизация может носить затратный характер.

Вместе с тем, комплексная утилизация по экономическим показателям более предпочтительна, так как позволяет повысить уровень дохода в 2...10 и более раз, а удельную эффективность – в 1,3...2,2 раза. При этом значительная доля этого эффекта получается за счет внедрения прогрессивных технологий и более совершенного оборудования, а также системного маркетинга на внутреннем и внешнем рынках.

Процесс регулирования проблемы образования, переработки и утилизации техники должен опираться на ряд, взаимосвязанных принципов [3]:

1. Принцип системности. В соответствии с ним каждый отдельный процесс

или производство рассматривается как элемент динамической экологической системы, включающий в себя, кроме материального производства и другой хозяйственно-экономической деятельности человека, природную среду, а также человека и среду его обитания.

2. Принцип комплексного использования ресурсов требует максимального использования всех компонентов сырья и потенциала энергоресурсов.

3. Принцип цикличности материальных потоков, благодаря которому создается кругооборот материальных потоков в эколого-экономической системе и, как следствие более рационально используются природные ресурсы.

4. Принцип рациональной организации производства, в котором определяющим является требования разумного использования всех компонентов сырья, максимального уменьшения энергоемкости, материалоемкости и трудоемкости производства, а также поиск новых экологически обоснованных сырьевых и энергетических технологий.

5. Принцип взаимосвязанности проблемы качества, безопасности, совместимости, взаимозаменяемости, информатизации технологических процессов и технических средств.

6. Принцип непрерывности процессов совершенствования и улучшения.

В рамках учета перечисленных принципов на пути совершенствования и разработки принципиально новых технологических процессов производства необходимо разработка ряда общих требований:

– осуществление производственных процессов при минимально возможном числе технологических стадий;

– применение непрерывных процессов, позволяющих наиболее эффективно использовать сырье и энергию;

– интенсификация производственных процессов, их автоматизация и оптимизация.

Формируемая стратегия должна опираться на разработку мероприятий по минимизации образования технических средств для утилизации и экологически безопасному размещению, поиску технических и технологических решений в области утилизации, подбору наилучших из существующих технологий переработки, а также установление плановых заданий, ограничивающих

образование технических средств для утилизации.

В регионе возможно создание одной или нескольких автономно действующих комплексных систем утилизации, специализирующихся на утилизации одного или нескольких видов технических средств. Под регионом следует понимать экономико-географический район, на территории которого располагаются специализирующиеся региональные системы, например, утилизации кораблей и судов, утилизации авиационной техники, утилизации специальной техники. Кроме того, в состав региональной системы утилизации могут входить промышленные предприятия, имеющие соответствующие производственно-технологические, правовые и финансовые базы.

Выводы:

1. Важнейшими критериями выбора видов промышленных отходов, на которые необходимо обращать первоочередное внимание при разработке концепции их использования в качестве вторичного сырья, являются: объемы образования отходов, перспективы их увеличения, влияние на экологию окружающей среды, возможность снижения производства (добычи) первичного продукта.

2. Формирование структурно-организационных предпосылок для разработки научно-обоснованной концепции утилизации является ответственным моментом достижения качественного совершенствования процесса программного планирования. При этом главным признаком организованности любых работ является их системность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко И.Н. Анализ системы переработки и рециклинга утилизируемой техники в России и зарубежом / И.Н. Кравченко, И.А. Золотов, И.В. Лучин // Научно-технический сборник: Вып. № 23. – Балашиха: ВТУ при Спецстрое России, 2012. – С. 115–119.
2. Кравченко И.Н., Жога С.В. Научно-методические основы управления процессами утилизации и реализации высвобождающейся техники / Научно-технический сборник: Вып. № 20. Часть II. – СПб: ВТИ ЖДВ и ВОСО, 2010. – С. 63 – 67.
3. Проблемы планирования и управления. Опыт системных исследований / Под ред. Е.П. Голубкова, А.М. Жандарова. – М.: Экономика, 1987. – 208 с.
4. Сметанин В.И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления [Текст] / В.И. Сметанин. – М.: Колос, 2003. – 230 с.
5. Указ Президента РФ № 24 от 2000 г. Концепция национальной безопасности РФ. Обеспечение национальной безопасности в экологической сфере.
6. Department of defense nuclear biological chemical (NBC) defense, annual report to congress [Text] / Department of defense USA. 1999. – 260 с.
7. International defense directory [Text] / Switzerland. 1993. – 223 с.

УДК 621.9.048.7

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

¹Кравченко И.Н., ¹Сельдяков В.В., ²Бобряшов Е.М., ³Пузряков А.Ф.

¹ФГБВОУ ДПО «Военно-технический университет», Балашиха;

²НИИ «Геодезия» Министерства промышленности и торговли, Красноармейск;

³Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Балашиха,
e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

В статье рассмотрены особенности формирования структуры плазменных покрытий. Показано влияние этой структуры на обеспечение эксплуатационных свойств изделий с покрытиями. На основе результатов математического моделирования этого процесса сформулированы рекомендации по получению плазменных покрытий с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: остаточные напряжения, плазменные газотермические покрытия, математическая формализация процесса

A MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF DEVELOPMENT OF RESIDUAL STRESSES IN THE FORMATION OF PLASMA COATINGS

¹Kravchenko I.N., ¹Seldyakov V.V., ²Bobryashov E.M., ³Puzryakov A.F.

¹Federal State Educational Institution of Higher Military education «Military-Technical University»,
Balashikha;

²Scientific-Research Institute «Geodesy» of the Ministry of Industry and Trade, Krasnoarmeysk;

³Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Balashikha,
e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

The article describes the features of formation of structure of plasma coatings. Shows the effect of this structure is to ensure the operational properties of the coated article. Based on the results of mathematical modeling of the process makes recommendations to obtain plasma coatings with the specified performance properties.

Keywords: residual voltage, plasma thermal spray coatings, mathematical formalization of the process

Проблема прогноза напряжений при нанесении защитных покрытий представляет собой практический интерес с точки зрения оптимизации их свойств [2, 3]. Настоящая работа посвящена математической формализации этого процесса.

Современные представления о физике нанесения плазменных газотермических покрытий можно сформулировать следующим образом. Поток расплавленных частиц напыляемого материала с некоторой скоростью сталкиваются с подложкой, и вступает с ней в физико-химическое взаимодействие. При этом происходит их быстрое охлаждение, сопровождающееся фазовыми превращениями. Это приводит к изменению линейных размеров и объема частиц.

В результате теплообмена основного изделия с окружающей средой, струей разогретого газа (плазмы) и частицами напыляемого материала происходит изменение объема и линейных размеров уже напыленного покрытия и подложки. В результате в слоях покрытия и подложке возникает система напряжений, которая может приве-

сти к тому, что при достижении некоторой критической комбинации произойдет либо отслоение, либо растрескивание покрытия [1, 4, 5].

При математической формализации процесса плазменного напыления нами были приняты следующие допущения:

– каждый напыленный слой покрытия рассматривается как квазиоднофазная среда, характеризующаяся некоторым уравнением состояния;

– между покрытием и подложкой, а также между соседними слоями напыляемого материала известны условия термомеханического контакта;

– плазматрон (горелка) перемещается дискретно, при этом происходит практически мгновенное отверждение напыляемого материала;

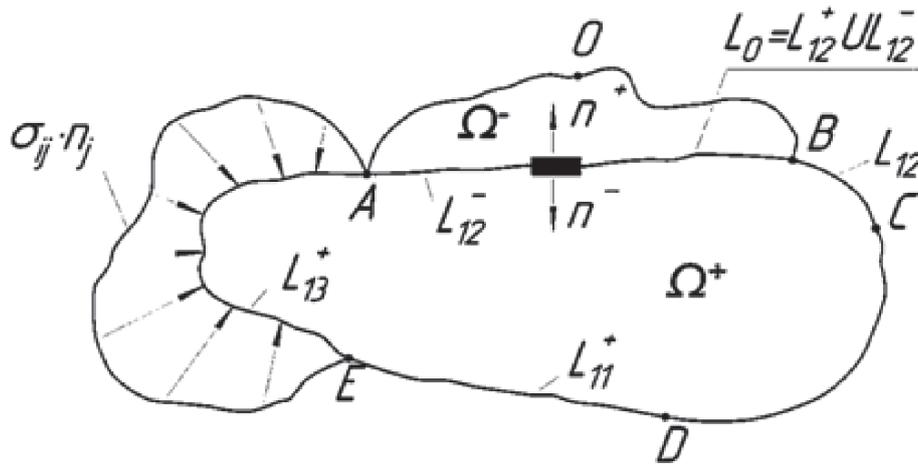
– известны условия теплообмена основного изделия с окружающей средой и струей плазматрона (горелки).

Таким образом, принятые допущения приводят к рассмотрению задачи срачивания в некоторый момент времени t_m двух

тел, характеризующихся, в принципе, различными уравнениями состояния, температурой, напряжениями и деформациями.

Задача формулируется следующим образом. Имеются два тела, занимающие области Ω^+ (основное изделие с напыленным покрытием при $t \leq t_k$) и Ω^- (участок покрытия, напыленный при $t \in (t_k; t_m)$), которые при $t = t_m$ вступают во взаимодей-

ствие. При этом предполагается, что при $t < t_k$ имеем на некотором участке тела Ω^+ свободную от воздействий границу L_{12}^+ (рис. 1). При $t_k \leq t < t_m$ эта граница подвергается нагреву и, наконец, при $t = t_m$ на участке L_{12}^+ тела Ω^+ происходит его сращивание с нагретым до некоторой температуры телом Ω^- . При этом тело Ω^- сращивается по участку его границы L_{12}^- (см. рисунок).



Расчетная схема: $AB - L_0 = L_{12}^+ U L_{12}^-$; $BC - L_{12}$; $DE - L_{11}^+$; $BCDEA - L_1^+$; $CDEAOB - L_1$; $AE - L_{13}^+$; $\Omega = \Omega^+ \cup \Omega^-$

При $t = t_m$ происходит перемещение плазмона в соседнюю точку и процесс повторяется. Обозначим вектор перемещений, тензоры деформаций, напряжений и температурное поле соответственно \bar{u} , $\bar{\varepsilon}$,

$\bar{\sigma}$, $T(x_i, t)$, их компоненты – $u = u(x_i, t)$, $\varepsilon = \varepsilon_{ij}(x_i, t)$, $\sigma = \sigma_{ij}(x_i, t)$.

При $t < t_k$ состояние тела известно и определяется предыдущей историей обработки изделия, т.е.

$$\left\{ \begin{array}{l} T^+(x_i, t) = T_0(x_i, t); \quad u^+(x_i, t) = u_0^+(x_i, t); \quad \sigma_{ij}^+(x_i, t) = \sigma_0^+(x_i, t); \\ \frac{\partial u^+(x_i, t)}{\partial t} = v^+(x_i, t); \quad x_i \in \Omega^+; \quad t = t_k; \quad i, j = 1, 2, 3. \end{array} \right. \quad (1)$$

При $t_k \leq t < t_m$ к участку границы L_{12}^+ тела Ω^+ осуществляется подвод тепла, происходит его разогрев, возникает некоторая

система температурных деформаций и напряжений. В этом случае придем к следующей системе уравнений и граничным условиям:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{ij,y}^+ + y_i^+ - \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} u_i^+ = 0, \quad \Delta(\lambda T^+) = \rho C \frac{\partial T^+}{\partial t}; \\ \varepsilon_{ij}^+ = f(u_i^+, u_{ij}^+), \quad \varepsilon_{ij}^+ = f_1(\sigma_{ij}^+, T^+, x, t_i); \\ x_i \in \Omega, \quad \frac{\partial T^+}{\partial n} = f_2(T^+, T_1, T_2), \quad x_i \in L_{12}^+; \\ u_i^+ = f_5(x_i, t), \quad x_i \in L_{11}^+, \quad \frac{\partial T^+}{\partial n} = f_3(T^+, T_2); \\ x_i \in L_1^+, \quad \sigma_{ij} \cdot n_j = f_4(x_i, t); \\ x_i \in L_{13}^+, t \in (t_k, t_m), \quad i, j = 1, 2, 3. \end{array} \right. \quad (2)$$

где $\frac{\partial T^+}{\partial n}$ – производная от температуры по нормали к границе L^+ ; T_2 – то же на свободной отности; $\vec{n} = (n_1, n_2, n_3)$, λ, ρ, C_p – теплофизические параметры области Ω^+ ; y_i^+ – плотность объемной силы.

В качестве начальных условий (2) следует использовать соотношение (1). При

$t = t_m$ производится сращивание основного изделия Ω^+ и участка покрытия Ω^- . При этом их границы L_{12}^+ и L_{12}^- трансформируются в общую границу L_o . После сращивания теплообмен с окружающей средой происходит уже на границе L вновь образованного тела Ω

В этом случае состояние изделия описывается такой системой уравнений, граничными и начальными условиями:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{ij,j}^+ + y_i - \rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = 0, \quad \varepsilon_{ij} = f(u_i, u_{i,j}, u_j, i); \\ \varepsilon_{ij} = f_1(\sigma_{ij}, T, x_i, t), \quad x_i \in \Omega = \Omega^+ \cup \Omega^-, \quad \Delta(\lambda T) = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}; \\ x_i \in \Omega = \Omega^+ \cup \Omega^-, \quad T^\pm(x_i, t_m) = T_o^\pm(x_i, t_m); \\ u_i^\pm(x_i, t_m) = u_o^\pm(x_i, t_m), \quad \sigma_{ij}^\pm(x_i, t_m) = \sigma^\pm(x_i, t_m), \quad \frac{\partial}{\partial t} u^\pm; \\ (x_i, t_m) = v_i^\pm(x_i, t_m), \quad x_i \in \Omega^\pm, \quad \frac{\partial T}{\partial n} = f_2(T, T_1, T_2), \quad x_i \in L_{12}; \\ \frac{\partial T}{\partial n} = f_3(T_1, T_2), \quad x_i \in L, \quad \sigma_{ij} \cdot n_j = f_4(x_i, t), \quad x_i \in L_{13}^+; \\ u_i = f_5(x_i, t), \quad x_i \in L_{11}^+, \quad t \geq t_m, \quad i, j = 1, 2, 3. \end{array} \right. \quad (3)$$

При выполнении следующих условий на границе взаимодействия вновь напыленного участка покрытия с изделием:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{ij}^+ \cdot n_j^+ = \sigma_{ij}^- \cdot n_j^-, u_i^+ = u_i^- \frac{\partial T^+}{\partial n} = u \left(\frac{\partial}{\partial n} T, T^+, T^- \right); \\ u_i^\pm(x_i, t) = u_+(t - t_k) u^\pm(x_i, t) + u^\pm(x_i, t_m); \\ x_i \in L_o = L_{12}^+ \cup L_{12}^-, \end{array} \right. \quad (4)$$

где $u_+(t - t_k)$ – асимметричная функция Хевиссайда; l, r, C_p – теплофизические параметры области $\Omega = \Omega^+ \cup \Omega^-$.

Полученные соотношения могут быть использованы в численном моделировании для предварительного выбора диапазона технологических параметров режима напыления, при которых обеспечиваются условия формирования плазменных газотермических покрытий с экстремальным комплексом эксплуатационных свойств. При этом окончательный выбор режимов напыления обеспечивается экспериментальным исследованием свойств покрытий в выбранных диапазонах.

Заключение

Процесс формирования плазменных покрытий может быть формализован с использованием систем уравнений (1)...(4). При этом вопросы сходимости, существования, единственности и устойчивости могут быть решены на основе конкретных граничных условий и уравнений состояния. Проведен-

ные исследования позволили установить новые закономерности, обеспечивающие условия для получения плазменных покрытий с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барвинок В.А. Физическое и математическое моделирование процесса формирования мезоструктурно-упорядоченных плазменных покрытий / В.А. Барвинок, В.И. Богданович // Журнал технической физики. – 2012. – Том 82. – Вып. 2. – С. 105 – 112.
2. Кравченко И.Н. Исследования механизмов формирования остаточных напряжений в системе «деталь-покрытие» / И.Н. Кравченко, А.Ф. Пузряков, Е.М. Зубрилина // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2013. – № 4. – С. 22 – 41.
3. Кравченко И.Н. Формирование остаточных напряжений в системе деталь-покрытие с использованием методов численного анализа / И.Н. Кравченко, Е.В. Панкратова, О.Я. Москаль // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2012. – № 10. – С. 44 – 51.
4. Кудинов В.В. Нанесение покрытий плазмой / В.В. Кудинов, П.Ю. Пекшев, В.Е. Белашенко и др. – М.: Наука, 1990. – 408 с.
5. Максимович Г.Г. Физико-химические процессы при плазменном напылении и разрушении материалов с покрытиями / Г.Г. Максимович, В.Ф. Шатинский, В.И. Копылов. – Киев: Наукова думка, 1983. – С. 11–145.

УДК 614.87

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧНЫХ ПЛАТФОРМАХ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ

Лебедева Е.О., Матузова С.Ю.

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: leleol@mail.ru, s.matuzova@yandex.ru

В статье приведен анализ условий труда рабочих добычных платформ Северных морей. Проведен анализ факторов и рисков, в наибольшей степени влияющих на безопасность человека в рассматриваемых условиях. Представлена схема влияния опасных и вредных факторов окружающей среды на работающего на морских добычных платформах Северных морей. Определено, что разрабатываемая на сегодняшний день специальная теплозащитная одежда не обеспечивает в достаточной степени защиту человека от влияния рассмотренных в статье факторов. Выделены и сформулированы проблемы проектирования специальной теплозащитной одежды для работы на добычных платформах Северных морей в рамках системы «Человек-Одежда-Среда».

Ключевые слова: морская добычная платформа, экстремальное попадание в воду, индивидуальная безопасность, специальная теплозащитная одежда

THE ANALYSIS OF WORKING CONDITIONS AND SECURITY PERSONAL PROTECTION ON OFFSHORE PLATFORMS

Lebedeva E.O., Matuzova S.J.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: leleol@mail.ru, s.matuzova@yandex.ru

The article gives the analysis of working conditions of production north offshore platform workers. Factors and risks analysis, mainly influencing life safety in the considered conditions, has been carried out. A scheme of environmental hazards and harmful factors, influencing north offshore platform workers is shown. It is determined that a designed heat-protective clothing does not provide protection of life safety against influence of the factors, considered in the article. The design problems of special heat-protective clothing for north offshore platform workers are defined within the system «man-clothing-environment».

Keywords: offshore production platform, sudden immersion in water, personal safety, heat-protective clothing.

На территории шельфовой зоны Северных морей (Баренцева, Карского, Восточно-Сибирского, Чукотского) расположены уникальные месторождения газа и нефти. По данным Минприроды России, потенциал арктического шельфа в российском секторе составляет примерно 90 млрд. т условного топлива [1].

Разведка и добыча углеводородного сырья на побережье Северных морей, относящегося к особой климатической зоне, производятся в экстремальных природно-климатических условиях. Для этого района характерны наиболее суровые климатические условия: продолжительная суровая зима (8-9 месяцев на севере, 5-6 месяцев на юге), частые метели и бураны, большая скорость ветра (до 25 м/с), высокая относительная влажность воздуха (90%), насыщенная морской солью, морской лед, айсберги, шуга (скопления рыхлого губчатого льда в воде), обледенение (атмосферное, морское брызговое), вибрации, вызываемые льдами, местные атмосферные явле-

ния (такие как полярные области низкого атмосферного давления), туман, зимняя полярная ночь. Температура наиболее холодного месяца -40°C , температура наиболее теплого месяца $+10^{\circ}\text{C}$ [2, 3]. Суровый климат обуславливает низкую температуру океанических вод. В области распространения дрейфующих льдов в течение всего года температура поверхностного слоя вод близка к -2°C . Разведка и добыча углеводородного сырья в шельфовой зоне Северных морей осложнена так же большой удаленностью от материка (почти 600 км), значительными глубинами моря (300-320 м), большими приливами, частыми штормами, дрейфующими льдами.

При разработке нефтегазоносных месторождений шельфа в акватории Северных морей, кроме климатических, существенное влияние на условия труда, оказывают опасные и вредные факторы производственной среды: интенсивный производственный шум, общая и локальная вибрация, недостаточное освещение, загрязнение рабочей

зоны опасными химреагентами (реагенты-добавки в буровые растворы, реагенты для увеличения производительности скважин, реагенты для ограничения водопритоков в скважины и т.д.) и газами [3]. Нередко нефть и газ в скважинах находятся под большим давлением, что создает угрозу взрывных выбросов и пожаров.

Таким образом, совокупное воздействие климатических и производственных факторов увеличивает частоту возникновения несчастных случаев и серьезность их последствий. Несмотря на использование современного оборудования и новейших технологий, работа на морских добычных платформах Северных морей остается одной из самых тяжелых и опасных. Обслуживание и ремонт нефтяных морских платформ осуществляют множество рабочих различных специальностей: бурильщиков, монтажников, сварщиков, электриков, машинистов. Следует отметить, что большая часть работ проводится на открытой территории платформы. Обеспечить безопасность человека на объектах нефтегазового производства на море гораздо сложнее, чем на суше. В случае возникновения чрезвычайной ситуации на суше человек имеет возможность покинуть аварийный объект, на континентальном шельфе такой возможности нет.

При аварийной ситуации на нефтяных платформах существует риск попадания человека в воду. Такая ситуация представляет дополнительный риск для жизни и здоровья работников нефтегазодобычных платформ и, соответственно, создаёт предпосылки для разработки мероприятий для защиты человека в рассматриваемой ситуации. Одной из мер снижения риска с целью обеспечения безопасных условий труда является использование специальной одежды. Индивидуальная безопасность человека во многом зависит от свойств специальной одежды. В случае возникновения чрезвычайной ситуации особенно важны защитные функции специальной одежды. В настоящее время персонал морских нефтегазодобычных платформ использует традиционную специальную одежду, которая не обеспечивает необходимый уровень защиты человека в рассматриваемых природно-производственных условиях. При экстремальном попадании в холодную воду, возникает серьезная угроза здоровью и жизни человека – одежда намокает, увеличивается её вес и тепло-

проводность. Таким образом, специальная защитная одежда, применяемая рабочими добычных платформ в условиях Арктического шельфа, должна способствовать увеличению продолжительности времени пребывания в холодной воде и уменьшению риска для здоровья и жизни человека.

Мы провели анализ наиболее крупных аварий и их последствий на буровых судах и платформах различного типа, произошедших в Северных морях [4, 5]. В апреле 1983 года в штормовых условиях произошло разрушение опор платформы «Alexander Kielland», с последующим взрывом и пожаром. Погибло 123 человека. В июле 1988 года на производственной палубе платформы «Piper Alpha» произошел ряд взрывов, от пожара и переохлаждения в воде погибло 167 человек. В мае 2008 года на нефтедобывающей платформе «Stattfjord A» произошла утечка нефти. Были эвакуированы 156 человек. В июне 2008 года на норвежской нефтедобывающей платформе «Oseberg A» произошел пожар, эвакуировано 311 нефтяников. В августе 2008 года на нефтедобывающей платформе «Heather Alpha» произошла утечка нефти, с платформы были эвакуированы 56 человек. В декабре 2011 года буровая платформа «Кольская», буксировавшаяся с Камчатки на Сахалин, перевернулась в штормовых условиях при высоте волн 5-6 метров и температуре воды 0 °С в 200 километрах от Сахалина. Установка полностью ушла под воду. Из 67 членов экипажа и пассажиров, находившихся на борту, спасены только 14. В апреле 2011 года на норвежской нефтяной платформе «Visund» компании Statoil обнаружена утечка газа. На вертолетах было вывезено 63 человека.

Последствия несчастных случаев (гибель персонала), усугубляются также вследствие сложности осуществления спасательных операций – арктических условий и значительной удалённости морских платформ от берега. Таким образом, взаимосвязь рассматриваемых негативных факторов и их влияние на безопасность человека, работающего на морских нефтегазодобычных платформах Северных морей, можно представить в виде схемы изображённой на рис. 1.

Возникновение острого охлаждения в воде существенно отличается по сравнению с поражением холодом на суше. В большинстве случаев, время безопасного

пребывания людей, оказавшихся в холодной воде, будет ограничено скоростью охлаждения организма. Поскольку теплопроводность воды в 25–26 раз больше, чем у воздуха, в воде человек теряет значительно больше тепла, чем в воздушной среде такой же температуры [6]. Так, при пребывании в воде, температура которой +20 °С, человек теряет тепла в 4-5 раз больше, при температуре воды +12 °С – в 15 раз больше, а при температуре воды 0–1 °С – в 25 раз боль-

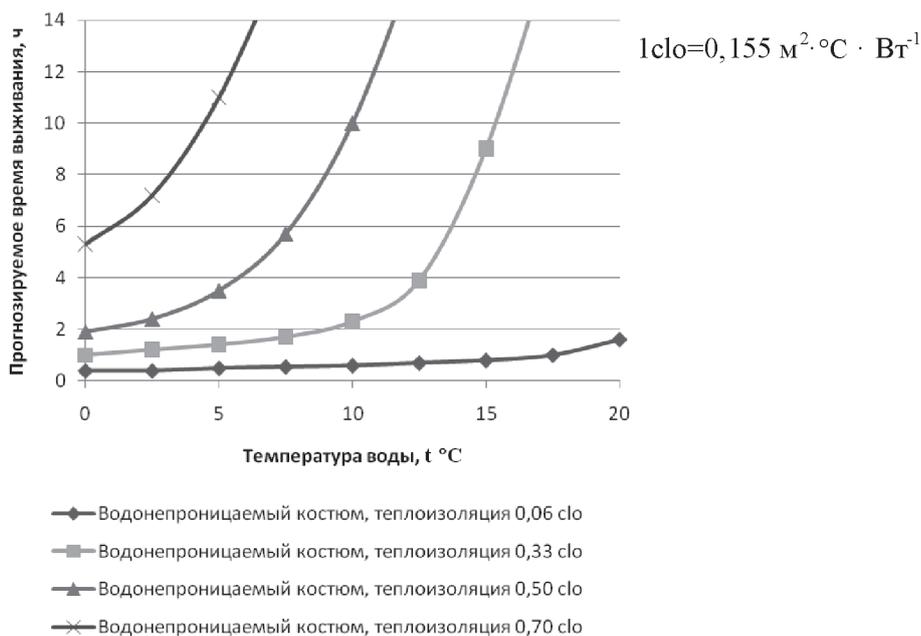
ше, чем при такой же температуре воздуха. Таким образом, по сравнению с охлаждением в воздушной среде, время возможного смертельного охлаждения в воде такой же температуры, сокращается в 10–20 раз. При внезапном попадании человека в холодную воду, в первые минуты, существует вероятность возникновения холодового шока, приводящего к неизбежной смерти, что так же не наблюдается при охлаждении на суше [7].



Рис. 1. Схема влияния опасных и вредных факторов окружающей среды на работающего на морских нефтегазодобывчных платформах Северных морей

Данные американских исследователей [8], представленные графиком на рисунке 2, дают возможность проанализировать прогнозируемое время охлаждения температуры ядра тела человека до 34 °С в зависимости от температуры воды. Расчёты произведены для водонепроницаемых костюмов, предусмотренных Международной конвенцией по охране человеческой жизни на море (СОЛАС-74). Четыре кривые на графике представляют четыре степени те-

плоизоляции водонепроницаемой одежды. Данные графика показывают, что при температуре воды 0 °С использование водонепроницаемого костюма с теплоизоляцией 0,70 clo (0,109 м²·°С·Вт⁻¹) увеличивает в 2 раза прогнозируемое время выживания по сравнению с водонепроницаемым костюмом, имеющим теплоизоляцию 0,06 clo (0,009 м²·°С·Вт⁻¹). Температурный интервал 0-5 °С на графике соответствует температуре воды зоны Северных морей.



d

Рис. 2. Прогнозируемое время выживания человека в водонепроницаемой одежде с различной теплоизоляцией в зависимости от температуры воды

Были рассмотрены случаи аварий и кораблекрушений [7, 9], когда потерпевшие находились в обычной одежде. Анализ обстоятельств кораблекрушений, произошедших при суровых гидрометеорологических условиях (шторм, низкие температуры воды и воздуха), показал, что, как правило, никого спасти не удалось, даже в тех условиях, когда организация спасения начиналась спустя всего лишь 4 ч с момента аварии. Следует подчеркнуть, что в рассматриваемых случаях одежда была промокаемой, что характерно для традиционной специальной одежды, используемой в настоящее время на морских платформах. Даже в тех случаях, когда люди были тепло одеты и находились на коллективных спасательных средствах, одежда быстро пропитывалась водой и терпящие бедствие вскоре начинали мерзнуть. Мокрая одежда в значительной мере теряет свои теплоизоляционные свойства. Известно, что теплоизоляционные свойства одежды во многом зависят от заключенного в них «инертного воздуха». В мокрой одежде вода вытесняет «инертный воздух», заключенный в слоях одежды, что приводит к увеличению теплопроводности и, следовательно, к потерям тепла человеком. В воде теплоотдача происходит в основном радиацией и конвекцией. Слой воды, находящийся у тела человека, будет постоянно вытесняться более холодной во-

дой, из-за её высокой теплоёмкости [7]. Реакцией организма человека на охлаждение будет уменьшение теплоотдачи и увеличение теплообразования. Компенсировать теплотери в холодной воде путем усиления теплопродукции почти невозможно, и охлаждение будет неизбежным, так как эффективность механизма терморегуляции при сильном охлаждении уменьшается.

Очевидно, что основной причиной смерти людей в холодной воде является переохлаждение, или острая гипотермия, которая определяется как быстрое охлаждение, сопровождающееся устойчивым понижением температуры тела [6]. Скорость этого процесса зависит в наибольшей степени от температуры воды. Следует отметить, что определенное значение имеет физическое состояние человека, его индивидуальная устойчивость к низким температурам, толщина подкожно-жирового слоя. В таком случае использование специальной одежды с заданными защитными свойствами будет единственным барьером между потенциальной опасностью и несчастным случаем.

В настоящее время предложено достаточно разработок в проектировании специальной одежды, эффективно защищающей от переохлаждения в тяжелых гидрометеорологических условиях и при погружении в холодную воду. Разрабатываемые на сегодняшний день способы повышения

теплоизоляционных свойств спецодежды (гидрокостюмы сухого и мокрого типа, гидрофобизированное белье, обогрев областей тела различными источниками тепла) имеют ограниченное применение у персонала в нефтегазовом производстве. Как правило, такую спецодежду применяет узкий круг морских специалистов – водолазы, моряки, спасатели, спортсмены, занимающиеся водными видами спорта. Необходимо учитывать, что в морских условиях Северных морей, рабочие добычных платформ используют специальную одежду и другие средства индивидуальной защиты, разработанные согласно требованиям безопасности в нефтегазовом производстве. Кроме основной – теплозащитной функции, данная специальная одежда обеспечивает комплексную защиту от воздействия нефтепродуктов и сырой нефти, антистатическую и огнезащиту в условиях взрывоопасного производства. Поэтому, при экстремальном попадании в воду, традиционная специальная теплозащитная одежда не в состоянии обеспечить человеку безопасное пребывание в воде, а только может усугубить его положение.

Создание теплозащитной спецодежды с точки зрения морских условий Северных морей, является сложной задачей, так как одежда должна удовлетворять комплексу требований, часто не совместимых друг с другом. При ведении морской добычи нефти и газа в арктических условиях высока вероятность возникновения аварийных ситуаций, следствием которых может быть попадание человека в воду. Чтобы снизить риск для жизни и здоровья человека в результате несчастных случаев, особое значе-

ние приобретает задача разработки и проектирования новых видов специальной одежды для работы на морских нефтегазодобывных платформах Северных морей, которая должна отвечать реальным условиям эксплуатации, а в случае экстремального попадания в холодную воду гарантировать защитный эффект и продлить время безопасного пребывания человека в воде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цуневский А.Я. Арктический шельф – будущее нефтедобычи России // Энергетическая политика. 2008 № 1. – URL: <http://www.wecc.ru/doci/articles/Tsunevsky.01.08.pdf> (дата обращения: 18.04.2013).
2. Колесников П.А. Теплозащитные свойства одежды – М.: Лёгкая индустрия, 1971. – 345 с.
3. Российско-Норвежский проект «БАРЕНЦ–2020»: оценка международных стандартов для безопасности разведки, добычи и транспортировки нефти и газа в Баренцевом море: [Электронный ресурс] – URL: http://tksneftegaz.ru/fileadmin/ru/documents/barenc_2020/Barents-2020_otchet_rus.pdf (дата обращения: 18.04.2013).
4. Аварийность на морских нефтегазовых объектах / М.В. Лисанов [и др.] // Oil and Gas Journal Russia – 2010. – № 5 (39). С. – 48 – 53.
5. Анализ катастроф на морских нефтедобывающих платформах: [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ano-rtg.ru/analiz_katastrof/analiz.htm (дата обращения: 25.02.2013).
6. Бартон А., Эдхолм О. Человек в условиях холода: перевод с англ. Н.А. Краскиной. М.: Издательство иностранной литературы, 1957. – 333 с.
7. Клинецвич Г.Н. Выживаемость терпящих бедствие на море: [Электронный ресурс]. 1977. URL: <http://parusa.narod.ru/bib/books/klinz/klinz05.htm> (дата обращения: 18.04.2013).
8. Goldman R. F., Kampmann B. Handbook on clothing: Biomedical Effects of Military Clothing and Equipment Systems. 2007. URL: <http://www.environmentalergonomics.org/Handbook> (дата обращения: 25.02.2013).
9. Tipton M.J., Brooks C.J. The Dangers of Sudden Immersion in Cold Water: //University of Portsmouth United Kingdom & Survival Systems Ltd. 2008. URL: <http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/AG/RTO-AG-HFM-152/AG-HFM-152-03.pdf> (дата обращения: 25.02.2013).

УДК 622.331:631.445.12:551

УМЕНЬШЕНИЕ ПОЖАРООПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ЧЕРЕЗ ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ БОЛОТ

Макаренко Г.Л.*Тверской государственной технической университет, Тверь, e-mail: mgl777@mail.ru*

Проведен анализ и особенности возникновения пожаров в условиях лесоболотных комплексов (выработанных торфяников). Предложена новая геотехнология, обеспечивающая возобновление болотообразовательного процесса дополнительное получение природных ресурсов (торфяная почва, минеральные отложения), и исключение возникновения пожаров на данных территориях.

Ключевые слова: пожар, выработанный торфяник, геотехнология, восстановление болот, снижение пожароопасности

REDUCING FIRE DANGER TERRITORIES THROUGH NATURAL RECOVERY OF SWAMPS

Makarenko G.L.*Tver State Technical University, Tver, e-mail: mgl777@mail.ru*

The analysis of the occurrence and features of fires in forest bog complexes (extracted peatlands). A new geotechnology, providing resumption mire of the process obtaining additional resources (peat soil, mineral sediments), and the exclusion of fires in these territories.

Keywords: fire, exhausted peat, geotechnology, wetland restoration, reduction of fire risk

Неравномерность размещения и большое разнообразие выработанных торфяников по размерам площадей и самопроизвольным зарастанием характерны как в целом для территории РФ, так и отдельных экономических районов. К настоящему времени во многих регионах РФ были выработаны обширные площади торфяных месторождений (900 тыс. га, из которых около 70% – поля добычи фрезерного торфа), которые являются источниками возникновения пожаров и могут представлять местную минеральную сырьевую базу.

Лесные пожары – разновидность ландшафтных пожаров, к которым относятся, прежде всего, лесоболотные. Под ними обычно понимают горение, стихийно распространяющееся по лесной площади. Поэтому костёр в лесу, сжигание порубочных остатков, встречный низовой огонь и т. п. не являются лесным пожаром, хотя при небрежном обращении с огнём могут стать их причиной.

Горимость лесоболотных ландшафтов – комплексное, обобщающее понятие, показывающее, как часто в конкретном районе возникают пожары и какую площадь они охватывают. Горючими материалами при лесном пожаре являются живой и мёртвый растительный покров, хвоя и листья, веточки, сучья, пни, торф и пр. Природные пожары, особенно лесные и торфяные, иногда становятся для России настоящим бед-

ствием. Сгорают гигантские площади лесных массивов, уничтожаются уникальные экосистемы. С пожарами в атмосферу выбрасывается огромное количество дыма, содержащего такие опасные загрязнители как углекислый газ, угарный газ и окись азота. В отдельные годы этих выбросов столько же, сколько от сжигания всей перерабатываемой в России нефти. От задымления страдают жители городов и поселков. По оценкам медиков задымление территории в результате лесных и торфяных пожаров может привести к гибели людей. Особенно опасно задымление воздуха для детей первого года жизни и новорожденных. У них под воздействием дыма увеличивается частота врожденных пороков сердца и заболеваний органов дыхания.

Различают 3 вида лесоболотных пожаров: низовые, верховые и подземные (торфяные). Первые два вида подразделяются на беглые и устойчивые.

Низовые лесные пожары характеризуются пламенным горением опада, подстилки, а также мохового и травяного покрова, опавших на землю веток и т.п. Скорость движения пожара по ветру 0,25–5 км/ч. Высота пламени до 2,5 м. Температура горения около 700 °С (иногда выше) (рис. 1). При беглом низовом пожаре сгорает верхняя часть напочвенного покрова, подрост и подлесок. Такой пожар распространяется с большой скоростью, обходя места с по-

вышенной влажностью, поэтому часть площади остается незатронутой огнем. Беглые пожары в основном происходят весной, когда просыхает лишь самый верхний слой мелких горючих материалов. Устойчивые низовые лесные пожары характерны для зеленомошниковой группы типов леса после сильных засух во второй половине лета.

При толщине подстилки 3–15 см и низкой (7–20%) влажности лесные пожары принимают устойчивый характер (скорость продвижения фронта 1,1–3 м/мин). Подстилка выгорает до минерального слоя, и вместе с нею сгорает или сильно повреждается поверхностная корневая система деревьев.



Рис. 1. Низовой лесной пожар

Верховые лесные пожары отличаются от низовых тем, что наряду с горением напочвенного покрова и подстилки горят кроны деревьев. Верховой лесной пожар охватывает листья, хвою, ветви, и всю крону, мо-

жет охватить (в случае повального пожара) травяно-моховой покров почвы и подрост. При устойчивом верховом лесном пожаре горение крон деревьев, покрова и подстилки происходит одновременно (рис. 2).



Рис. 2. Верховой лесной пожар

В процессе горения выделяется огромное количество теплоты, которое способствует образованию сильных завихрений воздуха над пожаром и переносу горящих частиц (веточек, шишек, сучков) на 150–200 м вперёд – за фронт пожара, вызывая новые очаги горения. Средняя скорость продвижения фронта лесных пожаров 5–15 м/мин. Верховой пожар – это обычно завершающаяся стадия пожара. Область распространения яйцевидно-вытянутая.

Подземные (торфяные) лесные пожары характеризуются беспламенным горением торфяного слоя почвы глубиной 0,3–1,5 м. При малой мощности горящего слоя (до 0,3 м)

эти лесные пожары иногда наз. подстильно-гумусовыми. В засушливые периоды второй половины лета верх, слой торфа может высыхать до относительной влажности 25–100%. При такой влажности он может загораться и поддерживать горение в нижних, менее сухих слоях. Распространяются со скоростью до 1 км в сутки, отличаются устойчивостью горения (от несколько дней до несколько месяцев). Могут быть малозаметны и распространяться на глубину до нескольких метров, вследствие чего представляют дополнительную опасность и крайне плохо поддаются тушению (торф может гореть без доступа воздуха и даже под водой) (рис. 3).



Рис. 3. Подземный (торфяной) лесной пожар

Даже сильные дожди не могут ликвидировать торфяной лесной пожар. По мере выгорания торфа сгорает и корневая система деревьев, которые постепенно вываливаются вершиной к центру очага горения.

Большинство выработанных по существующим технологиям торфяников не подготовлено для возобновления болотообразовательного процесса и они лишь частично регенерируются естественным путем с неясно выраженной тенденцией и скоростью самовосстановления. Обычно процесс самовосстановления болот может

являться самопроизвольным, однако тенденция зарастания и заболачивания выработанного торфяника может быть нечеткой. В жаркое время года остаточный высоко разложившийся слой торфа высыхает и такой участок напоминает самую настоящую пороховую бочку, для которой достаточно лишь одной спички или удара молнии, чтобы всё вспыхнуло. Выработанные торфяники можно восстанавливать через естественный процесс заболачивания. Эта проблема во многом актуальна не только для России. Работа в этом направлении как в России,

так и за рубежом ведётся уже довольно давно. Восстановление болото- и торфообразовательного процесса может быть вызвано избыточным увлажнением поверхности выработанного торфяника. В рамках проекта по восстановлению водно-болотных угодий на месте выработанных торфяников в Великобритании, Голландии и Германии (проект BRIDGE) была разработана классификация выработанных торфяников и рассмотрены факторы, создающие стартовые условия для восстановления. Также рассмотрены гидротехнические приемы, применяемые при обводнении осушенных торфяников и создание условий для реколонизации территории болотными растениями [2 – 6] (рис. 4).

Однако процессы восстановления выработанных торфяников должны быть, прежде всего, должны быть подчинены природным законам, проявление которых зависит от природных условий болотной биогеоэкологической системы.

В процессе добычи торфяного сырья по существующим технологиям формируется новый природно-техногенный комплекс (ПТК), техногенной составляющей которого являются выработанные площади и торфяные карьеры. С одной стороны, выработанные площади это согласованный механизм взаимодействия природной и техногенной составляющей, с другой, процесс нарушения естественной генетически унаследованной взаимосвязи компонентов природной среды. При этом площадь выработанного торфяника придает ПТК новые устойчивые качества. Например: пониженный уровень грунтовой воды (УГВ), наличие остаточного придонного слоя торфа (торфяной почвы), развивающийся новый растительный покров и т.д. Остаточный слой торфяной почвы, как правило, высокой степени разложения при самопроизвольном восстановлении болотообразовательного процесса изолирует проникновение влаги в залежь. Поэтому, остаточный слой торфа не является необходимым для возобновления болотообразовательного процесса, а иногда даже играет отрицательную роль. Данный слой подвержен ветровой эрозии (дефляции). Дефляция приводит к полному или частичному обнажению минеральных отложений. Основной задачей использования любого ПТК является извлечение максимальной полезности при минимальном нарушении его природной составляющей.

Существуют факты, указывающие на целесообразность использования выработанных площадей не только под сельхозугодья, но и полное извлечение придонного слоя торфяной почвы и части слоя минеральных отложений до подвижного горизонта капиллярной каймы (ПГКК). Первоначальное полное извлечение остаточного придонного слоя торфяной почвы и сработка части слоя минеральных отложений до подвижного уровня капиллярной каймы (ПГКК) при сохранении, пониженного после разработки УГВ, может осуществляться в соответствии со стандартными технологиями добычи. Перед сработкой части слоя подстилающих минеральных отложений на выработанных площадях должен проводиться комплекс геологических работ включающих: топографическую съемку, установление литологического состава поверхностного слоя минеральных отложений при проведении геокартирования и гидрогеологическое бурение для определения глубины залегания пониженного УГВ (рис. 5) [1, 7].

Полная сработка придонного слоя торфа, сапропеля и части слоя подстилающих минеральных отложений может значительно ускорить данный процесс. Как показывает анализ придонный слой торфа не является «второсортным» видом сырья для некоторых видов продукции и не играет никакой роли для возобновления болотообразовательного процесса.

Разработка системы рационального использования карьерных площадей выработанных торфяных месторождений становится актуальной особенно при постановке и дополнительном проведении геологоразведочных работ (доразведкой), где основной принцип рационального природопользования должен удовлетворять следующим условиям: полное извлечение и использование торфяных ресурсов и части слоя подстилающих минеральных отложений; обеспечение естественного восстановления и возобновления болото- и торфообразовательного процесса на генетической основе.

Проведения комплекса работ по рекультивации и ориентирование на восстановление болото- и торфообразовательного процесса является общемировой тенденцией, которая призвана улучшить экологическую обстановку территории выработанного торфяника, биогеоценоз которого был нарушен в процессе добычи.



Рис. 4. Пример практической реализации существующей технологии возобновления болотообразовательного процесса

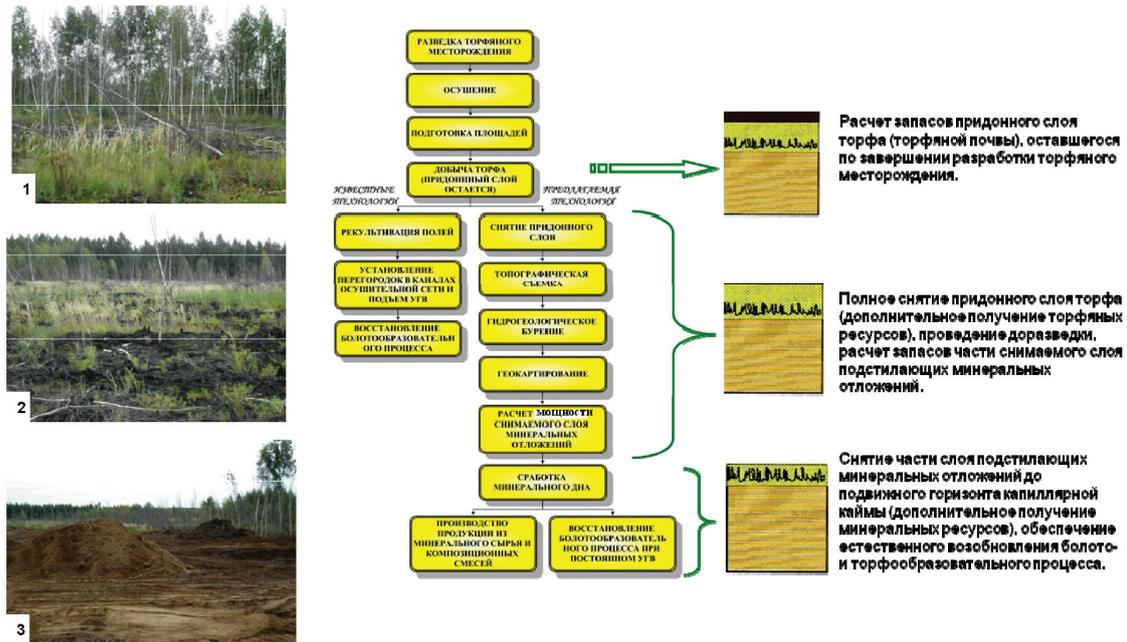


Рис. 5. Пример основных этапов преобразования выработанного торфяника и выхода на начальный этап возобновления болотообразовательного процесса (естественного процесса восстановления) и принципиальная схема предлагаемой методики рационального освоения торфяных месторождений в сравнении с общепринятой:
 1 – растительный покров; 2 – поверхность после пожара; 3 – складирование остаточного слоя торфа (торфяной почвы) и части слоя подстилающих минеральных отложений (песок) до горизонта капиллярной каймы пониженного УГВ

Внедрение современной технологии комплексного освоения торфяных месторождений на генетической основе удовлетворяет системе рационального природопользования с учетом природных условий залегания (геолого-геоморфологических, гидрогеологических и пр.) и является одним из приоритетных направлений повышения экономической и экологической эффективности торфяных производств. Расширяются направления дополнительной разработки и использования природного сырья выработанного торфяника (торф, сапрпель, минеральные отложения); обеспечивается работа торфопредприятия на полную мощность; создаются дополнительные рабочие места и снижается социально-экономическая напряженность; возобновляется болото- и торфообразовательного процесс с пониженным сохранением УГВ, значительно снижается или исключается возможность возникновения пожаров. Повысится рентабельность производства и расширится ассортимент перерабатываемого сырья, который имеет более высокое или аналогичное качество в сравнении с продукцией на рынке, что должно быть учтено при совершен-

ствовании Государственной политики в области добычи органо-минерального сырья. Следует также отметить необходимость правового и нормативного регулирования данной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ № 2360119/29.06.2009.
2. Рекомендации по восстановлению болот, нарушенных осушительными работами. Мищенко А.Л., Суханова О.В. [и др.]. – М.: Союз охраны птиц России, 2002. 17 с.
3. Conserving Bogs (R. Stoneman, S. Brooks, eds.). Edinburg: The Stationery Office, 1997.
4. Eggelsmann R.R.F. Rewetting for protection and renaturation/regeneration of peatland after or without peat winning // Proceeding of the 8th International Peat Congress. Section III. Leningrad, 1988. P. 251 – 260.
5. Gensior A., Zeitz J., Dietrich O., Dannowski R., Wichtmann W. Fen restoration and reed cultivation: first results of an interdisciplinary project in Northeastern Germany – Abiotic Aspects // Peatland Restoration and Reclamation. Duluth, 1998. Jyvaskyla, 1998. P. 229 – 234.
6. Guidelines for Wetland Restoration of Peat Cutting Areas. (Eds. Blankenburg J. & Tonis W.). Bremen, 2004. 56 pp.
7. Makarenko G.L. About the geological nature peat deposits of forest area Russia 2nd International Scientific Conference «European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches»: Volume 1 Papers of the 1st International Scientific Conference (Volume 1). February 18-19, 2013, Stuttgart, Germany. P. 44 – 48 (230 p.).

УДК 625.724+51-74

РАСЧЁТ ЛИНИЙ МАНЕВРИРОВАНИЯ И СЛИЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ГОРОДСКИХ УЛИЦ**Маркуц В.М.***Тюмень, e-mail: vmarkuc@yandex.ru*

Обеспечение безопасности движения, пропускной способности и расчётной скорости на автомагистралях и в местах слияния транспортных потоков, оценки различных планировочных схем транспортных развязок и пересечений с точки зрения безопасности движения и обеспечения максимально возможной пропускной способности, а также создания благоприятных условий вхождения автомобиля в основной транспортный поток с заданным коэффициентом снижения скорости является основной задачей в проектировании автомобильных дорог. Для этого уточнена методика и расчётные формулы для определения геометрических размеров элементов пассивного регулирования, линий маневрирования и слияния транспортных потоков автомобильных дорог и городских улиц: участка поиска приемлемого интервала; разгонного участка; участка сопряжения переходной-скоростной полосы с основной полосой движения.

Ключевые слова: безопасность движения, пропускная способность, расчётная скорость, автомагистраль, транспортный поток, транспортная развязка, методика, расчётные формулы, линии маневрирования, линии слияния, переходной-скоростная полоса

CALCULATION OF LINES MANOEUVRING AND MERGERS HIGHWAYS AND URBAN STREET**Markuts V.M.***Tyumen, e-mail: vmarkuc@yandex.ru*

Ensuring the safety of traffic, highway capacity and rated speed to highway and at the confluence of traffic flows, evaluation of various planning schemes road junction and intersections from the point of view of traffic safety and to ensure the maximum possible throughput, as well as to create favorable conditions for entry into the vehicle the main traffic flow with a given droop rate is a major challenge in the design of highways. For this refined methodology and formulas for calculating the geometric dimensions of the elements of passive control lines maneuvering and merging traffic roads and city streets: site search for an acceptable range, the plot of driving at high speed; plot pairing transitional speed of the band with the main lane.

Keywords: traffic safety, throughput, design speed, highway, traffic flow, transportation, methods, formulas, lines maneuvering, lines merger, transitional speed of the band

При проектировании и эксплуатации автомобильных дорог требуется решить целый ряд существенных вопросов, имеющих жизненно-важное значение:

– обеспечить удобство и безопасность движения одиночных автомобилей, и высокую расчётную скорость всего транспортного потока;

– оценить различные планировочные схемы транспортных развязок в разных уровнях и пересечений в одном уровне с точки зрения безопасности движения и обеспечения максимально возможной пропускной способности.

Обеспечение безопасности движения, пропускной способности и расчётной скорости на автомагистралях и в местах слияния транспортных потоков является основной задачей при проектировании транспортных развязок. Из обширного круга вопросов, составляющих указанную проблему, рассмотрим две задачи:

1. уточнить расчётные формулы для определения геометрических размеров элементов пассивного регулирования, линий маневрирования и слияния транспортных

потоков автомобильных дорог и городских улиц;

2. оценить величину снижения скорости транспортного потока основного направления и на этой основе дать рекомендации по обеспечению требуемой скорости движения.

Настоящая работа посвящена уточнению методики расчёта линий маневрирования и слияния автомобильных дорог и городских улиц.

1. Общие положения

Для обеспечения расчётной скорости движения на автомобильных магистралях, а также при проектировании планировочных схем транспортных развязок и пересечений устраиваются переходной-скоростные полосы. Наличие переходной-скоростных полос создаёт более благоприятные условия вхождения автомобиля в основной транспортный поток с заданным коэффициентом снижения скорости. При этом не возникают ситуации, способствующие дорожно-транспортным происшествиям. С учётом этого переходной-скоростная полоса (или полоса разгона) в зоне въезда на автомагистраль

содержит три участка, расположенных в следующей последовательности:

– первый участок, где автомобили движутся либо с постоянной скоростью, либо замедляя, либо ускоряя своё движение в зависимости от наличия на главной дороге приемлемых интервалов для возможного вливания автомобилей в поток главной дороги. Этот участок носит название участка поиска приемлемого интервала;

– второй участок (это разгонный участок), где автомобили увеличивают скорость до скорости основного потока после того, как найден соответствующий приемлемый интервал на основной полосе магистрали;

– третий участок – участок сопряжения переходной-скоростной полосы с основной, устраиваемый для смены полосы движения.

2. Определение длины участка поиска приемлемого интервала

Для обеспечения проезда автомобилей съезда без скопления очереди (то есть без задержки) и с постоянной расчётной скоростью V_c на переходной-скоростной полосе предусматривается наличие так называемого участка ожидания (участка поиска приемлемого интервала времени), по которому автомобили съезда движутся с постоянной скоростью V_c в ожидании приемлемого интервала или того, который подберёт ему ЭВМ для вливания в основной поток без снижения скорости этого потока.

Длина этого участка $l_{ож}$ равна произведению скорости автомобиля V_c на время поиска приемлемого интервала (или время задержки):

$$l_{ож} = t_{ож} V_c \quad (1)$$

Среднее время ожидания автомобилей, выезжающих на магистраль с примыкающего съезда равно [2, 3, 4]:

$$t_{ож} = \frac{\int_0^{\Delta t} t f(t) dt}{\int_0^{\Delta t} f(t) dt} \quad (2)$$

Полагая, в соответствии с положениями Е.М. Лобанова [1, 5] распределение интервалов между автомобилями потока по экспоненциальному закону:

$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$, окончательно с 50% обеспеченностью въезда время поиска приемлемого интервала:

$$t_{ож} = \frac{1}{\lambda} [e^{\lambda \Delta t} - \lambda \Delta t - 1] \quad (3)$$

Здесь $\lambda = \frac{M}{3600}$, где M – количество автомобилей, проходящих по основной полосе магистрали за один час.

В табл. 1 приведены средние значения времени поиска приемлемого интервала 3.5 с и 7.8 с при различной интенсивности движения на основной полосе.

Т а б л и ц а 1

Среднее время (с) поиска необходимого интервала

M авт./ч	1200	1000	900	800	600	400	300	200	100
$t_{ож} = 3.5$ с	3.1	2.4	2.1	1.8	1.2	0.8	0.6	0.4	0.2
$t_{ож} = 7.8$ с	29.6	20.0	16.3	13.2	8.2	4.6	3.2	2.0	1.0

Используя формулу (3), можно при заданном уровне снижения скорости транспортного потока рассчитать необходимую длину линии ожидания (линии поиска приемлемого интервала). На транспортных узлах I – II класса снижение скорости основного потока не рекомендуется. Это возможно созданием системы АСУД либо установкой на въезде на магистраль специальных знаков. При интенсивности движения на внешней полосе магистрали 900 авт/ч и скорости

автомобилей на съезде 15 м/с (54 км/ч) длина линии ожидания равна:

$$l_{ож} = 15 \text{ м/с} \cdot 16.3 \text{ с} = 244 \text{ м.}$$

Для транспортных узлов III–V классов допускается снижение скорости основного потока. Величина граничного интервала при этом составляет 3.5 с [5, 6, 7]. Длина линии ожидания при этом составит:

$$l_{ож} = 15 \text{ м/с} \cdot 2.1 \text{ с} = 32 \text{ м.}$$

От основной полосы она должна быть отделена двойной сплошной белой линией, запрещающей пересекать её как со стороны основной полосы магистрали, так и со стороны съезда.

3. Определение длины разгонного участка

При появлении необходимого интервала автомобиль съезда начинает разгоняться до скорости V_m на участке разгона, длина которого определяется по известной из школьного курса физике формуле:

$$l_p = \frac{(v_m)^2 - (v_c)^2}{2a}, \quad (4)$$

где a ускорение, принимаемое равным $0.8 - 1.2 \text{ м/с}^2$, или рассчитываемое по уравнению с использованием графиков динамических характеристик автомобиля:

$$a = \frac{g(D - \psi)}{\delta},$$

где δ – коэффициент влияния вращающихся масс автомобиля зависит от передаточного числа коробки передач. Для прямой передачи легковых автомобилей $\delta = 1.05 - 1.06$, для первой передачи $\delta = 1.6 - 1.8$, для остальных передач можно найти путём интерполяции. Для условий предыдущего примера при скорости основного потока 80 км/ч и $a = 1 \text{ м/с}^2$ $l_p = 134 \text{ м}$.

4. Определение длины участка сопряжения (линии слияния транспортных потоков)

Для расчёта длины участка сопряжения (линии слияния транспортных потоков) рассмотрим расчётную схему на рис. 1. Траектория движения автомобиля при смене полосы движения состоит из двух обратных кривых переменного радиуса ρ . Такой кривой может быть клотоида, описываемая уравнением $\rho S = C$ или $RL = \frac{V^3}{J}$. Так как угол отклонения мал (не превышает $4-5^\circ$), имеем: $\text{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha \approx \varphi = \frac{b}{2l}$. С другой стороны, $l = 2R\varphi$. Тогда длина первой половины участка сопряжения (длина одного вилька) равна: $l_m = V \sqrt[3]{\frac{b}{J}}$. Полная длина участка сопряжения (линии слияния) l_m составляет $2l$, поэтому

$$l_m = 2V \sqrt[3]{\frac{b}{J}}. \quad (5),$$

где b – ширина полосы движения (м), J – величина нарастания центробежного ускорения (третья производная пути по времени) равна $0,3 - 0,8 \text{ м/с}^3$. Меньшие значения J принимаются для дорог более высокого класса. Минимальная величина радиуса

кривой равна $R = \frac{V^2}{g(\mu + i_n)}$, где μ – коэффициент поперечной силы ($\mu = 0.11 - 0.15$),

i_n – поперечный уклон проезжей части на участке смены полосы движения ($i_n = 0.015 - 0.020$). С учётом этого получаем другой вид формулы для определения длины участка сопряжения при смене полосы движения:

$$l_m = 2V \sqrt{\frac{b}{g(\mu + i_n)}}. \quad (6)$$

Если предположить, что автомобиль при смене полосы движется по круговой кривой (рис. 2), и, допуская, что $\alpha \approx \beta$ и $l = R\alpha$ (длина одного вилька), получаем:

$$l = \frac{V^2}{g(\mu + i_n)} \frac{b}{2l} \text{ или } l = \frac{v}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{b}{g(\mu + i_n)}}$$

После преобразований получаем полную длину участка сопряжения:

$$l_m = \sqrt{2} V \sqrt{\frac{b}{g(\mu + i_n)}}. \quad (7).$$

Длина участка сопряжения, рассчитываемая из условия движения автомобиля при смене полосы по круговой кривой, в $\sqrt{2}$ раза меньше значений, получаемых при расчёте по уравнениям (5) и (6), предполагающих движение автомобиля по клотоиде – кривой переменного радиуса.

Уравнения (5), (6) или (7) полнее отражают условия движения автомобиля при смене полосы движения на участке сопряжения по сравнению с рекомендациями в [8, 9] и других источниках. Они могут быть использованы при расчёте длины отнесённого левого поворота, длины линии слияния кольцевых пересечений, длины элементов пассивного регулирования на автомобильных дорогах и городских улицах. В таблице (2) приведены значения длины участка сопряжения при смене полосы движения, рассчитанные по формулам (5) и (6) при $b = 3.5 \text{ м}$, $J = 0.6 \text{ с}^3$, $\mu = 0.11$.

Таблица 2

Длина участка сопряжения при смене полосы движения

Скорость движения автомобиля (км/ч)	30	40	50	60	70	80	100	120
Длина участка сопряжения (м)	30	40	50	60	70	80	100	120

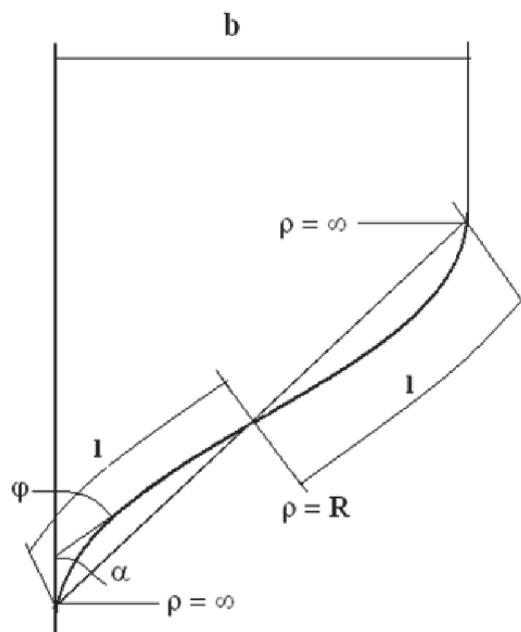


Рис. 1. Схема к расчёту длины участка сопряжения при смене полосы движения, описываемой уравнением клотоиды

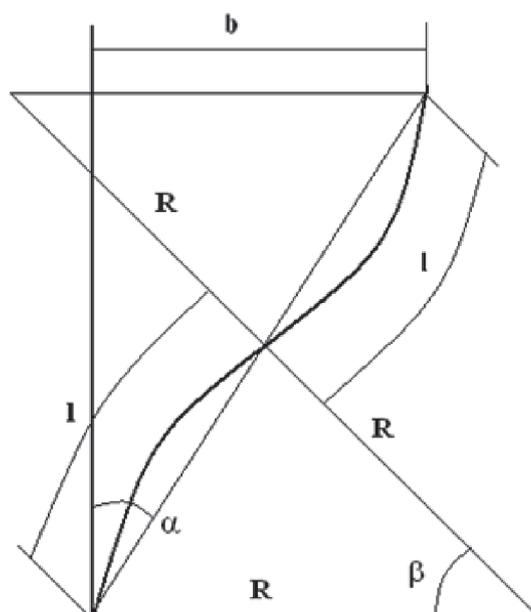


Рис. 2. Схема к расчёту длины участка сопряжения при смене полосы движения, описываемой круговой кривой

Для условий вышеприведённого примера полная длина переходно-скоростной полосы равна $(244 \text{ м} + 134 \text{ м} + 80 \text{ м}) = 458 \text{ м}$ – для транспортных узлов I–III класса и $(32 \text{ м} + 134 \text{ м} + 80 \text{ м}) = 246 \text{ м}$ – в остальных случаях. Эти значения близки к рекомендациям в [8]: 440.7 м и 246.9 м соответственно при адекватных условиях. Это позволяет рекомендовать предложенный метод для расчёта элементов переходно-скоростных полос с широким учётом условий движения автомобилей в зоне слияния транспортных потоков, а также во многих других случаях.

Рассмотрим расчётную схему на рис. 3. Траектория движения автомобиля при смене полосы движения состоит из двух обратных кривых переменного радиуса ρ . Такой кривой может быть квадратичная парабола, описываемая уравнением

$$y = \frac{x^2}{2R}. \quad (8)$$

Здесь R – максимальная величина радиуса закругления в точке сопряжения с обратной кривой.

Проводим преобразования: $x^2 = 2Ry$. Так как $y = b/2$, то $x^2 = 2Ry = 2R(b/2) = bR$ и

$$x = \sqrt{bR}. \quad (9)$$

Так как $R = \frac{v^2}{g(\mu + i_n)}$ и $l = x$, то получаем формулу, аналогичную формуле (6), полученную из уравнения клотоиды:

$$l = v \sqrt{\frac{b}{g(\mu + i_n)}}. \quad (10)$$

С другой стороны центробежная сила C , действующая на автомобиль и перпендикулярная направлению движения автомобиля, приложена к его центру тяжести и направлена во внешнюю сторону, уравновешивается центростремительной силой F , направленной во внутреннюю сторону:

$$C = \frac{Mv^2}{R}; F = Ma.$$

Отсюда: $V^2 = aR$ и $R = V^2/a$, откуда из уравнения (9)

$$x = \sqrt{bR}; x = \sqrt{b \frac{v^2}{a}}; x = v \sqrt{\frac{b}{a}}$$

или
$$l = v \sqrt{\frac{b}{a}}. \quad (11)$$

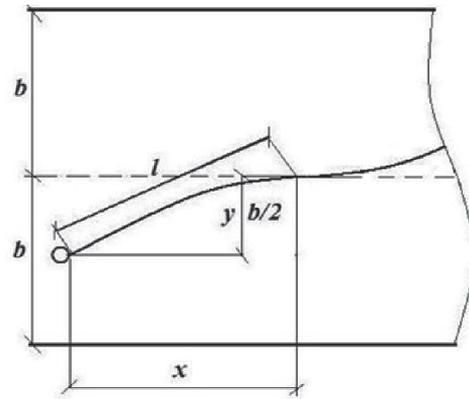


Рис. 3. Схема к расчёту длины участка сопряжения при смене полосы движения, описываемой уравнением квадратичной параболы

Так как $j = a/t$; $a = jt$; $t = l/v$; $a = j \frac{l}{v}$;
откуда $l = v \sqrt{\frac{bv}{jl}}$; $l^2 = v^2 \frac{bv}{jl}$; $jl^3 = v^3 b$;
 $l^3 = v^3 \frac{b}{j}$; или
$$l = v \sqrt[3]{\frac{b}{j}}. \quad (12)$$

Получили формулу, аналогичную формуле (5), полученную из уравнения клотоиды.

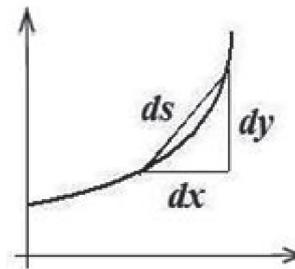


Рис. 4. Схема к расчёту длины дуги криволинейной линии

На рис. (4) представлен фрагмент криволинейной линии. При этом ввиду малости отрезков dx , dy и ds имеем:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2; \frac{ds^2}{dx^2} = 1 + \frac{dy^2}{dx^2};$$

$$ds^2 = [1 + (y')^2] dx^2 \text{ или } ds = \sqrt{1 + (y')^2} dx$$

отсюда $s = \int \sqrt{1 + (y')^2} dx$. (13)

Ссылку не даю, так как формула (13) определения длины кривой ds на участке dx представлена, если не во всех, то во многих учебниках по математике.

Из уравнения квадратичной параболы

$$y = \frac{x^2}{2R}; \quad \frac{dy}{dx} = \frac{x}{R}$$

Отсюда $l = \int \sqrt{1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2} dx$ или $l = \frac{1}{R} \int \sqrt{x^2 + R^2} dx$ – табличный интеграл вида $\int r dx$, где $r = (x^2 + R^2)^{1/2}$ (Г.Б. Двайт «Таблицы интегралов и другие математические формулы» с.51 № 230.01).

$$\int_0^x r dx = \frac{1}{2} x \sqrt{x^2 + R^2} + \frac{1}{2} R^2 \ln(x + \sqrt{x^2 + R^2}). \quad (14)$$

$$\int r dx = \frac{1}{2} \sqrt{bR} \sqrt{bR + R^2} + \frac{1}{2} R^2 \ln(\sqrt{bR} + \sqrt{bR + R^2});$$

После преобразований:

$$\int r dx = \frac{R}{2} \left[\sqrt{b(b+R)} + R \ln(\sqrt{bR} + \sqrt{R(b+R)}) \right];$$

Откуда:

$$l = \frac{1}{R} \int r dx = \frac{1}{R} \left\{ \frac{R}{2} \left[\sqrt{b(b+R)} + R \ln(\sqrt{bR} + \sqrt{R(b+R)}) \right] - \frac{R^2}{2} \ln R \right\};$$

После преобразований:

$$l = \frac{1}{2} \left[\sqrt{b(b+R)} + R \ln(\sqrt{bR} + \sqrt{R(b+R)}) - R \ln R \right]. \quad (16)$$

Положим $b = 3$ метра, $R = 100$ метров. Тогда:

$$l = \frac{1}{2} \left[\sqrt{3 \cdot 103} + 100 \ln(\sqrt{3 \cdot 100} + \sqrt{100 \cdot 103}) - 100 \ln 100 \right];$$

$$l = \frac{1}{2} \left[17,578 + 100 \ln(17,32 + 101,488) - 460,517 \right];$$

$$l = \frac{1}{2} \left[17,578 + 477,752 - 460,517 \right]; \quad l = 17,4 \text{ метра.}$$

Из (37) $x = \sqrt{bR}$. Отсюда:

$$l = \int \sqrt{1 + \frac{bR}{R^2}} dx \quad \text{или} \quad l = \int \sqrt{1 + \frac{b}{R}} dx \quad \text{или}$$

Определяем пределы интегрирования по x . Первый предел $x = 0$ (рис 4 3.5). Второй предел определяется так же из рис. 4. Так как

$$y = \frac{x^2}{2R},$$

то $x^2 = 2Ry$ или $x = \sqrt{2yR}$. Величина y равна $b/2$.

Следовательно,

$$x = \sqrt{bR}. \quad (15)$$

При $x = 0$ интеграл $\int r dx$ равен:

$$\int r dx = \frac{1}{2} R^2 \ln(0 + \sqrt{0 + R^2});$$

$$\int r dx = \frac{1}{2} R^2 \ln R;$$

При $x = \sqrt{bR}$ интеграл $\int r dx$ равен:

$$l = \sqrt{1 + \frac{b}{R}} \int dx \text{ или } l = \sqrt{1 + \frac{b}{R}} x. \text{ Так как } x = \sqrt{bR}, \text{ то}$$

$$l = \sqrt{1 + \frac{b}{R}} \sqrt{bR} \text{ или } l = \sqrt{bR + b^2} \text{ или } l = \sqrt{b(b + R)}$$

Обычно ширина полосы движения автомобилей b составляет 2,5 – 3,75 метра, что несравненно меньше радиуса закругления R , величина которого составляет десятки, а то и сотни метров. Поэтому:

$$l = \sqrt{bR}. \quad (17)$$

Получили более простую формулу, нежели более точная формула (16). Посмотрим, насколько они отличаются по величине. Имеем, как и прежде $b = 3$ метра, $R = 100$ метров. Тогда: $l = \sqrt{bR} = \sqrt{3 \cdot 100}$; $l = 17,3$ м. Разница по сравнению с более точной формулой (16) составляет всего 10 сантиметров. Этого и следовало ожидать, так как x – это проекция линии маневрирования (вилка) l на горизонтальную плоскость.

Подставляя в полученную формулу величину радиуса закругления, выраженную либо через параметр j , либо через ускорение a , либо через другие дорожные условия, получим решения, аналогичные двум предыдущим. Это свидетельствует о надёжности полученных формул длины линии маневрирования (линии слияния транспортных потоков).

Выводы

Уточнена методика и расчётные формулы для определения геометрических

размеров элементов пассивного регулирования, линий маневрирования и слияния транспортных потоков автомобильных дорог и городских улиц: участка поиска приемлемого интервала; разгонного участка; участка сопряжения переходно-скоростной полосы с основной полосой движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гохман В.А., Визгалов В.М., Поляков М.П. Пересечения и примыкания автомобильных дорог. – М.: Высшая школа, 1989. – 320 с.
2. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
3. Дубровин Е.Н., Ланцберг Ю.С. Изыскания и проектирование городских дорог. – М.: Транспорт, 1981. – 471 с.
4. Ерёмин В.М. Методы оценки вариантов проектных решений двухполосных автомобильных дорог по условию движения транспортных потоков: дисс.... канд. техн. наук. – М. – 1983. – 174 с.
5. Лобанов Е.М., Визгалов В.М. и др. Проектирование и изыскания пересечений автомобильных Дорог. М.: Транспорт, 1972. – 232 с.
6. Лобанов Е.М. Сильянов В.В. и др. Пропускная способность автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1970. – 152 с.
7. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 304 с.
8. Скирута В.С. Обоснование параметров переходно-скоростных полос // Труды Союздорнии. – 1979. – вып. III. – С. 107-117.
9. Шилакадзе Г.А. и др. Определение суточной интенсивности движения экспресс – способом // Автомобильные дороги. – 1988. – № 6. – С. 15.

УДК 625.814

РАСЧЁТ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ

Маркуц В.М.

Тюмень, e-mail: vmarkuc@yandex.ru

Разработан метод прогнозирования влажности грунтов на основе решения нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности. При этом коэффициент переноса влаги был заменён более надёжными, знакомыми и доступными параметрами. В настоящей работе даны решения изотермического увлажнения и послойный расчёт влажности грунтов активной зоны в зависимости от расчетной схемы: увлажнение только сверху, только снизу, двухстороннее увлажнение при глубоком и близком залегании грунтовых вод, для защищенного и незащищенного грунта, для условий двухстороннего увлажнения при меняющемся положении подземных вод. С использованием метода гидролого-климатических расчётов В.С. Мезенцева и принципа суперпозиции получены уравнения для прогнозирования средней влажности грунта в пределах активной зоны во внутригодовом цикле.

Ключевые слова: влажность, расчёт влажности, уравнение теплопроводности, активная зона

CALCULATION OF SOIL MOISTURE ACTIVE ZONE

Markuts V.M.

Tyumen, e-mail: vmarkuc@yandex.ru

Developed a method for prognostication soil moisture based on the solutions of the nonlinear differential equation conduction of heat. The coefficient of moisture transfer was replaced by a more reliable, familiar and available options. In this paper we give solutions isothermal humidification and stratified soil moisture calculation of the core, depending on the design scheme: moisturizing only from above, but from below, two-way hydration during deep and shallow ground water for protected and unprotected soil conditions for two-way humidification at the changing position groundwater. Using the method of calculation of hydrological and climatic V.S. Mesentsev and the superposition principle to derive equations to predict the average moisture content of the soil within the active zone during the yearly cycle.

Keywords: moisture, humidity calculation, equation conduction of heat, active zone

Активной зоной называют глубину, где практически затухают напряжения от внешних нагрузок. На этой глубине величина сжатия грунтового слоя чрезвычайно мала. Для оценки прочности и устойчивости земляного полотна, определения межремонтных сроков и параметров мерзлотного режима необходим прогноз влажности грунтов. Поскольку влажность сама по себе является феноменологической характеристикой, количественная её оценка традиционно основана на феноменологической теории тепло- и массообмена с использованием методов классической термодинамики путем введения коэффициентов переноса влаги.

Однако плохая воспроизводимость результатов определения коэффициентов переноса влаги, наличие субъективизма, присущее всем упрощённым методикам, обусловило разработку более надёжных способов расчёта и прогнозирования влажности грунтов активной зоны земляного полотна инженерных сооружений. Одним из таких методов явился метод, основанный на решении нелинейного дифференциального уравнения изотермического переноса влаги, в результате чего коэффициент переноса влаги был заменён более надёжными, знакомыми и доступными параметрами.

Общие положения

Сопряженное уравнение диффузии влаги с законом сохранения энергии (уравнение неразрывности) записывается в виде [2]:

$$\left(\frac{\partial W}{\partial \tau} \right)_x = \left(\frac{\partial q}{\partial x} \right)_x. \quad (1)$$

Поток влаги в грунт после инфильтрации осадков или в результате капиллярного поднятия определяется из соотношения:

$$q = K_n \frac{\partial \mu}{\partial x}, \quad (2)$$

где K_n – коэффициент влагопроводности $\frac{\partial \mu}{\partial x}$ – градиент потенциала влаги.

Из (1) и (2) определяем:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_n \frac{\partial \mu}{\partial x} \right].$$

Градиент потенциала, выраженный через градиент влажности:

$$\frac{\partial \mu}{\partial x} = \frac{\partial \mu}{\partial W} \left(\frac{\partial W}{\partial x} \right);$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_n \frac{\partial \mu}{\partial W} \left(\frac{\partial W}{\partial x} \right) \right] - \text{есть урав-}$$

нение миграции влаги под действием градиента влажности и градиента потенциала. Действием силы тяжести пренебрегаем, так как в ненасыщенных почво-грунтах супесчаных и суглинистых миграция влаги в изотермических условиях в большей степени зависит от потенциала влаги, чем от действия силы тяжести и площади инфильтрации.

Потенциал влаги и коэффициент влажпроводности определяется как функция влагосодержания:

$$\mu = GW^\xi \text{ и } K_n = BW^b.$$

$$\text{Отсюда: } \frac{\partial \mu}{\partial W} = G\xi W^{\xi-1} \text{ и}$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[BW^b G\xi W^{\xi-1} \left(\frac{\partial W}{\partial x} \right) \right].$$

Обозначим $BG\xi = A$, $b + \xi - 1 = \alpha$.

Согласно [2] параметр ξ обычно равен -1 или -2 , может иметь значение 1 или 2 , тогда α может иметь значение 0 , -1 или -2 . Как показали опыты, наиболее вероятное значение α – это -1 .

Тогда

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[AW^\alpha \frac{\partial W}{\partial x} \right], \quad (3)$$

$$u(x, \tau) = \left(\frac{C_1 C_2}{\lambda} + A \frac{C_2}{2} \tau \right) \text{Sech}^2 \left[\frac{C_3 - x}{2} \sqrt{C_2} \right], \quad (6)$$

где x и τ – пространственно-временные координаты, а постоянные интегрирования C_1 , C_2 , C_3 , A и λ определяются из начальных и граничных условий.

Некоторые частные решения задачи изотермического увлажнения

Хотя полученное решение и не является вполне строгим, с его помощью оказалось возможным решить ряд практических задач. В частности, удалось получить более общее решение задачи увлажнения снизу от уровня грунтовых вод. При решении задачи увлажнения сверху это уравнение явилось основой эффективного использования метода гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева [6]. Предварительные расчеты показали применимость его при ре-

где A и α константы, зависящие от вида грунта.

$$K_n \frac{\partial \mu}{\partial W} = AW^\alpha \text{ есть } D_k - \text{обобщенный}$$

коэффициент диффузии (коэффициент диффузности). Уравнение (3) не совсем верно отражает реальные процессы миграции влаги, когда возможно движение влаги против градиента влажности, но тем не менее с его помощью можно получить качественную картину влажностного режима и оценить ожидаемое значение величины влажности грунта земляного полотна.

Частное решение уравнения диффузивности

Если обобщенный коэффициент проводимости D_k представить в виде функции

$$D_k = Au^\alpha, \quad (4)$$

то уравнение (4) приводится к виду

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[Au^\alpha \frac{\partial u}{\partial x} \right], \quad (5)$$

легко решаемое классическим методом разделения переменных.

Здесь A и α параметры, характеризующие проводящие свойства среды (грунта). После дифференцирования уравнения (5) и последующих преобразований при $\alpha = -1$ получено решение уравнения классическими методами математической физики [5]:

шени и целого ряда других вопросов, например, температурного поля и вторичной консолидации слабых оснований, распределения по глубине напряжений, удельной поверхности почвогрунтов и содержания солей, моделирование движения транспортных потоков на автомобильных дорогах.

В настоящей работе даны решения изотермического увлажнения в зависимости от расчетной схемы: увлажнение только сверху, только снизу, двухстороннее увлажнение при глубоком и близком залегании грунтовых вод, для защищенного и незащищенного грунта. Влагонакопление происходит, главным образом, за счет диффузии влаги по порам [10].

Для закрытых грунтовых систем, у которых сверху, снизу или с боков имеются

паро- и влагонепроницаемые слои, характерна эпюра распределения влаги, когда постоянная интегрирования C_3 соответствует глубине максимальной конденсации водяных паров. В зависимости от климатических условий эта величина может быть от 20 до 60 см. Верхние слои незащищенного грунта увлажняются осадками, параметр $C_3 = 0$.

При увлажнении снизу влажность на горизонте грунтовых вод изменяется в соответствии с колебаниями его положения относительно поверхности земли и равна

$$\omega(x, \tau) = \frac{C_1}{\lambda} \frac{C_2}{2} + A \frac{C_2}{2} \tau \cdot \text{Sech}^2 \left[\frac{C_3 - x}{2} \sqrt{C_2} \right]. \quad (7)$$

Формула (7) может быть модифицирована в зависимости от начальных и граничных условий, соответствующих той или иной схеме увлажнения земляного полотна.

$$\omega(x, \tau) = \omega(x, 0) + \left\{ [\omega(0, \tau) - \omega(0, 0)] \frac{\tau}{\tau_{\text{вл}}} \right\} \text{Sech}^2 \left[\frac{C_3 - x}{h_k} \text{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_1} \right], \quad (8)$$

где

$$\varepsilon_1 = \frac{\omega_n - \omega(h_k, 0)}{\omega(0, \tau) - \omega(0, 0)}. \quad (9)$$

При $\varepsilon \leq 0$ $\text{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_1} = 5,3$.

Начальное распределение влажности по глубине может быть постоянным или задано в виде функции $\omega(x, 0)$. Объемная влажность $\omega(h_k, 0)$ на глубине равной h_k от поверхности зависит от условий увлажнения. Влажность на поверхности может прогнозироваться регрессионными уравнениями [4], либо другими методами, например [9].

Если принять, что начальная влажность по глубине h_k равна оптимальной, а влажность на поверхности может достигнуть полной влагоёмкости, тогда

$$\varepsilon_1 = \frac{\omega_{n(\text{опт})} - \omega_{\text{опт}}}{\omega_{ns(\text{опт})} - \omega_{\text{опт}}}$$

$\omega_{n(\text{опт})}$ – наименьшая влагоёмкость, соответствующая максимальному уплотнению при оптимальной влажности.

Длительность периода влагонакопления ($\tau_{\text{вл}}$) принимается равной с начала осеннего влагонакопления и до конца весеннего периода, то есть:

$$\tau_{\text{вл}} = \tau_{\text{ос}} + \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{вес}}. \quad (3)$$

В период промерзания и в зимний период влагонакопление происходит за счет увлажнения снизу от уровня грунтовых вод.

$$\omega(H - x, \tau) = \omega(H - x, 0) + \left\{ [\omega_{\text{пв}} - \omega(H, 0)] \frac{\tau}{\tau_{\text{вл}}} \right\} \text{Sech}^2 \left[\frac{H - x}{h_k} \text{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_2} \right],$$

где

$$\varepsilon_2 = \frac{\omega_n - \omega(H - h_k, 0)}{\omega_{\text{пв}} - \omega(H, 0)}. \quad (10)$$

При этом были приняты следующие допущения: влажность грунта на уровне ка-

пиллярной каймы (h_k) равна наименьшей влагоёмкости (ω_n), а на глубине (H) залега-

полной влагоёмкости ($\omega_{\text{пв}}$) при длительно стоящих грунтовых водах. В соответствии с положениями В.С. Мезенцева и А.А. Роде на уровне капиллярной каймы влажность грунта принимается равной наименьшей влагоёмкости ω_n [6, 8].

Расчёт влажности грунтов земляного полотна влагонакопления в условиях изотермического увлажнения в расчётный период

Из (6), заменяя $u(x, \tau)$ на $\omega(x, \tau)$, получаем для расчёта влажности:

С учетом этого в условиях одностороннего изотермического увлажнения сверху получено решение:

ния подземных вод равна полной влагоёмкости ($\omega_{пв}$) [6, 8].

$$\varepsilon_2 = \frac{\omega_n - \omega_{опт}}{\omega_{пв}(x=H) - \omega(x_n=H)}$$

В условиях двухстороннего увлажнения при меняющемся положении подземных вод для определения влажности грунта с учётом принципа суперпозиции получено решение:

$$\begin{aligned} \omega(x, \tau) = & \omega(x, 0) + \left\{ [\omega(0, \tau) - \omega(0, 0)] \frac{\tau}{\tau_{вл}} \right\} \operatorname{Sech}^2 \left[\frac{C_3 - x}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_1} \right] + \\ & + \omega(H - x, 0) + \left\{ [\omega_{пв} - \omega(H, 0)] \frac{\tau}{\tau_{вл}} \right\} \operatorname{Sech}^2 \left[\frac{H - x}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_2} \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

При этом x принимает значения от нуля до z , а $H - x$ от z до H . Величина z определяется подбором путём приравнивания обоих членов правой части уравнения (11) друг другу.

При длительно стоящих грунтовых водах

$$\frac{\tau}{\tau_{вл}} = 1 \text{ и}$$

$$\omega(H - x, \tau) = \omega(H - x, 0) + [\omega_{пв} - \omega(H, 0)] \operatorname{Sech}^2 \left[\frac{H - x}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_2} \right]. \quad (12)$$

Средняя влажность грунтового массива в пределах от уровня подземных вод до верха капиллярной каймы, иначе капиллярная

влагоёмкость, при начальной влажности равной ω_0 определится из выражения:

$$\omega_{кв} = \omega_0 + \frac{\omega_{пв} - \omega_0}{h_k} \int_0^{h_k} \operatorname{Sech}^2 \left[\frac{h_k - x}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_2} \right] dx.$$

После преобразований получаем:

$$\omega_{кв} = \omega_0 + (\omega_{пв} - \omega_0) \frac{\sqrt{1 - \varepsilon_2}}{\operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_2}}. \quad (13)$$

Учитывая, что $\varepsilon_2 = \frac{\omega_n - \omega_0}{\omega_{пв} - \omega_0}$, при $\frac{\omega_n}{\omega_{пв}} = \frac{2}{3}$ [1, 6, 8] $\omega_{кв} = 0,73\omega_{пв}$.

Если $\omega_0 = \omega_n$ и начальная влажность $\omega_0 \rightarrow 0$, то $\omega_{кв} = 0,87\omega_{пв}$. (см. сравнительную таблицу) получаем, что у В.С. Мезенцева $\omega_{кв} = 0,80\omega_{пв}$ [6] дано только частное решение.

Сравнительные значения средней влажности грунтового массива в пределах от уровня подземных вод до верха капиллярной каймы (величины капиллярной влагоёмкости $\omega_{кв}$)

Начальное условие	Капиллярная влагоёмкость
$\omega_0 = \omega_n$	$\omega_{кв} = 0,73\omega_{пв}$
$\omega_0 \rightarrow 0$	$\omega_{кв} = 0,87\omega_{пв}$
у В.С. Мезенцева	$\omega_{кв} = 0,80\omega_{пв}$

Таким образом, мы получили более общее решение для определения средней влажности грунтового массива в пределах от уровня подземных вод до верха капиллярной каймы (величины капиллярной вла-

гоёмкости $\omega_{кв}$).

Средняя влажность грунта в пределах активной зоны h_a (зона аэрации) определяется интегрированием уравнения (11):

$$\omega_{h_a} = \omega_0 + \frac{h_k}{h_a} \frac{\tau}{\tau_{вл}} \frac{[\omega(0, \tau) - \omega_0]}{\operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_1}} \operatorname{th} \left[\frac{z}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_1} \right] + \frac{h_k}{h_a} \frac{[\omega_{нс} - \omega_0]}{\operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_2}} \times \left\{ \operatorname{th} \left[\frac{H - z}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_2} \right] - \operatorname{th} \left[\frac{H - h_a}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_2} \right] \right\}. \quad (14)$$

Величина z определяется из выражения:

$$\frac{\tau}{\tau_{вл}} \frac{[\omega(0, \tau) - \omega_0]}{\omega_{пв} - \omega_0} = \frac{\operatorname{Sech}^2 \left[\frac{Hz - \operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_2}}{h_k} \right]}{\operatorname{Sech}^2 \left[\frac{z}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_1} \right]}. \quad (15)$$

Влажность грунта на поверхности $\omega(0, \tau)$ может прогнозироваться регрессионными уравнениями [4] или любыми другими методами, например по методу профессора В.С. Мезенцева [6] или Рувинского В.И. [9]. В первом приближении $\omega(0, \tau)$ может быть принята равной (0,7 – 0,9) $\omega_{пв}$. Длительность периода влагонакопления принимается равной с начала осеннего влагонакопления и до конца весеннего периода.

Расчёт и прогнозирование влажности грунтов земляного полотна во внутригодовом цикле

Во многих случаях при решении задач прочности и надёжности дорожных конструкций возникает необходимость прогнозирования влажности грунтов во внутригодовом цикле. При решении задачи увлажнения сверху применён принцип суперпозиции с использованием метода гидролого-климатических расчётов В.С. Мезенцева [6]. Из (14):

$$\omega(x, \tau) = \frac{C_1}{\lambda} \frac{C_2}{2} + A \frac{C_2}{2} \tau \operatorname{Sech}^2 \left[\frac{C_3 - x}{2} \sqrt{C_2} \right]$$

Обозначим $\omega(x, \tau)$ как $\omega(x, i)$ и $\omega(x, i-1)$ то есть как влажность в момент времени i и $i-1$. Тогда при $x = 0$

(г/см³) на поверхности в момент времени i , равна:

$$A \frac{C_2}{2} \tau = \omega(0, i) - \omega(0, i-1).$$

$$\omega(0, i) = \frac{\omega(0, i-1) + 0,001kX_i}{0,001E_i \left[\frac{\omega(0, i-1)}{\omega_n(x)} \right]^{r-1}}.$$

По В.С. Мезенцеву [6], влажность грунта, выраженная в объёмных единицах

Тогда

$$\omega(x, i) = \omega(x, i-1) + \frac{0,001 \left[kX_i - E_i \left[\frac{\omega(x, i-1)}{\omega_n(x)} \right]^r \right]}{1 + \frac{0,001E_i}{\omega_n(x)} \left[\frac{\omega(0, i-1)}{\omega_n(x)} \right]^{r-1}} \operatorname{Sech}^2 \left[\frac{C_3 - x}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_1} \right]. \quad (16)$$

Здесь kX_p , E_i – сумма осадков и испаряемость, выраженная в (мм) за время от $i-1$ до i ; $\omega_n(x)$ – наименьшая влагоёмкость на глубине x , выраженная в объёмных единицах (г/см^3); r – параметр, характеризующий гидрофизические свойства грунтов [6]. Численное значение этого параметра можно принять равным высоте капиллярного поднятия, выраженное в метрах.

$$\omega(x, 11-3) = \omega(x, 10) + \left[\omega_{n(x=H)} - \omega_{(x=H,10)} \right] \text{Sech}^2 \left[\frac{Hx - \text{artx} \sqrt{1 - \varepsilon_2}}{h_k} \right] \quad (17)$$

Параметры C_3 , ε_1 , ε_2 определяются из начальных и граничных условий в зависимости от расчётной схемы увлажнения.

Если принять, что в начальный момент времени грунт земляного полотна был уплотнён при оптимальной влажности до соответствующей плотности и в процессе увлажнения сверху влажность на поверхности достигнет полной влагоёмкости, а на уровне капиллярной каймы наименьшей влагоёмкости, тогда:

$$\varepsilon_1 = \frac{\omega_{n(\text{опт})} - \omega_{\text{опт}}}{\omega_{\text{пв}(\text{опт})} - \omega_{\text{опт}}}$$

То же при увлажнении снизу от уровня подземных вод:

$$\varepsilon_2 = \frac{\omega_n - \omega(H - h_k, 0)}{\omega_{\text{пв}} - \omega(H, 0)}$$

Здесь индекс ω означает объёмную влажность; $\omega_{\text{опт}}$ – оптимальная влажность, $\omega_{n(\text{опт})}$ – наименьшая влагоёмкость, соответствующая оптимальному уплотнению; $\omega_{\text{пв}(\text{опт})}$ – полная влагоёмкость, соответствующая оптимальному уплотнению; $\omega_{\text{пв}(H)}$ – полная влагоёмкость грунта на глубине H , соответствующая уровню подземных вод; $\omega_{n(H)}$ – наименьшая влагоёмкость, соответствующая уровню подземных вод. Учитывая, что наименьшая влагоёмкость составляет 0,6 – 0,8 от полной влагоёмкости [6, 8], были установлены следующие соотношения:

$$\omega_{\text{пв}} = \frac{\gamma - \delta}{\gamma},$$

где γ – плотность частиц грунта; δ – плотность скелета грунта.

Параметр C_3 зависит от степени паро- и влагонепроницаемости покрытий. Для паро- и влагонепроницаемости покрытий,

Влажность грунта на глубине x для теплового периода года в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана рассчитывается по формуле (16) ежемесячно, начиная с апреля ($i = 4$) по октябрь ($i = 10$) включительно.

В период промерзания и в зимний период с ноября по март включительно влагонакопление происходит за счет увлажнения снизу от уровня грунтовых вод:

изготовленных с применением органических вяжущих $C_3 = 40 - 60$ см. Для остальных покрытий $C_3 = 0 - 20$ см.

При послойном расчёте влажности грунтов используются формулы (16), (17). Исходной информацией является: климатические характеристики местности, параметры гидрофизических свойств грунтов и параметры элементов дорожных конструкций. Испаряемость для условий Западной Сибири и Северного Казахстана, как показали наши исследования, можно рассчитать по уравнениям В.С. Мезенцева [6]. Высоту капиллярного поднятия h_k и параметр r для лёгких грунтов (песок, супесь) можно принять равным 1 – 1,4, средних грунтов (суглинки лёгкие и средние) 1,4 – 2,0 и тяжёлых (суглинки тяжёлые, глины) 2 – 3 [6].

Начальное распределение влажности по глубине может быть принято равномерным или в виде функции от x . Соответственно этому рассчитывается наименьшая влагоёмкость, используя вышеприведённые зависимости. Расчёт начинают с определения зимней влажности по формуле (17). Затем по формуле (16) определяют влажность ежемесячно, начиная с 4-го, принимая $\omega(x, i-1)$ равным $\omega(x, i)$ при $i = 11 - 3$. Снова определяют зимнюю влажность, подставляя в формулу (17) $\omega(x, i-1)$, рассчитанную по уравнению формуле (16). Расчёты повторяют до тех пор пока следующее значение влажности не будет отличаться от предыдущего на заранее определённую величину, например на 0,1%. В зависимости от положения подземных вод число циклов расчёта может составлять от 6 до нескольких десятков. Поэтому при послойном расчёте влажности целесообразно использовать ЭВМ.

Алгоритмы, описанные вышеприведёнными уравнениями, реализованы на ЭВМ для различных типов грунтов при различном

уровне подземных вод для различных пунктов Западной Сибири и Северного Казахстана с 1965 г. Аналогичным образом получены

уравнения для прогнозирования средней влажности грунта в пределах активной зоны h_a (зоны аэрации) во внутригодовом цикле:

$$\begin{aligned} \omega_{h_a}^{i=10} (i) = \omega_{i-1} + \frac{h_k}{h_a} \frac{th \left[\frac{z}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1-\varepsilon_1} \right] + th \left[\frac{h_a - z}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1-\varepsilon_1} \right]}{\operatorname{artx} \sqrt{1-\varepsilon_1}} \times \\ \times \frac{0,001 \left[kX_i - E_i \left[\frac{\omega_{i-1}}{\omega_n} \right]^r \right]}{1 + \frac{0,001 E_i \left[\frac{\omega_{i-1}}{\omega_n} \right]^{r-1}}{\omega_n}}. \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \omega_{h_a}^{i=3} (i) = \omega_{i-1} + \frac{h_k}{h_a} \frac{th \left[\frac{H}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1-\varepsilon_2} \right] - th \left[\frac{H - h_a}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1-\varepsilon_2} \right]}{\operatorname{artx} \sqrt{1-\varepsilon_2}} \times \\ \times \left[\omega_{\text{нв}(H)} - \omega(H, i-1) \right]. \end{aligned} \quad (19)$$

Здесь $i - 1$ принимается 10-й месяц года.

$$\begin{aligned} \omega(i, i) = \omega(i, i-1) + \frac{0,001 \left[kX_i - E_i \left[\frac{\omega(i, i-1)}{\omega_n(H)} \right]^r \right]}{1 + \frac{0,001 E_i \left[\frac{\omega(i, i-1)}{\omega_n(H)} \right]^{r-1}}{\omega_n(H)}} \times \\ \times \operatorname{Sech}^2 \left[\frac{z - H}{h_k} \operatorname{artx} \sqrt{1-\varepsilon_1} \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

В первом приближении параметр z можно принимать равным C_3 то есть 40 – 60 см. При расчёте влажности во внутригодовом цикле вначале по формуле (20) определяют влажность на глубине H (то есть на уровне подземных вод) в 10-м месяце (в начале периода промерзания), задаваясь $\omega(H, i-1) = \omega_{\text{нв}(H)}$. Осадки и испаряемость при этом определяют для октября месяца ($i = 10$). Затем по формуле (19) определяют влажность в конце зимнего периода влагонакопления, принимая среднюю влажность в зоне h_a в 10-м месяце $\omega_{i-1} = \omega_n$. После последовательно с апреля по октябрь определяют среднюю влажность по формуле (18) до тех пор пока не будет достигнута необходимая степень сходимости.

Проведённые расчёты показали, что независимо от начальных условий (начальную влажность можно даже принимать равной нулю) через определённое количество циклов будет достигнуто квазистационарное состояние. Это позволяет рекомендовать предложенный метод для прогнозирования влажности в многолетнем цикле. Основными преимуществами этого метода являются:

- отпадает необходимость определять столь непредсказуемый и капризный коэффициент влагопроводности (диффузивности) грунтов;
- возможность применения в любой дорожно-климатической зоне, для любого типа увлажнения местности;
- простота и удобство расчётов.

Основные выводы

1. Разработан метод прогнозирования влажности грунтов на основе решения нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности. Так как в одном из частных решений использована методика В.С. Мезенцева, разработанная для грунтов открытого поля, то результаты расчётов требуют уточнения с целью учёта испарения и впитывания влаги.

2. Проведено районирование территории Западной Сибири по параметрам влажностного режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд; [под ред. профессоров И.А. Золотаря, Н.А. Пузатова, В.М. Сиденко]. – М.: Транспорт, 1971. – 415 С.
2. Глобус А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 355 С.
3. Маркуц В.М., Болштянский М.П. // Периоды влагонакопления и расчетный период работы новых конструкций земляного полотна нефтепромысловых дорог Западной Сибири. – РНТС ВВИИОЭНГ, сер. «Нефтепромысловое строительство». – 1980, № 5. С. 14-16.
4. Маркуц В.М. Расчет влажности грунтов земляного полотна автомобильных дорог Западной Сибири // Земляное полотно автомобильных дорог: тезисы докладов и сообщений УШ Всесоюзного совещания дорожников. Москва, 1981. – С. 10–11.
5. Маркуц В.М. Об одном решении уравнения теплопроводности // Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог в нефтегазоносных районах Западной Сибири. – Тюмень, 1982. – С. 117-121.
6. Мезенцев В.С., Карнацевич Н.В. Увлажнённость Западно-Сибирской равнины. Л. : Гидрометеиздат, 1969. – 167 с.
7. Мезенцев В.С., Карнацевич Н.В. и др. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиорации степного края. – М.: Колос, 1974. – 239 с.
8. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 287 с.
9. Рувинский В.Н. Оптимальные конструкции земляного полотна. – М.: Транспорт, 1982. – 168 с.
10. Embankments stabilize pooh ground fox motorway construction. Int. Constx. 1974. 13. № 5. P. 66 – 68.

КИНЕТИКА РАЗЛОЖЕНИЯ НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ ФОСФОРИТОВ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ И ПОЛУЧЕНИЕ ДВОЙНОГО СУПЕРФОСФАТА ЦИКЛИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

¹Молдабеков Ш.М., ¹Жантасов К.Т., ¹Жанмолдаева Ж.К., ¹Алтыбаев Ж.М.,
²Балабеков О.С., ²Кобланова О.

¹Южно-Казахстанского государственного университета им. М. Ауэзова, Шымкент,
e-mail: k_zhantasov@mail.ru;

²Южно-Казахстанский государственный педагогический институт, Шымкент

Приведены результаты исследования по кинетике фосфорнокислотного разложения низкокачественных фосфоритов Чилисайского месторождения с получением двойного суперфосфата циклическим методом. Проведены исследования по фосфорно-кислотному разложению при температуре 298, 353 и 373 К в течение 60-5400 сек при норме избытка расхода кислоты 500-600% от стехиометрии и кристаллизации монокальций фосфата путем сульфатизации 93-93% серной кислотой. Повышение температуры процесса увеличивает степень разложения до 0,9958 при 368 К. Приведены кривые изменения скорости реакции от времени и температуры. Процесс сульфатизации протекает при термостатированных условиях не более 233 К. После 4 цикла устанавливается стабилизация состава оборотной кислоты, что объясняется выведением из состава оборотной фосфорной кислоты соединения железа и алюминия в составе нерастворимого остатка и гипса.

Ключевые слова: фосфорнокислотное разложение, Чилисайский фосфорит, корость реакции, избыток кислоты, сульфатизация, фильтрат, диамонийфосфат

KINETICS OF DECOMPOSITION OF LOW-QUALITY PHOSPHORITES BY PHOSPHORIC ACID AND PRODUCTION OF DOUBLE SUPERPHOSPHATE BY CYCLIC METHOD

¹Moldabekov S.M., ¹Zhantasov K.T., ¹Zhanmoldayeva Z.K., ¹Altybayev Z.M.,
²Balabekov O.S., ²Koblanova O.N.

¹The South Kazakhstan state university of M. Auezov, Shymkent, e-mail: k_zhantasov@mail.ru;

²South-Kazakhstan State pedagogic institute, Shymkent

The results of research on kinetics of phosphorous-acid decomposition of low-quality phosphorites of the Chilisay field with production of double superphosphate by a cyclic method are given. The Researches on phosphorous-acid decomposition are conducted at a temperature of 298, 353 and 373 K during 60-5400 sec. at standard of surplus of a consumption of acid of 500-600% from a stoichiometry and crystallization of phosphate monocalcium by a sulfatization of 93-93% by sulfuric acid are carried out. Temperature increase of process increases degree of decomposition to 0,9958 at 368 K. Curve changes of speed of reaction from time and temperature. Process of a sulfatization proceeds under temperature-controlled conditions no more than 233 K. After 4 cycles the stabilization of composition of reverse acid that is explained by removal from composition of reverse phosphoric acid of compound of iron and aluminum as a part of the insoluble rest and plaster are established.

Keywords: phosphorous-acid decomposition, Chilisay phosphorite, reaction scabs, excess of acid, sulfatization, filtrate, diammonium phosphate

Совершенствование существующих методов производства минеральных удобрений имеет большое народнохозяйственное значение. Поиски условий и средств интенсификации переработки природных фосфатов, более полного использования фосфатного сырья, снижения себестоимости удобрений требуют дальнейшего изучения физико-химических свойств фосфорно-кислотных систем, скорости и механизма взаимодействия природных фосфатов с кислотами.

Исследования скорости и механизма разложения природных фосфатов в незагустевающих пульпах [1-3] позволили предложить ряд новых, так называемых циклических способов производства минеральных удобрений, в которых предусматривается разложение фосфатного сырья большим из-

бытком фосфорной кислоты. Важное преимущество этих методов заключается в возможности применения их для переработки низкокачественного и некондиционного фосфатного сырья на высококонцентрированные фосфорные удобрения.

Одним из таких видов сырья являются чилисайские фосфориты, играющие сметную роль среди отечественных низкосортных фосфатных руд.

Для создания новых технологий переработки чилисайских фосфоритов на высококонцентрированные фосфорные удобрения необходимы данные о кинетике их разложения большим избытком фосфорной кислоты, которые в литературе отсутствуют.

Цель работы. Выяснение кинетических закономерностей разложения чилисайских фосфоритов фосфорной кислотой, взятой

в большом избытке по сравнению со стехиометрией протекающих реакций с интервалом 75–95 °С.

Экспериментальная часть. В экспериментах в качестве исходного сырья использовали образец чилисайской муки следующего состава, %: P_2O_5 17,72; SiO_2 (нерастворимый остаток) 37,5; CaO 30,3; MgO <0,3; CO_2 3,56; Fe_2O_3 1,26; Al_2O_3 1,29; F_2 3,38. Причем 68,9% от общего содержания P_2O_5 находится в усвояемой форме. Для разложения использовали фосфорную кислоту концентрации 40,6% P_2O_5 , взятую с нормой 500% от стехиометрически необходимого количества на образование монокальций фосфата.

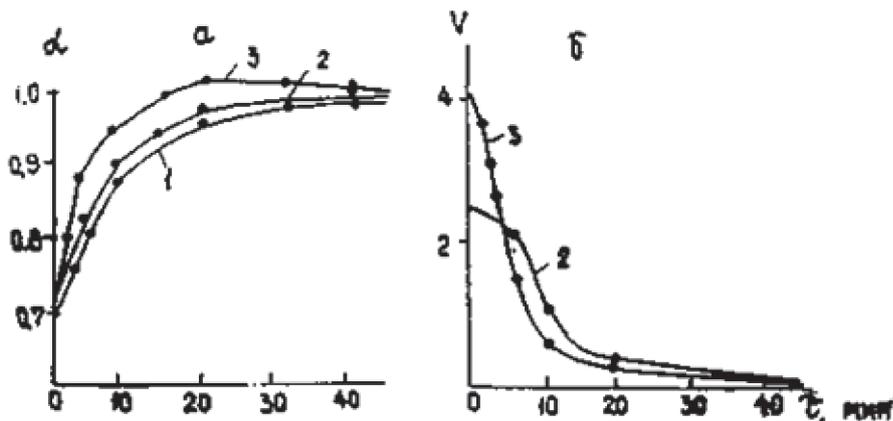
Опыты проводили на лабораторной установке, состоящей из стеклянного реактора емкостью 300мл с отверстиями на крышке для загрузки материалов и замера температуры раствора по мере протекания процесса, с центральной горловиной, в которой установлен обратный холодильник с мешалкой.

Термостатированный реактор заполняли определенным количеством фосфорной кислоты и включали мешалку. По достижении заданной температуры в него загружали рассчитанное количество фосфорита. Разложение проводили при 348, 353, 368 °К в течение 1-45 мин. По истечении определенного промежутка времени реакцию останавливали путем добавления в пульпу слабого раствора $NaOH$ для охлаждения и нейтрализации избыточного количества фосфорной кислоты. Затем пульпу фильтровали, осадок промывали, сушили и определяли в нем остаточное содержание P_2O_5 по известным методам.

Коэффициент разложения определяли по формуле

$$\alpha = 1 - \frac{m_0 / m_{\phi} (C_{об}^0 - C_y^0)}{C_{об}^{\phi}}$$

где m_0 – масса осадка, г; m_{ϕ} – исходная масса фосфорита, г; $C_{об}^0$ – содержание P_2O_5 , %: общего в осадке $C_{об}^0$; усвояемого в осадке C_y^0 ; общего в исходном сырье $C_{об}^{\phi}$



Зависимость степени (а) и скорости (б) разложения чилисайского фосфорита от времени при различных температурах, норма H_3PO_4 – 500% $T^{\circ}C$ – 1 – 75 2 – 80-3-95

Результаты опытов по определению скорости разложения чилисайских фосфоритов представлены на рисунке и в таблице.

Из данных рисунка, а видно, что с повышением температуры процесса степень разложения увеличивается и при 368 К достигается практически полное разложение фосфорита ($\alpha=0,9958$), при 353 и 348 К коэффициент разложения за это же время составляет соответственно 0,9729 и 0,9633.

Увеличение продолжительности процесса также повышает степень разложения фосфорита, в особенности впервые

10–15 мин, дальнейшее же увеличение времени процесса не приводит к существенному повышению степени разложения.

Экспериментальные данные, приведенные на рисунке, а, позволили определить порядок реакции, рассчитать константу скорости и кажущуюся энергию активации реакции разложения чилисайских фосфоритов большим избытком фосфорной кислоты.

Скорость реакции (V) определяли как тангенс угла наклона прямых к оси абсцисс. Для определения порядка реакции приме-

нили общепринятый метод [5] аналитического решения уравнения (2). Порядок реакции при 353 К равен 1,2; при 368 К – 1,1.

Кривые изменения скорости реакции от времени при 80 и 95 °С приведены на рисунке, б. Скорость реакции уменьшается с течением времени. Лимитирующей стадией разложения является, по-видимому, диффузия

фосфорной кислоты через слой продуктов реакции. В начале обработки, когда поверхность фосфорита свободна, скорость реакции максимальна, затем по мере нарастания толщины слоя продуктов реакции диффузия жидкого реагента через этот слой затрудняется, скорость процесса падает и постепенно приближается к постоянному значению.

Кинетика разложения чилисайского фосфорита фосфорной кислотой концентрации 40,6% P₂O₅ и норме 500%

t, мин	Степень разложения, с	V	IgV	1-a	Ig(1-a)	K, мин ⁻¹
80 °С (353 К)						
5	0,7957	2,25	0,352	0,2043	-0,689	15,13
7	0,8350	2,057	0,313	0,165	-0,783	17,87
10	0,8927	1,15	0,061	0,1073	-0,969	16,75
12	0,9153	0,78	-0,109	0,085	-1,072	15,05
15	0,9320	0,59	-0,229	0,068	-1,168	14,86
20	0,9544	0,35	-0,456	0,046	-1,341	14,23
Среднее 15,65 95 °С (368 К)						
5	0,8734	2,13	0,327	0,127	-0,898	20,65
7	0,9021	1,59	0,201	0,098	-1,009	20,49
10	0,9467	0,74	-0,128	0,053	-1,273	18,75
12	0,9560	0,598	-0,223	0,044	-1,356	18,57
15	0,9709	0,436	-0,36	0,029	-1,536	21,36
20	0,9834	0,225	-0,648	0,017	-1,781	20,41
Среднее 20,04						

Результаты расчета кинетических параметров процесса представлены в таблице. Среднее значение констант скорости для 80 и 95 °С составило соответственно 15,65 и 20,04 мин⁻¹. Кажущуюся энергию активации определили из зависимости изменения константы скорости от температуры. Она составляет 18,24 кДж/моль, что также подтверждает диффузионный характер процесса.

Таким образом, была изучена кинетика разложения чилисайских фосфоритов большим избытком фосфорной кислоты при 348-368 К. Определены кинетические параметры разложения: порядок реакции, константы скорости реакции, кажущаяся энергия активации. Показано, что разложение чилисайского фосфорита происходит довольно быстро (за 25-30 мин). Это можно объяснить тем, что фосфатная составляющая этих фосфоритов представлена в виде не столь прочного как кальцийфторapatит минерала – курскита.

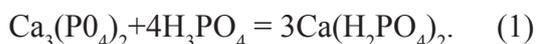
Чилисайское месторождение является второй по значению фосфатной сырьевой базой Казахстана после фосфоритов бассейна Каратау [6]. До недавнего времени единственный путь использования этого сырья – производство малоэффективной фосфоритной муки, содержащей 7-8% P₂O₅ и значительное количество (до 50%) примесей, в основном SiO₂. В настоящее время из-за нерешенности вопросов эффективного обогащения руды выпуск чилисайской фосмуки прекращен. В связи же с необходимостью обеспечения западных регионов Казахстана фосфорными удобрениями вопрос изыскания новых рациональных способов переработки фосфоритов Чилисай приобретает особую актуальность, например, циркуляционный способ переработки низкокачественного и некондиционного фосфатного сырья на двойной суперфосфат (ДС).

Сущность метода заключается в разложении фосфорита при 348-373 К большим

избытком оборотной концентрированной фосфорной кислоты, отделении нерастворимых примесей при температуре не ниже 348° К, охлаждении раствора и кристаллизации монокальцийфосфата (МКФ), отделении кристаллов МКФ, которые после нейтрализации, грануляции и сушки выдают в качестве готового продукта. Из маточного раствора, содержащего фосфорную кислоту и МКФ, путем взаимодействия с серной кислотой получают гипс и фосфорную кислоту, последнюю возвращают на растворение фосфатного сырья. Наиболее важные преимущества этого метода – практически полное разложение сырья (99-100%) и возможность получения высококонцентрированного фосфорного удобрения из некондиционного фосфатного сырья без его предварительного обогащения.

В лабораторных условиях проведены исследования по обработке оптимальных параметров циклического метода получения ДС из чилисайских фосфоритов. Использовали образец мытой чилисайской фосфоритной муки следующего состава, мас. % : P_2O_5 – 17,72; CaO – 30,3; MgO – 0,3; Fe_2O_3 – 1,29; Al_2O_3 – 1,23; CO_2 – 3,56; нерастворимый остаток – 37,5.

Для осуществления процесса разложения чилисайского фосфорита необходимо было подобрать такие условия, при которых образовался бы близкий к насыщению или насыщенный раствор МКФ в фосфорной кислоте, а при его охлаждении состав системы не попадал бы в поле кристаллизации дикальцийфосфата. Расчеты проводили по диаграмме растворимости системы CaO – P_2O_5 – H_2O [7]. Искомая концентрация фосфорной кислоты для разложения в интервале 348 – 373° К составила 39- 11% P_2O_5 , минимальная норма кислоты – 420% от стехиометрически обходимого для образования МКФ по реакции



Влияние примесей не учитывали ввиду большого избытка фосфорной кислоты. Для определения условий, позволяющих полностью регенерировать фосфорную кислоту и вернуть ее на разложение, таким образом, замкнув цикл, необходимо было изучить влияние нормы фосфорной кислоты на выход МКФ при одном и том же времени разложения, температуре и времени кристаллизации МКФ. Ранее нами была изучена кинетика разложения чилисайских

фосфоритов большими избытками (норма 450 – 550%) фосфорной кислоты концентрации 40% P_2O_5 при 348-368 К [8].

Опыты проводили следующим образом: навеску фосфорита обрабатывали разными количествами фосфорной кислоты, причем перед опытами фосфорит декарбонизировали частью фосфорной кислоты, необходимой для разложения [9]. Разложение фосфорита проводили при 363 – 368 К в течение 40 мин. Затем на обогреваемом вакуум-фильтре отделяли нерастворимый остаток, охлаждали фильтрат до 35-40° С и отмечали время начала кристаллизации МКФ. Через определенное время отделяли на вакуум-фильтре кристаллы МКФ, взвешивали, анализировали на содержание P_2O_5 по известной методике [4]. В ходе экспериментов установлено, что при соблюдении указанных условий процесса кристаллизация МКФ начинается через 15 – 20 мин после охлаждения раствора до 40° С и практически заканчивается через 60 – 90 мин в зависимости от количества кислоты.

Результаты опытов показали, что в интервале 440 – 500% фосфорной кислоты выпадает значительное количество МКФ, превышающее необходимое для вывода из цикла по разработанной технологии. В пределах 520 -570% фосфорной кислоты можно выделить количество МКФ, соответствующее или близкое по P_2O_5 количеству вводимого сырья. Эксперименты показали, что при 520-560% H_3PO_4 увеличение продолжительности кристаллизации МКФ более 90 мин повышает количество выпадающих кристаллов. При норме фосфорной кислоты 570% за 90 мин кристаллизация МКФ практически заканчивается, 580-600% – скорость кристаллизации и выход МКФ резко снижаются, что связано с уменьшением пересыщения раствора по монокальцийфосфату.

Таким образом, при разложении чилисайских фосфоритов для получения ДС циклическим методом оптимальными условиями следует считать 570% H_3PO_4 от стехиометрически необходимого по реакции (1), температуру – 363 – 368° К, τ – 40 мин, время кристаллизации МКФ при 313° К – 90 мин. При соблюдении этого режима количество P_2O_5 , выводимое с осадком МКФ, приблизительно равно P_2O_5 , вводимому с фосфоритам.

Завершающей стадией циклического способа получения ДС является сульфати-

зация маточного раствора после отделения кристаллов МКФ серной кислотой с получением гипса и фосфорной кислоты, возвращаемой после отделения сульфата кальция на стадию разложения фосфорита. Количественные данные о скорости кристаллизации сульфата кальция из концентрированных растворов МКФ в фосфорной кислоте после

обработки серной кислотой в литературе практически отсутствуют. В целях уменьшения количества вводимой в оборотную фосфорную кислоту воды сульфатизацию раствора проводили серной кислотой концентрации 92 – 93 %. Количество ее необходимое для разложения МКФ, содержащегося в растворе, рассчитывали по реакции:



Предварительными опытами выявлено, что при применении концентрированной серной кислоты температура процесса резко повышается до 353 – 368 К за счет тепла реакции, что приводит к образованию мелких труднофильтруемых кристаллов. Учитывая это обстоятельство, процесс сульфатизации раствора МКФ вели в термостатированных условиях при температуре, не превышающей 323 – 333 К. Через определенные промежутки времени после введения серной кислоты пипеткой, снабженной фильтром, отбирали пробы раствора и анализировали их на со-

держание SO_4^{2-} по известной методике [4]. По остаточному содержанию ионов сульфата кальция в жидкой фазе судили о скорости протекания реакции взаимодействия МКФ с серной кислотой. Процесс считали законченным, когда количество SO_4^{2-} в жидкой фазе становилось постоянным. Результаты опытов по определению скорости сульфатизации раствора МКФ в фосфорной кислоте, представленные ниже, показывают, что реакция разложения МКФ протекает очень быстро и практически заканчивается за 15–20 мин ($T = 323 - 333 \text{ K}$, $\text{CH}_2\text{SO}_4 - 92,8\%$):

τ, мин	5	10	12	15	18	20
Содержание SO_4^{2-} в жидкой фазе, %	5,75	3,15	0,70	0,36	0,35	0,35

В целях отработки технологического режима в лабораторных условиях было проведено 7 циклов получения ДС из чилисайского мытого концентрата вышеуказанного состава. Навеску фосфорита декарбонизировали фосфорной кислотой, затем разлагали при 90-95 °С в течение 40 мин. В первом цикле для разложения использовали термическую фосфорную кислоту концентрации 40,6 % P_2O_5 . Затем пульпу расфилтровывали при 353-368 °С. Осадок промывали водой, сушили, взвешивали и анализировали на P_2O_5 . Фильтрат после отделения нерастворимого остатка охлаждали до 40 °С и выдерживали при медленном перемешивании 90 мин. Образовавшиеся кристаллы МКФ отфильтровывали, осадок взвешивали и анализировали на P_2O_5 , H_3PO_4 и $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Затем нейтрализовали известняком концентрации 96 % CaCO_3 , сушили при 373-378 К и анализировали на содержание всех форм P_2O_5 , а также F, MgO, Al_2O_3 , Fe_2O_3 по известным методикам [4]. Фильтрат взвешивали, анализировали на содержание $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и H_3PO_4 , затем обрабатывали H_2SO_4 концентрации 92-93 % при температуре, не превышающей 60 °С, к течение 20 мин. Осадок отфильтро-

вывали, промывали горячей (343-353 К) водой, сушили, анализировали на P_2O_5 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , F. Фильтрат, полученный после отделения сульфата кальция (оборотная фосфорная кислота), взвешивали, анализировали на содержание $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, MgO, Fe_2O_3 , Al_2O_3 , F и возвращали на стадию разложения фосфорита.

Результаты исследования. Результаты опытов показали, что после 4 цикла устанавливается режим, позволяющий полностью регенерировать фосфорную кислоту (при смешении оборотной фосфорной кислоты с промывными водами, полученными после трехкратной промывки нерастворимого остатка и сульфата кальция) и возвращать ее на стадию разложения. ДС после нейтрализации и сушки содержит, мас. %: P_2O_5 _{общ} – 50,4–51,0; P_2O_5 _{общ} 48,7–49,1; P_2O_5 _{водн} 46,5 – 47,0; P_2O_5 _{св} 0,65–0,72. Нерастворимый остаток и гипс содержат 0,3–0,5 % P_2O_5 _{водн}. Результаты анализов оборотной фосфорной кислоты, представленные в таблице, показывают, что в ней не происходит значительного повышения содержания Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, F с увеличением количества циклов. Эти пределы не оказывают заметного влияния на техно-

логический режим. Стабилизация состава и вязкости оборотной кислоты после 4 цикла объясняется тем, что соединения железа

и алюминия, приходящие с фосфоритом, выводятся из цикла с нерастворимым остатком, монокальцийфосфатом и гипсом.

Состав оборотной фосфорной кислоты, %

№ цикла	H_3PO_4	$Ca(H_2PO_4)_2$	P_2O_5 общ	H_2SO_4	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	F	Вязкость H_3PO_4 сПз
1	65,30	0,31	47,94	Отс.	Отс.	0,34	Отс.	0,9	2,77
2	68,25	0,09	49,43	Отс.	Следы	0,41	Отс.	0,12	2,85
3	61,25	Отс.	44,40	0,14	0,04	0,38	Следы	0,13	2,98
4	62,71	Отс.	45,44	0,13	0,03	0,30	Следы	0,15	3,10
5	61,42	0,13	44,55	Отс.	0,06	0,31	Следы	0,21	3,30
6	60,78	Отс.	44,10	0,09	0,07	0,35	Следы	0,23	3,31
7	63,20	Отс.	45,80	0,17	0,06	0,37	Следы	0,19	3,30

Проведенные исследования показали возможность использования разработанного циклического способа для получения двойного суперфосфата из чилисайских фосфоритов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позин М.Е., Копылев Б.А., Ван-Ли-Шэн и др. Способ получения двойного суперфосфата: А. с. 343969, кл. С 05 В 1/04. Опубл. 14.08. 72. Б. И. 1972. № 21.

2. Спиридонова И.А., Овчинников И.В., Яхонтова Е.Л. и др. // Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева. 1987. Вып. 145. С. ПО.

3. Классен П.В., Самигуллина Л.И., Харитонов А.Б. Обогащение и переработка фосфоритов Чилисайского месторождения // Обзорная информация. Серия «Серная кислота и минеральные удобрения». М., 1988. 33 с.

4. Кальман ф. Н., Бруцкус Е.Б., Ошеревич Р.Х. Методы анализа при контроле производства серной кислоты и фосфорных удобрений. – М., 1963. 352 с.

5. Рябин В.А., Остроумов М.А., Свит Т.В. Термодинамические свойства веществ. – Л., 1977.

6. Фосфатные руды Казахстана. – Алма-Ата, 1990.

7. Соколовский А.А., Яхонтова Е.Л. Применение равновесных диаграмм растворимости в технологии минеральных солей. – М., 1982.

8. Ахматова С.О., Шапиро Л.Д., Молдабеков Ш.М. Кинетика разложения Чилисайских фосфоритов фосфорной кислотой // Компл. исполз. минер. сырья. 1992, № 11. С. 29 – 32.

9. Шапиро Л.Д., Молдабеков Ш.М., Ахметова С.О., Беляева Н. С, Сандыбаев С.С. Изучение процесса декарбонизации Чилисанского фосфорита фосфорной кислотой // Компл. исполз. минер. сырья. 1992. № 9. С. 54 – 57.

УДК 677.054.87-52

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ТКАЦКОГО ПРОИЗВОДСТВА В СРЕДЕ MATHCAD**Назарова М.В., Бойко С.Ю., Завьялов А.А.***Камышинский технологический институт, филиал**ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»,**Камышин, e-mail: ttp@kti.ru*

При разработке технологического режима вновь проектируемой ткани необходимо обеспечить высокие технико-экономические показатели работы ткацкой фабрики при внедрении нового ассортимента, для чего необходимо произвести расчет производственной программы. В данной работе осуществлена разработка алгоритма автоматизированного расчета производственной программы в среде MathCad, позволяющего значительно снизить трудоемкость вычислений, обеспечить высокое качество оформления проектной документации. Программа расчета производственного задания по выпуску продукции ткацкого производства удобна для исполнения и позволяет не только манипулировать исходными данными, но и оценивать промежуточные процедуры расчета и производить по его ходу необходимые манипуляции, что будет способствовать эффективному внедрению программы в производство, причем без участия специалистов информационных технологий.

Ключевые слова: ткацкое производство, автоматизированный расчет, производственная программа

AUTOMATED CALCULATION OF THE PRODUCTION PROGRAM OF WEAVING IN MATHCAD**Nazarova M.V., Boiko S.Y., Zavalov A.A.***Kamyshin Technological Institute, branch of Volgograd State Technical University, Kamyshin,**e-mail: ttp@kti.ru*

When developing the technological mode of newly designed tissue to ensure high technical and economic indicators of work of weaving factory in the implementation of the new range, which is necessary to perform the calculation of the production program. In this paper have been developed algorithm of automated calculation of the operational program environment MathCad, allowing considerably to reduce the complexity of calculations, ensure high quality of project documentation. Program of the calculation of the production output of weaving convenient for execution and allows not only to manipulate the raw data, but also to estimate the intermediate calculation procedures and producing on its motion the necessary manipulations that will facilitate the effective implementation of the programme in production, without the participation of the specialists of information technologies.

Keywords: weaving, automated calculation, the production program

Крупнейшей отраслью промышленного производства России продолжает оставаться легкая и текстильная промышленность, хотя значимость этой отрасли в последнее время значительно снизилась. Появление на внутреннем рынке России большого объема импортной продукции подтолкнула отечественные предприятия текстильной промышленности к жесткой конкурентной борьбе, так как иностранные конкуренты имеют ценовые и качественные преимущества выпускаемой продукции. В последнее время общей закономерностью развития производства является повышение роли организационно-управленческих факторов. Эффективность производства определяется качеством его управления, которое включает планирование, организацию и контроль системы технологических показателей, анализ получаемой информации и прогнозирование технологических режимов выпускаемой продукции. В свою очередь прогнозирование должно быть основано на использовании современных информа-

ционных технологий. В условиях жесткой конкуренции современного рынка, производителю высококачественных текстильных изделий требуется концепция разработки инновационных технологий с учётом её свойств, реализация, которой, позволит прогнозировать и управлять качеством продукции и обеспечит эффективное функционирование технологических процессов. Поэтому в настоящее время всё большее внимание уделяется вопросам разработки новых технологических режимов производства тканей и оценки эффективности от их внедрения в производство.

При разработке технологического режима вновь проектируемой ткани необходимо обеспечить высокие технико-экономические показатели работы ткацкой фабрики при внедрении нового ассортимента, для чего необходимо произвести следующие расчеты:

- технический расчет ткани;
- расчет технологических параметров по переходам ткацкого производства;

- расчет паковок и отходов по переходам [7];
- аналитический расчет производительности труда и оборудования ткацкого производства;
- расчет баланса сырья ткацкого производства [1];
- разработка производственной программы ткацкого производства;
- расчет себестоимости продукции и окупаемости инвестиций и т.д. [4]/

Важной составляющей технико-экономических расчетов внедрения новой ткани в производство является расчет производственной программы. На ряде текстильных предприятий этот расчет производится без использования современного программного обеспечения, что в значительной степени увеличивает время внедрения новой ткани в производство и увеличивает вероятность ошибок в расчете. По этой причине вопрос автоматизации расчетов при разработке организационно-экономических задач, а в частности расчета производственной программы, является актуальным. [2]

В данной работе предлагается при разработке автоматизированного расчета производственной программы ткацкого производства использовать среду программирования MathCad. Выбор этой среды программирования обусловлен тем, что Mathcad – это программное средство, которое предназначено для выполнения на компьютере разнообразных математических и технических расчетов, предоставляющее пользователю инструменты для работы с формулами, числами, графиками и текстами, снабженное простым в освоении графическим интерфейсом. Чрезвычайная простота интерфейса Mathcad сделала его одним из самых популярных и безусловно самым распространенным в инженерной среде математическим пакетом

Основное отличие Mathcad от других программных средств этого класса состоит в том, что математические выражения на экране компьютера представлены в общепринятой математической форме.

Если говорить о функциональных возможностях этой среды программирования, то MathCad:

- позволяет выполнять в компьютере разнообразные математические и технические расчеты;
- наглядно представлять данные в виде диаграмм и графиков;

- вводить и редактировать тексты, как в текстовом процессоре;
- осуществлять обмен данными с другими программами;
- обеспечивает простоту выполнения всевозможных операций.

Производственная программа рассчитывается в соответствии с установленным заданием по объему, ассортименту и качеству продукции. В результате расчета производственной программы определяется годовой выпуск ткани каждого артикула в натуральном выражении и в условно-натуральных единицах.

При составлении производственной программы на основе заданного объема выпуска тканей, принятого режима работы предприятия и уровня производительности оборудования определяется количество ткацких станков, которые необходимо заправить тканью каждого артикула. [3]

Для решения задачи программной реализации автоматизированного расчета производственной программы ткацкого цеха, при внедрении нового ассортимента тканей с учетом выбранной среды программирования, общие принципы разработки САПР предприятия были учтены следующим образом:

1. САПР ткацкого производства должна обеспечивать высокое качество оформления проектной документации. Для реализации этого принципа в программе выходной документ по результатам расчета представлен в типовой, общепринятой форме, что облегчает восприятие результатов расчета инженерами (причем формирование выходного документа происходит в автоматическом режиме). [5]

2. Программная реализация расчета производственной программы ткацкого производства хорошо визуализирована, поэтому удобна для исполнения и позволяет не только манипулировать исходными данными программы, но и оценивать промежуточные процедуры расчета и производить по его ходу необходимые манипуляции, что будет способствовать эффективному внедрению программ в производство, причем без участия специалистов информационных технологий [6].

Исходными данными для расчета производственной программы являются:

- наименование ткани;
- марка ткацкого станка, на котором будет вырабатываться данная ткань;

– линейная плотность нитей основы и утка, T_o , T_y , текс (принимается по данным ГОСТа и ТУ на суровую ткань аналогичного артикула);

– плотность нитей основы и утка, P_o , P_y , нит/дм (принимается по данным ГОСТа и ТУ на суровую ткань аналогичного артикула);

– количество запрограммированных ткацких станков, M_z ;

число часов работы ткацких станков в планируемом периоде (режимный фонд времени), $T_{рж}$, часов;

– коэффициент работающего оборудования, $K_{рo}$;

– плановая норма производительности ткацкого станка, H_{m1} , H_{m2} , H_{m3} , H_{m4} , м, м², уточин, метроуточин;

– масса 1 м² суровой ткани, M , (принимается по данным ГОСТа и ТУ на суровую ткань аналогичного артикула);

– расход основы и утка на 100 метров суровой ткани без отходов, M_o , M_y , кг;

– выход отходов по основе и утку, U_o , U_y %;

– истинный приклей, A_i , %.

После ввода исходных данных, определяем:

Количество отработанных станко-часов:

$$пстчр = M_z \cdot T_{рж} \cdot K_{рo}, \text{ ст.-час};$$

Выработку тканей в планируемом периоде:

$$B_1 = H_{m1} \cdot пстчр, \text{ м};$$

$$B_2 = H_{m2} \cdot пстчр, \text{ м}^2;$$

$$B_3 = H_{m3} \cdot пстчр, \text{ уточин};$$

$$B_4 = H_{m4} \cdot пстчр; \text{ метроуточин};$$

Часовую выработку тканей:

$$v_1 = B_1 / T_{рж}, \text{ м};$$

Потребность в основной и уточной пряже на весь выпуск тканей:

$$B_o = B_1 \cdot M_o \cdot (1 + 0,01 U_o) / 100, \text{ кг};$$

$$B_y = B_1 \cdot M_y \cdot (1 + 0,01 U_y) / 100, \text{ кг};$$

Часовую потребность в основной и уточной пряже:

$$G_o = B_o / T_{рж}, \text{ кг};$$

$$G_y = B_y / T_{рж}, \text{ кг};$$

Выход отходов по основе и утку:

$$G_{yo} = B_o \cdot U_o / 100, \text{ кг};$$

$$G_{yy} = B_y \cdot U_y / 100, \text{ кг};$$

Массу нитей основы и утка с отходами в 100 метрах ткани:

$$m_o = M_o \cdot (1 + 0,01 U_o), \text{ кг};$$

$$m_y = M_y \cdot (1 + 0,01 U_y), \text{ кг}.$$

Для удобства использования в последующих расчетах, выходной документ результатов расчета производственной программы содержит не только расчетные данные, но и исходные. Кроме того, текстильное предприятие получает возможность хранить входную и выходную документацию в электронном виде.

Таким образом, разработанная программа существенно сокращает время расчета производственной программы при внедрении нового ассортимента тканей, что будет способствовать более быстрому реагированию производителя тканей на изменение конъюнктуры рынка, что приведет к более лучшим экономическим результатам. Таким образом, предприятие получает возможность в более короткий срок наладить производство новой ткани, соответствующей новым требованиям моды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назарова М.В., Фефелова Т.Л. Разработка алгоритма автоматизированного расчета баланса сырья текстильного предприятия // *Фундаментальные исследования*. – 2006. – 12. – С. 50-51.
2. Назарова М.В. Автоматизированный расчет технико-экономических показателей ткацкого производства // *Технология текстильной промышленности*. – 2008. – 4. – С. 118-126
3. Назарова М.В., Давыдова М.В. О разработке алгоритма автоматизированного расчета объема полуфабрикатов по структурным подразделениям текстильных предприятий // *Фундаментальные исследования*. – 2008. – 1. – С. 75-76.
4. Назарова М.В., Давыдова М.В. Разработка пакета программ для расчета организационно-экономической части бизнес плана текстильного предприятия // *Современные проблемы науки и образования*. – 2008. – 6. – С. 140-145.
5. Назарова М.В., Давыдова М.В. О предпосылках создания САПР текстильных предприятий // *Современные проблемы науки и образования*. – 2008. – 1. – С. 54-59.
6. Назарова М.В., Давыдова М.В. О создании алгоритма автоматизированного расчета экономической эффективности работы текстильных предприятий // *Современные проблемы науки и образования*. – 2008. – 1. – С. 60-66.
7. Назарова М. В. Автоматизация расчета паковок по переходам ткацкого производства // *Технология текстильной промышленности*. – 2008. – 6. – С. 106-108.

УДК 631.362.3

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПНЕВМОСЕПАРАТОРА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИЙ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ

¹Сайтов В.Е., ²Фарафонов В.Г., ³Суворов А.Н.

¹ГНУ «НИИСХ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого Россельхозакадемии», Киров;

²ФГБОУ ВПО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», Киров;

³КОГБОУ СОШ «Центр дистанционного образования детей», Киров,

e-mail: vicsait-valita@ e-kirov.ru

В статье рассматривается актуальность проблемы утилизации использованных или отбракованных при производстве автомобильных и тракторных шин. Дан краткий анализ способов утилизации резиновых шин механических транспортных средств. Рассмотрен технологический процесс механической переработки резиновых шин. В результате анализа производственного процесса механической переработки резиновых шин выявлены значительные потери резиновой крошки в отходах из-за неоднородной структуры воздушного потока в зоне сепарации и несовершенстве его регулирования. Определено место в этом процессе для вновь разрабатываемого пневмосепаратора для разделения фракций резиновой крошки, получаемой при утилизации шин.

Ключевые слова: резиновая крошка, воздушный поток, пневматический сепаратор, утилизация автомобильных шин

URGENCY OF THE DEVELOPMENT OF THE SEPARATOR FOR DIVISION FACTION RUBBER MITE BY AIRSTREAM

¹Saitov V.E., ²Farafonov V.G., ²Suvorov A.N.

¹NIISH North-East n.a. N.V. Rudnitsky RAAS, Kirov;

²Vyatka State Agricultural Academy, Kirov;

³Kirov regional state general budget Institution School «Centre for Distance Education of Children»,

Kirov, e-mail: vicsait-valita@ e-kirov.ru

In article is considered urgency of the problem to salvaging used or dropout at production car and tractor buses. It is given short analysis of the ways to salvaging the rubber buses of the mechanical transport facilities. The technological process of the mechanical conversion of the rubber buses is considered. Significant losses of the rubber mite are revealed as a result of analysis of the production process of the mechanical conversion of the rubber buses in departure because of lumpy structure of the airstream in zone peelings and imperfection of its regulation. The certain place in this process for newly under development air separator for division faction rubber mite, got when salvaging the buses.

Keywords: rubber mite, airstream, pneumatic separator, salvaging the car buses

В мире ежегодно появляется до 10 миллионов тонн использованных автопокрышек, что соответствует почти миллиарду изношенных шин. И этот объем постоянно растет. Поэтому в местах эксплуатации транспортных средств (на промышленных, сельскохозяйственных и автомобильных предприятиях, горно-обогатительных комбинатах и т.д.), на свалках и даже в городах скапливаются целые горы отбракованной, изношенной и отработанной автомобильной резины.

Горы старых, изношенных и испорченных шин создают большую экологическую угрозу. Они практически не подвергаются биологическому разложению и отравляют атмосферу вредными веществами, которые в них содержатся. На таких свалках возникают пожары, которые трудно потушить из-за хорошей воспламеняемости шин. Кроме того такие места являются превосходной средой для обитания и размножения грызу-

нов, насекомых. Места свалок автопокрышек также являются «инкубатором» размножения и распространения разного рода инфекционных заболеваний. Все это несет большую экологическую опасность, а потому проблема утилизации шин принимает глобальные масштабы и имеет актуальное значение.

Анализ способов утилизации автомобильных шин

Одним из главных аспектов утилизации автомобильных покрышек является не создание свалок, а получение сырья для последующих производств. Существует два способа переработки автомобильных шин: химический и физический.

Химический способ утилизации – это сжигание или высокотемпературная переработка. Этот способ не получил большого распространения из-за вредоносных выбросов сажи и токсичных газов в атмосферу,

а также энергоемкости самого процесса. При химическом процессе изношенные покрышки используются как вторичный энергоресурс.

Второй, физический способ, более распространен, и заключается в измельчении шин. В измельчении используются разные технологии: низкотемпературное измельчение, механический процесс.

Во время низкотемпературного процесса специальные установки для утилизации автомобильных шин производят дробление при очень низких температурах (до -90 градусов). Разрушение в этих условиях наступает быстрее и легче получить выход резины. Основным средством для охлаждения является жидкий азот. Этот продукт довольно дорогостоящий и требует бережного отношения и, именно поэтому технология низкотемпературного измельчения не востребована.

Более простым и дешевым является механический процесс переработки. Широкое распространение данный способ получил за счет широкого спектра применения получаемого продукта, а именно резиновой крошки. Резиновая крошка, или так называемая порошковая резина используется для изготовления разного рода резинотехнических изделий. Резиновая крошка может применяться для изготовления подошв для обуви, гибких напольных покрытий спортивных и игровых площадок (например, части футбольного поля, теннисные корты или детские площадки), шумо- и виброзащитных матов, напольных покрытий в помещениях для содержания скота, изоляционного материала для бытового и промышленного использования (например, в сидениях), формованных изделий (например, для автомобильной и вентиляционной промышленности), специализированных покрытий для крыш (например, резинового шифера или рубероида). В результате прессовки резиновой крошки могут быть изготовлены железнодорожные шпалы и подрельсовые прокладки. Резиновая крошка может применяться в качестве добавки в производстве новых автомобильных покрышек, а также как модификатор асфальтового покрытия в дорожном строительстве для снижения шума и уменьшения трещин. Стоит отметить, что применение порошковой резины как одного из компонентов асфальтобетона показало повышение его эксплуатационных характеристик и увеличение срока службы дорожного покрытия в полтора-два раза.

Технологический процесс механической переработки шин

Схема технологического процесса механической переработки автомобильных шин приведена на рисунке. Сначала из покрышки вырезают посадочное кольцо, потом покрышка проходит через ленточный и кусковый нарезатели. Затем этот материал поступает в измельчитель (дробилку), чтобы порезать куски покрышки на более мелкие части (гранулы). При измельчении кусков покрышки получается крошка различных размеров. Кроме резиновой крошки в измельченном материале присутствуют частицы металлического корда и химволокна, которые необходимо удалить.

Схема технологического процесса механической переработки шин транспортных средств

Резиновая крошка по размеру сепарируется на вибросите (решете). Металлические части из измельченного материала удаляются с помощью магнита. Для удаления не выделенного на вибросите химволокна используют воздушный поток. Однако практика эксплуатации таких технологических линий показывает, что в отходах, удаленных из крошки воздушным потоком, содержится более половины (по массе) резиновой крошки мелких фракций ($0...3$ мм), которая является более ценным сырьем и может быть использована в производстве после соответствующей очистки. Основная причина не использования мелких фракций резиновой крошки заключается в неоднородной структуре воздушного потока в зоне сепарации и несовершенстве его регулирования.

Заключение

Поэтому разработка и создание воздушного сепаратора для качественного разделения полученных фракций и извлечения мелкой резиновой крошки, получаемой при переработке изношенных шин транспортных средств, является актуальной задачей и имеет важное народнохозяйственное значение. Для выполнения поставленной задачи разработана технологическая и конструктивная схема пневмосепаратора для выделения наиболее мелкой фракции резиновой крошки при использовании малых скоростей воздушного потока ($0,4...1,0$ м/с). Подана заявка в ФИПС на предмет защиты патентом на полезную модель разработанной конструктивной схе-

мы пневмосепаратора для выделения наиболее мелкой фракции резиновой крошки, получена приоритетная справка из ФИПС. Результаты по разработке математической модели движения частицы резиновой крошки в прямолинейном пневмосепарирующем канале с учетом неравномерности воздушного потока, оригинальной методики получения расходных характеристик регуляторов воздуха с целью плавного регулирования скорости воздушного потока в пневмосепарирующем канале доложены на Международных научных конференциях «Наука-Технология-Ресурсосбережение» (г. Киров, 2012...2013 гг.) и опубликованы в различных научных изданиях [1, 2, 3, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саитов В.Е., Фарафонов В.Г., Суворов А.Н. Методика получения расходной характеристики регулировочной заслонки // Проблемы интенсификации животноводства с учетом пространственной инфраструктуры сельского хозяйства и охраны окружающей среды: Монография под науч. ред. проф. докт. Вацлава Романюка. – Фаленты-Варшава, 2012. – С. 225-229.
2. Саитов В.Е., Суворов А.Н., Фарафонов В.Г. Математическая модель движения частицы в прямолинейном пневмосепарирующем канале с учетом неравномерности структуры воздушного потока // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы VI Международ. науч.-практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение»: Сб. науч. тр. – Киров: ФГОУ ВПО Вятская ГСХА, 2013. – Вып. 14. – С. 148-153.
3. Разработка и совершенствование малогабаритных пневмосепараторов с замкнутым циклом воздушного потока / В.Е.Саитов, В.Г. Фарафонов, А.Н. Суворов, Д.В. Григорьев // Материалы XV Всероссийской выставки-презентации учебно-методических изданий из серии «Золотой фонд отечественной науки». – 2012. – № 11. – С. 38-39.
4. Саитов В.Е., Фарафонов В.Г., Суворов А.Н. Исследование процессов в рабочих органах сепараторов зерна / Международный журнал экспериментального образования: Материалы XV Всероссийской выставки-презентации учебно-методических изданий из серии «Золотой фонд отечественной науки». – 2012. – № 11. – С. 39-40.

УДК 539.23 539.24 539.25

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНАМИ МЕТАЛЛА

^{1,2}Степанов А.Л., ²Трифонов А.А., ²Осин Ю.Н., ¹Валеев В.Ф., ¹Нуждин В.И.¹КФТИ КазНЦ РАН «Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского
научного центра Российской академии наук», Казань, e-mail: aanstep@gmail.com;²ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань

Разработана и описана новая наукоёмкая технология формирования пористого кремния (PSi) на поверхности монокристаллического Si при имплантации ионами металла. Для демонстрации эффективности технологии была проведена имплантация ионами Ag⁺ с энергией 30 кэВ при дозе 1.5·10¹⁷ ион/см² в полированную подложку Si. Методом высокоразрешающей сканирующей электронной микроскопии впервые показано, что в результате проведенной имплантации на поверхности Si формируется слой PSi со средними размерами пор (отверстий) порядка 110 – 120 нм и толщиной стенок 30 – 60 нм, в структуре которых синтезируются наночастицы серебра диаметром 5 – 10 нм. Кроме того установлено, что при проведении имплантации серебром происходит распыление поверхности Si.

Ключевые слова: пористый кремний, ионная имплантация, наночастицы серебра

NEW TECHNOLOGY OF POROUS SILICON FORMATION BY METAL ION IMPLANTATION

^{1,2}Stepanov A.L., ²Trifonov, A.A., ²Osin Y.N., ¹Valeev V.F., ¹Nuzhdin V.I.¹Zavoisky physical-technical institute of Kazan scientific centr of Russian Academy of Sciences, Kazan,
e-mail: aanstep@gmail.com;²Kazan federal university, Kazan

It is developed and described a new scientific technology for fabrication of porous silicon (PSi) on the surface of monocrystalline Si by metal-ion implantation. For demonstration of an efficiency of the technology Ag-ion implantation at energy 30 keV with dose of 1.5·10¹⁷ ion/cm² into polished Si wafer was realized. Surface PSi structures were analyzed by high-resolution scanning electron microscope. For the first time it is shown that PSi were formed by Ag-ion implantation. The average sizes of porous holes and thickness of walls between porous are about 110-120 and 30-60 nm, correspondingly. The formation of silver nanoparticles with average size of 5-10 nm inside PSi structures was detected. Spattering of some surface of irradiated Si during Ag-ion implantation and PSi formation was also observed.

Keywords: porous silicon, ion implantation, silver nanoparticles

Пористый кремний (PSi) является одним из наиболее широко исследуемых современных структурированных материалов, перспективы применения которого рассматриваются в области микро-, нано- и оптоэлектроники, а также для приложений в сенсорике, биосенсорике и солнечных батареях [1]. Поэтому поиск новых способов получения PSi, а также совершенствование имеющихся технологий синтеза таких структур представляется актуальной задачей сегодняшнего дня.

Основной способ получения PSi, используемый на практике, заключается в анодной электрохимической обработке монокристаллического кремния в растворах на основе плавиковой кислоты. В тоже время известна методика получения наноразмерных слоев PSi на поверхности монокристаллического Si в результате его имплантации ионами инертных газов. Образование газовых пузырьков из внедренных ионов в объеме облучаемого материа-

ла Si ведет к формированию нанопор. При этом, как правило, для стимулирования зарождения и роста пор имплантированные пластины Si подвергают термическому отжигу [2]. Такой способ создания пор на поверхности Si ранее был продемонстрирован имплантацией ионами He⁺ [3], H⁺ [4] и Kr⁺ [5]. В настоящей работе предложен новый технологический подход получения PSi на поверхности Si, впервые используя для данной задачи имплантацию ионами металла.

В ряде недавних публикаций было показано, что для повышения эффективности проявления оптических свойств PSi, таких как, например, фотолюминесценция, отражательная способность и др., в структуру или на поверхность PSi различными способами наносят наночастицы благородных металлов [6, 7]. Коллективное возбуждение электронов проводимости в металлических наночастицах (поверхностный плазмонный резонанс) под действием электромагнитной волны света и, тем самым, вызванное

резонансное усиление локального поля стимулирует проявление оптических эффектов композиционной среды [8].

Таким образом, с целью формирования слоев PSi, одновременно с синтезом в них наночастиц серебра, предлагается использовать низкоэнергетическую высокодозовую имплантацию Ag-ионами монокристаллического Si аналогично тому, как ранее осуществлялся синтез металлических наночастиц в матрицах неорганического стекла, сапфира или полимера при их облучении ионами металлов [8-10].

Материалы и методы исследования

Для получения структурированного композиционного PSi материала была использована подложка монокристаллического Si *p*-типа проводимости с кристаллографической ориентацией (111). Имплантация проводилась ионами Ag⁺ с энергией 30 кэВ при дозе облучения $1.5 \cdot 10^{17}$ ион/см² и плотности тока в ионном пучке 4 мкА/см² на ионном ускорителе ИЛУ-3 при комнатной температуре облучаемой подложки. Наблюдение морфологии структурированной поверхности и рентгеноспектральный микроанализ имплантированного Si проводился на высокоразрешающем сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Merlin Zeiss. Для проведения анализа химических элементов на СЭМ был использован энергодисперсионный спектрометр Oxford Instruments AZTEC X-MAX с пространственным разрешением 0.5 мкм. В дополнительном эксперименте, для оценки эффекта распыления, на подложку Si во время имплантации накладывалась сетчатая никелевая маска с квадратными ячейками размером 40 мкм, с целью формирования ступеньки между облучаемой и не облучаемой частями поверхности подложки.

Результаты исследования и их обсуждение

Ионная имплантация является широкомасштабно-используемой методикой, применяемой на практике для контролируемого легирования различных металлов, диэлектриков и полупроводников при внедрении в них энергетически-ускоренных ионов различных химических элементов [1]. В силу специфических особенностей методики, распределение имплантированных ионов в облучаемом материале неоднородно по глубине образца [8]. Поэтому нами было проведено моделирование профилей распределения имплантированного серебра в Si для энергии ускорения 30 кэВ с помощью компьютерного алгоритма SRIM-2013 (www.srim.org). Установлено, что в начальный период облучения происходит накопление атомов серебра с максимумом статистического распределения концентрации по гауссовой кривой на глубине

$R_p \sim 26$ нм, а разброс пробега ионов от R_p составляет $\Delta R_p \sim 8$ нм. Однако, как это будет показано далее, продолжительное облучение, одновременно с образованием PSi и сегрегацией серебра у поверхности, приводит к распылению Si. Поэтому данными модельными оценками о глубине проникновения и накопления ионов серебра на конечном этапе имплантации следует пользоваться условно.

На рис. 1 (а, б, в) в различных масштабах приведены СЭМ-изображения поверхности Si, имплантированного ионами серебра. Морфология поверхности Si, в отличие от необлученной полированной подложки, характеризуется наличием ярко-выраженной PSi структуры. Сформированный имплантацией слой PSi выглядит однородным на большой площади образца в десятки микрон (рис. 1а), что является важным для ряда технологических приложений (масштабируемость). Увеличение фрагмента поверхности (рис. 1б) позволяет оценить средний диаметр отверстий пор (черные пятна) и толщину стенок пор, составляющих $\sim 110 - 120$ и $\sim 30-60$ нм соответственно. Дальнейшее увеличение масштаба (рис. 1в), показывает образование синтезированных имплантацией включений (светлые пятна) в структуре стенок PSi со средним размером порядка $\sim 5-10$ нм, наблюдаемых на темном сером фоне матрицы PSi. Поскольку более тяжелые химические элементы, регистрируемые детектором обратных рассеянных электронов, выглядят на СЭМ-микрофотографиях в более светлом сером тоне, то для композиционного материала, состоящего из атомов Si и имплантированного Ag, можно заключить, что светлые области определяются образовавшимися металлическим серебром в виде наночастиц.

Проведение рентгеноспектрального микроанализа поверхности PSi с двумя различными фазами (светлые и темные участки на рис. 1в), приводит к характеристическим спектрам с пиками серебра в интервале энергий 2.5 – 3.5 кэВ, не наблюдаемым для необлученного Si, что подтверждают сделанный вывод об образовании наночастиц серебра.

СЭМ-изображение поверхности Si, содержащей фрагменты микроструктур PSi, сформированных имплантацией ионами серебра через маску, приведено на рис. 2. Наличие маски позволяет сформировать ступеньку на границе между облученной и необлученной областями Si и наблюдать изменение профиля поверхности, вызван-

ного ионным воздействием. Как видно из рис. 2, в результате такой имплантации на поверхности Si были сформированы прямо-

угольные светлые участки PSi, ограниченные темными дорожками необлученного монокристаллического Si.

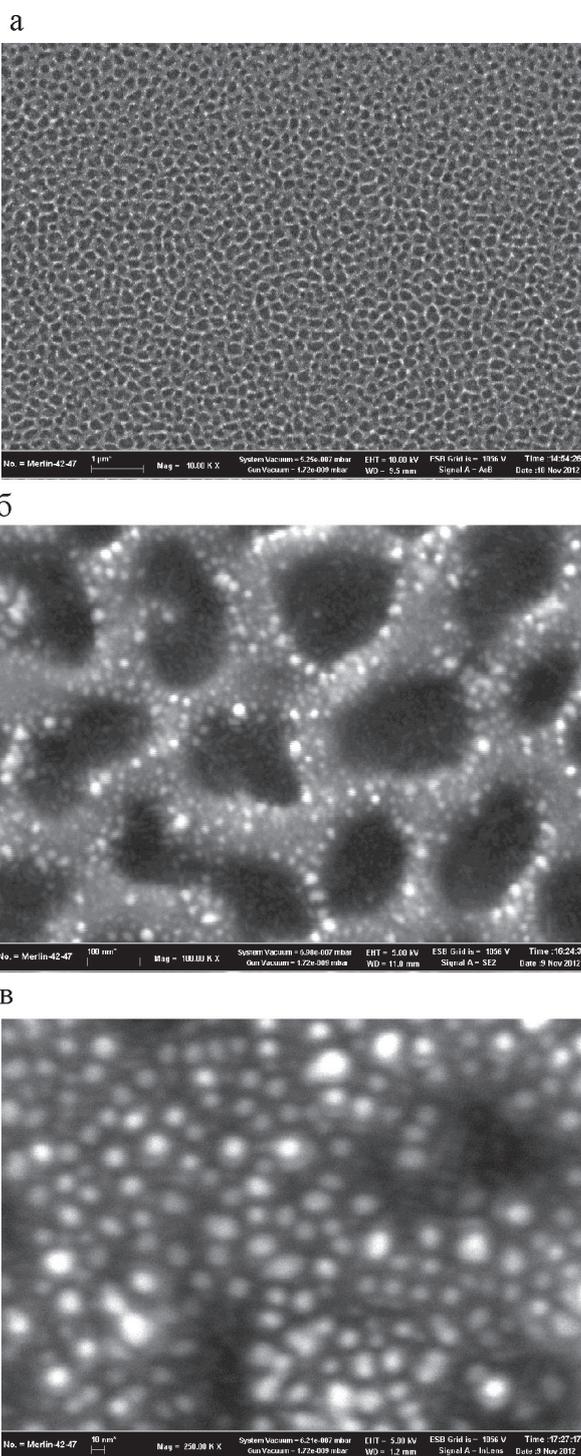


Рис. 1. СЭМ-изображения, приведенные в различных масштабах, поверхности PSi с наночастицами серебра, полученного имплантацией Ag-ионов в монокристаллический кремний

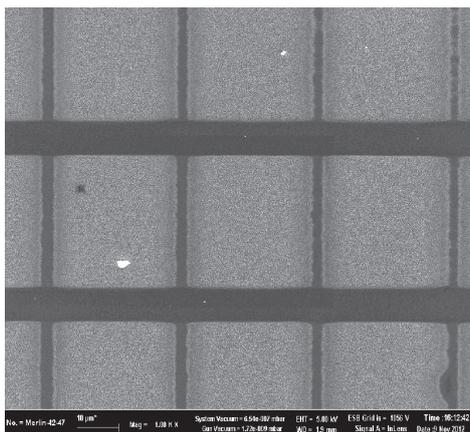


Рис. 2. СЭМ-изображение поверхности Si, полученной Ag-ионной имплантацией через маску. Темные сплошные участки соответствуют неимплантированной части Si, находившейся под сетчатой маской, а светлые прямоугольники относятся к PSi областям

Увеличенный фрагмент образца, представленный в 3D-проекции, наблюдаемый на границе между PSi и Si (рис. 3), однозначно указывает на то, что во время имплантации Si ионами серебра и формирования пористой структуры, происходит эффективное распыление поверхности подложки Si. В ре-

зультате на облученной части Si образуется впадина, являющаяся ступенькой на границе между Si и PSi. Данный результат представляется практически важным и должен быть учтен при планировании и конструировании оптоэлектронных устройств на основе PSi, интегрируемых в подложках Si.

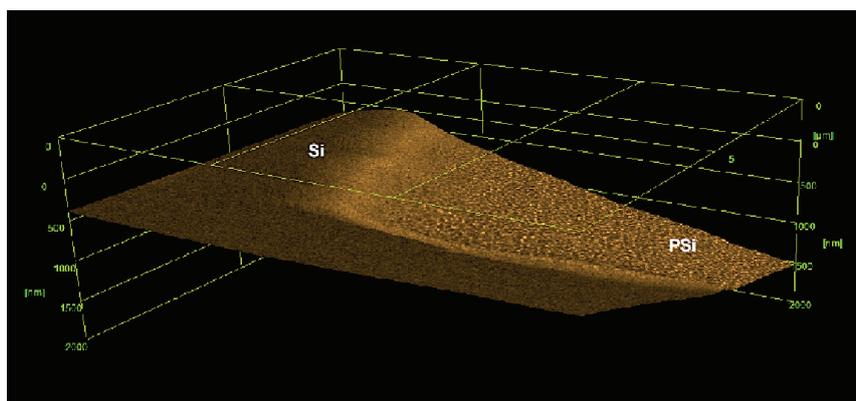


Рис. 3. Увеличенный 3D-фрагмент СЭМ-изображения поверхности на краю маски, демонстрирующий распыление Si

Заключение

Таким образом, в данной работе продемонстрирована принципиально новая технология получения PSi слоев с наночастицами серебра на поверхности монокристаллического Si при использовании низкоэнергетической высокодозовой имплантации. Ионная имплантация в настоящее время является одной из основных методик, используемой в промышленной полупроводниковой микроэлектронике для формирования различных типов Si устройств и процессоров. Поэтому предлагаемый новый физический метод получе-

ния PSi, в отличие от химических подходов, обладает тем преимуществом, что может быть достаточно легко интегрирован в промышленный современный процесс совершенствования технологии изготовления микросхем.

Как следует из представленных результатов работы, в проведенных экспериментах впервые получены PSi структуры с наночастицами серебра не химическим методом. Очевидно, что последующие шаги по совершенствованию таких типов композиционных материалов должны заключаться в оптимизации процессов их

изготовления и, в частности, осуществлении поиска корреляционных особенностей между структурными параметрами и характеристиками оптических, плазмонных, фотолюминесцентных и сенсорных свойств новых пористых структур.

Данная работа была частично поддержана фондом РФФИ (№ 13-02-12012_офи_м, № 12-02-00528_а и № 12-02-97029_р) и НИР К(П)ФУ 13-56. А.Л.С. выражает благодарность Немецким научным фондам им. Александра фон Гумбольдта и DAAD.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ищенко А.А., Фетисов Г.В., Асланов Л.А. Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля. – М.: Физматлит, 2011. – 495 с.
2. Козловский В.В., Козлов В.А., Ломасов В.Н. Модифицирование полупроводников пучками протонов. Обзор // ФТП. – 2000. – Т. 34. – С. 129-147.
3. Stein H.J., Myers S.M., Follstaedt D.M. Infrared spectroscopy of chemically bonded hydrogen at voids and defects in silicon // J. Appl. Phys. – 1993. – Vol. 73. – P. 2755-2764.
4. Cerofolini G.F., Evans J.H., De Jong P.C., van Veen A. Helium desorption/permeation from bubbles in silicon: a novel method of void production // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B. – 1987. – Vol. 27. – P. 417-420.
5. Галяутдинов М.Ф., Курбагова Н.В., Буйнова Э.Ю., Штырков Е.И., Бухараев А.А. Исследование пористого кремния, полученного имплантацией ионов криптона и лазерном отжиге // ФТП. – 1997. – Т. 31. № 9. – С. 1130-1134.
6. Amran T.S., Hashim M.R., Al-Obaidi N.K., Yazid H., Adnan R. Optical absorption and photoluminescence studies of gold nanoparticles deposited on porous silicon // Nanoscale Res. Lett. – 2013. – Vol. 8. – P. 35-39.
7. Wang Y., Liu Y.P., Liang H.L., Mei Z.X., Du X.L. Broadband antireflection on the silicon surface realized by Ag nanoparticle-patterned black silicon // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2013. – Vol. 12. – P. 2345-2350.
8. Stepanov A.L. Ion-synthesis of metal nanoparticles and their optical properties. – New York: Nova Sci. Publ., 2011. – 91 с.
9. Степанов А.Л., Валеев В.Ф., Нуждин В.И., Попок В.Н. Особенности синтеза наночастиц серебра в кварцевом стекле при низкоэнергетической ионной имплантации // Рос. нанотехнологии. – 2011. – Т. 6., № 7-8. – С. 60-63.
10. Степанов А.Л. Оптические свойства металлических наночастиц, синтезированных в полимере методом ионной имплантации. Обзор. // ЖТФ. 2004. Т. 74. Вып. 2. С. 1-12.

УДК 665.644.4

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА В РЕАКТОРЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

Щетинин В.С., Бариев Д.Б.

ФБГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»,
Комсомольск-на Амуре, e-mail: office@knastu.ru

Предложена схема и конструкция распределительного устройства потока сырья в реакторе каталитического риформинга, позволяющая более эффективно задействовать весь объем катализатора. Это в свою очередь позволяет повысить производительность самого реактора без снижения качества продукта.

Ключевые слова: каталитический риформинг, распределительное устройство, реактор, стойкость бензинов, конструкция насадки, перегонка нефти

IMPROVE THE EFFICIENCY OF FLOW REACTOR CATALYTIC REFORMING

Schetinin V.S., Bariev D.B.

Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Komsomolsk-on-Amur, e-mail: office@knastu.ru

A scheme and design of the switchgear in the reactor feed stream of the catalytic reforming unit, allowing more effective use of the entire volume of the catalyst. This in turn improves the performance of the reactor without sacrificing product quality.

Keywords: catalytic reforming, dispenser reactor gasoline resistance, nozzle design, petroleum refining

Развитие нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности на современном этапе характеризуется значительным расширением ассортимента и повышением качества выпускаемой продукции, увеличением глубины нефтепереработки и газового конденсата, позволяющих получать гамму нефтепродуктов с учётом потребностей потребителя.

Установки первичной перегонки нефти играют в нефтеперерабатывающей промышленности большую роль. От показателей их работы зависит эффективность последующих процессов – очистки, газоразделения, риформинга, каталитического крекинга и др. Поэтому усовершенствование технологии отдельных узлов установки, повышению ее производительности, улучшению качества получаемых продуктов является актуальной задачей нефтепереработки. Весьма существенным является также улучшение технико-экономических показателей установок, что достигается повышением производительности труда, снижением себестоимости товарной продукции, сокращением энергетических затрат, удельного расхода металла, капиталовложений и эксплуатационных расходов [1, 3].

Процесс каталитического риформинга предназначен для повышения детонационной стойкости бензинов и получения индивидуальных ароматических углеводородов, таких как бензола, толуола, ксилолов [2, 4].

Для дальнейшего усовершенствования процессов переработки нефти необходимо

оснастить установки высокоэффективным оборудованием, что позволит повысить топливно-энергетический коэффициент полезного действия установки.

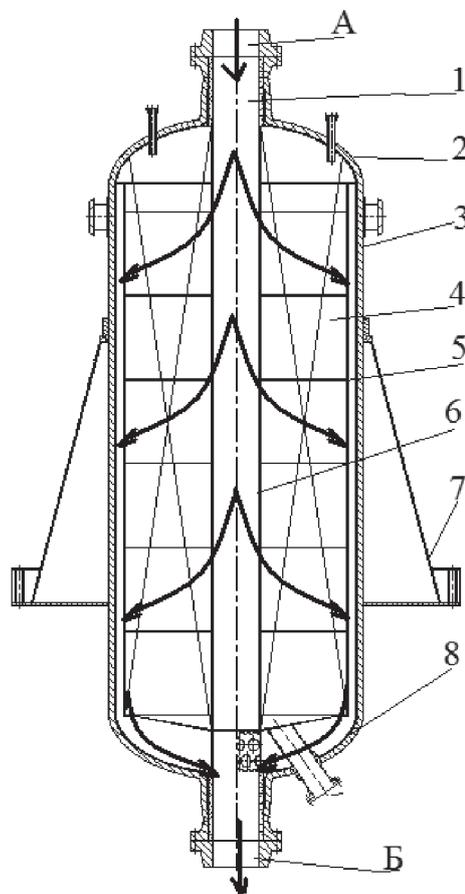
Как отмечено выше, в реакторе каталитического риформинга получают высокооктановые бензины без применения присадок, которые наносят экологический вред. Используемые реакторы не позволяют в полной степени использовать находящийся в них катализатор из-за неравномерного потока сырья. Для повышения эффективности предлагается использовать реактор с усовершенствованным распределительным устройством сырья в насадке. Распределительное устройство представляет собой вертикальную трубу с отверстиями, проходящую через все насадки. Сырьё подается через отверстия, во все секции насадки одновременно. Потоки направлены таким образом, что весь катализатор задействован в процессе риформинга. Это позволяет более рационально использовать катализатора. Конструкция распределительного устройства реактора представлена на рис. 1.

В предлагаемом реакторе поток сырья распределяется параллельно на все секции насадки и проходит сквозь катализатор от центра к периферии, при этом катализатор задействуется в полном объеме.

Предложенный принцип распределения потоков сырья в реакторе и его конструкция позволят повысить эффективность использования сырья до 95% по сравнению с базо-

выми конструкциями, в которых катализатор использовался на 80-85%. Таким образом можно увеличить период использования ка-

тализатора между его заменой до 6-8%. Это в свою очередь позволит снизить себестоимость процесса каталитического риформинга.



Реактор риформинга:

1 – распределитель; 2 – днище верхнее; 3 – корпус; 4 – катализатор; 5 – тарелка; 6 – труба центральная; 7 – опора с опорным поясом; 8 – днище нижнее; А – ввод сырья; Б – вывод продукта

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. – Уфа: Гилем, 2002. 672 с.

2. Химия нефти и газа: Учебное пособие для вузов/ А.И. Богомолов, А.А. Гайле, В.В. Громова и др.; [под ред. В.А. Проскурякова, А.Е. Драбкина.] – 3-е изд., доп. и испр. – Спб: Химия, 1995. – 448 с.

3. Технология переработки нефти и газа. Ч. 3-я Черножуков Н.И. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов. [под ред. А.А. Гуреева и Б.И. Бондаренко.] – 6-е изд., пер. и доп. – М.: Химия, 1978 г. – 424 с.

4. Магарил Р.З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти: Учебное пособие для вузов. – Л.: Химия, 1985, 280 с.

УДК.517.956.(927)

АНАЛОГ ЗАДАЧИ БИЦАДЗЕ-САМАРСКОГО ДЛЯ УРАВНЕНИЯ СМЕШАННОГО ГИПЕРБОЛО-ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ТИПА

Абрегов М.Х., Гучаева З.Х.

ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»
Министерства образования и науки РФ, Нальчик, e-mail: proporz@yandex.ru

Исследован вопрос однозначной разрешимости аналога задачи Бицадзе-Самарского с дробной производной в краевом условии для уравнения смешанного гипербло-параболического типа. Путем редукции к уравнению Вольтера второго рода доказана однозначная и безусловная разрешимость задачи.

Ключевые слова: задача Бицадзе-Самарского, оператор дробного дифференцирования, оператор дробного интегрирования, задача Коши, уравнение Вольтера

AN ANALOQUE OF THE BITSADZE-SAMARSKII PROBLEM FOR THE MIXED TUPE HYPERBOLIC-PARABOLIC EQUATION

Abregov M.K., Guchaeva Z.K.

FGBOU VPO «Kabardin-Balkar state university n.a. Kh. M. Berbekov», Nalchik,
e-mail: proporz@yandex.ru

The paper is devoted to the study of a boundary-value problem analogy of the Bitsadze-Samarskii problem for the mixed tupe hyperbolic-parabolic equation with operators of fractional differentiation in the boundary condition. Existence and uniqueness of the solution is proved by the reductions to equation of Volterra second sort, which unconditional solvable.

Keywords: Bitsadze-Samarskii problem, operator of fractional differentiation, operator of fractional integration, Cauchy problem, Volterra equation

Теория краевых задач для уравнений смешанного типа является одним из важнейших разделов теории дифференциальных уравнений с частными производными, что объясняется как теоретической значимостью результатов, так и их приложениями в газовой динамике, в теории бесконечно малых изгибов поверхностей, в безмоментной теории оболочек, в магнитной гидродинамике, в математической биологии и других областях.

В настоящее время теория уравнений смешанного типа развивается быстрыми темпами. Успехи современного естествознания требуют дальнейшего развития теории дифференциальных уравнений в частных производных, что приводит к необходимости исследования локальных и нелокальных краевых задач, в том числе задач со смещением для уравнений смешанного и смешанно – составного типов.

Цель исследования: доказать существование и единственность решения задачи типа задачи Бицадзе-Самарского для уравнения смешанного гипербло – параболического типа.

Постановка задачи. Рассмотрим уравнение

$$0 = \begin{cases} u_y - u_{xx}, & x > 0, \\ |x|^m u_{yy} - u_{xx}, & x < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $m = const > 0$, в конечной области D , ограниченной отрезками CD , OD , DC прямых $x = 1$, $y = 0$, $y = 1$ и характеристиками $AO: y - \frac{2}{m+2}(-x)^{\frac{m+2}{2}} = 0$, $AB: y + \frac{2}{m+2}(-x)^{\frac{m+2}{2}} = 1$ уравнения (1) при $x < 0$.

Пусть $D^+ = D \cap (x > 0)$, $D^- = D \cap (x < 0)$, $J \equiv OB$ – единичный интервал $0 < y < 1$ прямой $x = 0$.

Под регулярным решением уравнения (1) будем понимать функцию $u(x, y)$ из класса $C(\bar{D}) \cap C^1(D) \cap C^2(D^+ \cup D^-)$, удовлетворяющую уравнению (1) в $D^+ \cup D^-$ и такую, что $u_x(0, y)$ на концах интервала J может обращаться в бесконечность порядка $1 - 2\varepsilon$, где $\varepsilon = \frac{m}{2m+4}$.

Задача. Найти регулярное решение уравнения (1), удовлетворяющее условиям

$$u(x, 0) = \varphi_0(x), \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (2)$$

$$u(1, y) = \varphi_1(y), \quad 0 \leq y \leq 1, \quad (3)$$

$$D_{oy}^{1-\varepsilon} u[\theta(y)] = a(y)u_x(0, y) + b(y), \quad 0 < y < 1, \quad (4)$$

где $\varphi_1(y) \in C(\bar{J})$, $\varphi_0(x) \in C(0 \leq x \leq 1)$, $a(y), b(y) \in C^1(\bar{J})$; $\theta_0(y)$ – точка пересечения характеристики, выходящей из точки $(0, y) \in J$, с характеристикой AO ; D_{oy}^ℓ – оператор дробного интегро-дифференцирования в смысле Римана-Лиувилля, определяемый по формуле [10]

$$D_{oy}^\ell f = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(-\ell)} \int_0^y \frac{f(t) dt}{(y-t)^{1+\ell}}, & \ell < 0, \\ \frac{d^{n+1}}{dy^{n+1}} D_{oy}^{\ell-(n+1)} f, & \ell > 0, \end{cases}$$

где $n = [\ell]$, $\Gamma(\ell)$ – гамма-функция.

Задача (1) – (4) относится к классу краевых задач со смещением [7], исследованием которых занимались многие авторы [1-9] для уравнений смешанного типа. Интерес к таким задачам обусловлен тем, что они существенно обобщают задачу Трикоми, содержат широкий класс корректных самосопряженных задач и имеют многомерные аналоги.

Пусть $u(0, y) = \tau(y)$, $u_x(0, y) = v(y)$.

Тогда решение задачи Коши в области D^- представимо в виде [7]

$$u(x, y) = \frac{\Gamma(2\varepsilon)}{\Gamma^2(\varepsilon)} \int_0^1 \tau \left[y + \frac{2}{m+2} (-x)^{\frac{m+2}{2}} (2t-1) \right] \cdot t^{\varepsilon-1} (1-t)^{\varepsilon-1} dt + \frac{\Gamma(2-2\varepsilon)}{\Gamma^2(1-\varepsilon)} x \int_0^1 v \left[y + \frac{2}{m+2} (-x)^{\frac{m+2}{2}} (2t-1) \right] \cdot t^\varepsilon (1-t)^\varepsilon dt. \quad (5)$$

Удовлетворив

$$u[\theta(y)] = \gamma_0 y^{1-2\varepsilon} D_{oy}^{-\varepsilon} y^{\varepsilon-1} \tau(y) - \gamma_1 D_{oy}^{\varepsilon-1} y^{-\varepsilon} v(y),$$

где $\gamma_0 = \frac{\Gamma(2\varepsilon)}{\Gamma^2(\varepsilon)}$, $\gamma_1 = \frac{\Gamma(2-2\varepsilon)}{\Gamma^2(1-\varepsilon)} \left[\frac{y}{2(1-2\varepsilon)} \right]^{1-2\varepsilon}$,

условию (4), получим основное функциональное соотношение между $\tau(y)$ и $v(y)$, принесенное из гиперболической части D^- на J

$$a_1(y)v(y) = \gamma_0 D_{oy}^{1-2\varepsilon} \tau(y) - y^\varepsilon b(y),$$

где $a_1(y) = a(y)y^\varepsilon + \gamma_1$, или, что тоже самое,

$$\tau(y) = \frac{1}{\gamma_0} D_{oy}^{2\varepsilon-1} a_1(y)v(y) + \frac{1}{\gamma_0} D_{oy}^{2\varepsilon-1} y^\varepsilon b(y). \quad (6)$$

Для нахождения функционального соотношения между $\tau(y)$ и $v(y)$, принесенного из D^+ на J рассмотрим задачу: Найти регулярное решение уравнения (1) при

$x > 0$, удовлетворяющее условиям (2)-(3), $u_x(0, y) = v(y)$.

Известно [9], что решение этой задачи существует, единственно и дается формулой

$$u(x, y) = \int_0^y v(\eta) G(0, \eta; x, y) d\eta + \int_0^1 \varphi_0(\xi) G(\xi, 0; x, y) d\xi - \int_0^y \varphi_1(\eta) G_\xi(1, \eta; x, y) d\eta,$$

где $G(\xi, \eta; x, y) = (y-\eta)^{\frac{-1}{2}} G_0(\xi, \eta; x, y)$ – функция Грина;

$$G_0(\xi, \eta; x, y) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ \exp \left[-\frac{(x-\xi+2n)^2}{4(y-\eta)} \right] + \exp \left[-\frac{(x+\xi+2n)^2}{4(y-\eta)} \right] \right\}$$

$$-\exp\left[-\frac{(x-\xi-2+2n)^2}{4(y-\eta)}\right]-\exp\left[-\frac{(x+\xi-2+2n)^2}{4(y-\eta)}\right]. \quad (8)$$

Отсюда второе функциональное соотношение между $\tau(y)$ и $v(y)$, принесенное из D^+ на J имеет вид

$$\tau(y) = \int_0^y v(\eta)G(0, \eta; 0, y) d\eta + \int_0^1 \varphi_0(\xi)G(\xi, 0; 0, y) d\xi - \int_0^y \varphi_1(\eta)G_\xi(1, \eta; 0, y) d\eta$$

или

$$\tau(y) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^y \frac{v(\eta)}{(y-\eta)^{1/2}} d\eta + \int_0^y k(y, \eta)v(\eta) d\eta + \psi(y), \quad (9)$$

где

$$\psi(y) = \int_0^1 \varphi_0(\xi)G(\xi, 0; 0, y) d\xi - \int_0^y \varphi_1(\eta)G_\xi(1, \eta; 0, y) d\eta,$$

$$k(y, \eta) = \frac{1}{\sqrt{\pi}(y-\eta)^{1/2}} \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[e^{-\frac{n^2}{y-\eta}} - e^{-\frac{(n-1)^2}{y-\eta}} \right] - e^{-\frac{1}{y-\eta}} \right\}.$$

Знак \sum' означает, что в сумме отсутствует слагаемое, соответствующее значению $n=0$.

Подставляя $\tau(x)$ из (6) в (9), получим уравнение относительно $v(y)$

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^y \frac{v(\eta)}{(y-\eta)^{1/2}} d\eta + \int_0^y k(y, \eta)v(\eta) d\eta - \frac{1}{\gamma_0 \Gamma(1-2\varepsilon)} \int_0^y \frac{a_1(\eta)v(\eta) d\eta}{(y-\eta)^{2\varepsilon}} = f(y),$$

где

$$f(y) = \frac{1}{\gamma_0} D_{oy}^{2\varepsilon-1} y^\varepsilon b(y) - \psi(y).$$

Отсюда, применив формулу обращения интегрального уравнения Абеля, после ряда преобразований получим

$$v(y) - \int_0^y \frac{k^*(y, \eta)}{(y-\eta)^{2\varepsilon}} v(\eta) d\eta = q(x), \quad (10)$$

где $k^*(y, \eta) \in C(\bar{J} \times \bar{J}) \cap C^1(J \times J)$,

$q(x) \in C^1(J)$ – известные функции.

Уравнение (10) является интегральным уравнением Вольтера второго рода со слабой особенностью в ядре, которое однозначно и, безусловно, разрешимо в требуемом классе функций.

По найденному $v(y)$ из (6) можно определить $\tau(y)$ и решение задачи (1)-(4) в области D^- по формуле (5), а в области D^+ по формуле (7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрегов М.Х. Некоторые задачи типа задачи Бицадзе-Самарского для одного уравнения смешанного типа // Дифференциальные уравнения. – 1974. – Т. 10, № 1. – С. 3-6.
2. Елеев В.А., Кумыкова С.К. Внутреннекраевая задача для уравнения смешанного типа третьего порядка с кратными характеристиками // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2010. – № 5. – С. 5-14.
3. Елеев В.А., Кумыкова С.К. Об одной краевой задаче со смещением для смешанного уравнения третьего порядка с кратными характеристиками // Математическое моделирование и краевые задачи: труды Всероссийской научной конференции. – Самара, 2004. – С. 91-94.
4. Кумыкова С.К. Об одной краевой задаче со смещением для уравнения <<abre67.wmf>> // Дифференциальные уравнения. – 1976. – Т. 12, № 1. – С. 79-88.
5. Кумыкова С.К. Задача с нелокальными условиями на характеристиках для вырождающегося внутри области гиперболического уравнения // Дифференциальные уравнения. – 1981. – Т. 17, № 1. – С. 81-90.
6. Кумыкова С.К., Нахушева Ф.Б. Об одной краевой задаче для гиперболического уравнения, вырождающегося внутри области // Дифференциальные уравнения. – 1978. – Т. 14, № 1. – С. 50-65.
7. Нахушев А.М. Задачи со смещением для уравнений в частных производных. – М., 2006. – 287с.
8. Репин О.А., Кумыкова С.К. Об одной краевой задаче со смещением для уравнения смешанного типа в неограниченной области // Дифференциальные уравнения. – 2012. – Т. 48, № 8. – С. 1140-1149.
9. Салахитдинов М.С. Уравнения смешанно-составного типа. – Ташкент: ФАН, 1974. – 155 с.
10. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. – Минск: Наука и техника, 1987. – 688 с.

УДК 303.732.4; 514.7

**АЛГЕБРА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР И ГЕОМЕТРИЯ
АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ФОРМУЛ**

Бескровный И.М.

ОАО «Ангстрем-М», Москва, Зеленоград, e-mail: beskrovny2000@mail.ru

Целью работы является анализ проблем взаимного соответствия геометрических фигур и описывающих их алгебраических моделей на примере решения проблем разделения геометрических фигур на две им подобных. Показано, что использование формализма алгебраических преобразований без надлежащего учёта специфических свойств описываемых геометрических моделей может приводить к некорректным выводам и тупиковым ситуациям. Получены уравнения, решения которых являются критерием возможности деления фигуры на две части. Решение для квадрата имеет рациональные корни, что подтверждает возможность его деления на два квадрата. Решение для куба рациональных корней не имеет, что означает невозможность его деления на два куба. Установлено, что минимальное количество Q_{\min} , на которое может быть разделена геометрическая фигура, описываемая выражением $V_n = xn$, определяется неравенством $Q_{\min} \geq n$.

Ключевые слова: Пифагоровы тройки, системный анализ, математическая модель, графическая модель, теорема Ферма

SYSTEM ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF PYTHAGOREAN TRIPLES

Beskrovnyy I.M.

Angstrom-M OJS, Moscow, e-mail: beskrovny2000@mail.ru

The purpose of work is the analysis of problems of correlation of geometrical figures and algebraic models describing them on the example of the solution of problems of division of geometrical figures on two them similar. It is shown that use of a formalism of algebraic transformations without the appropriate accounting of specific properties of described geometrical models can lead to incorrect conclusions and impasses. It is received the equations which decisions are criterion of possibility of division of a figure on two parts. The decision for a square has a rational root, which confirms possibility of its division into two squares. The decision for a cube of rational roots has no. That means impossibility of its division into two cubes. It is established that the minimum quantity Q_{\min} into which the geometrical figure, described by the expression $V_n = xn$, can be divided, is defined by an inequality $Q_{\min} \geq n$.

Keywords: Pythagorean triples, system analysis, mathematical model, the graphical model, Fermat's Theorem

При решении задач преобразования геометрических фигур, таких как сложение и вычитание площадей квадратов, количественные результаты получают из алгебраических выражений, являющимися модельными отображениями этих фигур. При этом следует учитывать, что любая модель отображает лишь ограниченную совокупность свойств, присущих оригиналу [2]. Недостаточный учёт этого фактора может привести к ошибочной интерпретации полученного результата. Пусть, например, выражение

$$S_q = a^2 = 64 \tag{1}$$

обозначает площадь квадрата, длина стороны которого равна a . Можно ли разделить эту площадь пополам, получив целочисленное решение? Известно, что разделить квадрат на два квадрата одинаковой площади в натуральных числах невозможно. А что означает следующее выражение?

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} S_q = \frac{1}{2} a^2 = 32. \tag{2}$$

В данном случае значение S_{Δ} , обозначает площадь треугольника, образованного

делением квадрата на две равные части путём проведения диагонали, как это показано на рис. 1. Естественно, проводя длинную цепочку алгебраических преобразований можно не заметить такого качественного изменения исходной фигуры и в итоге получить некорректный результат. Из этого вытекает необходимость постоянного контроля адекватности получаемых алгебраических выражений описываемым геометрическим фигурам. Именно, такой подход был реализован в работе [3], где подробно рассмотрен процесс вычисления пифагоровых троек. Сами по себе триады чисел a, b, c , именуемые пифагоровыми тройками, были известны еще во времена Вавилона [1, 4]. Числа, входящие в пифагоровы тройки, связаны между собой соотношением

$$a^2 + b^2 = c^2, \tag{3}$$

означающим, что сумма площадей двух квадратов со сторонами a и b равна площади квадрата со стороной c . Пифагоровы эти тройки названы вследствие того, что Пифагор в своей знаменитой теореме связал эти три числа с катетами и гипотенузой прямоугольного треугольника.

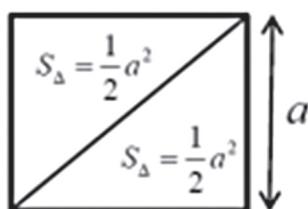


Рис. 1. Деление квадрата

Дополнительный интерес к пифагоровым тройкам был усилен известной теоремой Ферма, утверждающей, что уравнение (3), преобразованное к виду

$$a^n + b^n = c^n \quad (4)$$

не имеет решения при $n > 2$. Ферма сформулировал это утверждение так: «Невозможно для куба быть записанным в виде суммы двух кубов, или для четвертой степени быть записанной в виде суммы двух четвертых степеней, или, в общем, для любого числа, которое есть степень больше двух, быть записанной в виде суммы двух таких же степеней.» [5]. Ферма утверждал: – «Я нашел поистине удивительное доказательство

Так, для нечётных значений

$$a = 2n + 1, \quad b = 2n(n + 1), \quad c = 2n(n + 1) + 1, \quad 1 \leq n < \infty. \quad (5)$$

для чётных значений

$$a = 2n, \quad b = n^2 - 1, \quad c = n^2 + 1. \quad 2 \leq n < \infty. \quad (6)$$

Цель настоящей работы – завершить исследование свойств пифагоровых троек, а именно – показать связь этих троек с теоремой Пифагора, а затем применить такой же подход, как и в [3] к исследованию проблемы разделения куба.

А при чём здесь Пифагор?

До этого момента и в работе [3] и в предыдущем тексте настоящей работы сознательно не приводилось упоминание о треугольниках, чтобы подчеркнуть независимость проблемы разделения квадратов от проблем с углами треугольников. Как было сказано выше и, как показано в [3] задача получения пифагоровых троек, сводится к простой задаче разделения квадрата на две части, которая решается весьма просто безо всякой привязки к теореме Пифагора. В связи с этим и возникает резонный вопрос, а при чём здесь Пифагор? Мы не можем узнать, каким образом Пифагор пришел к своей знаменитой теореме, но один из возможных вариантов можно предположить.

этого предложения, но поля здесь слишком узки для того, чтобы вместить его» [4].

Далее исходя из текста цитаты из прекрасной книги Саймона Сингха: «Великая теорема Ферма стала величайшим вызовом математикам, и тот, кто сумел бы решить проблему Ферма, заслужил бы восторженное поклонение всего математического сообщества. За ее доказательство предлагались призы; процветало соперничество. У Великой теоремы Ферма богатая история, знавшая смерть и мошенничество. Она оказала определенное влияние на развитие математики», [4] становится понятным повышенный интерес к пифагоровым тройкам. Надо отметить – необоснованно завышенный. Дело в том, что лишенная ореола таинственности, навеянного теоремой Ферма, проблема вычисления пифагоровых троек на проверку оказалась весьма простой, чтобы не сказать примитивной.

Использованные в [3] методы системного анализа позволили получить простые расчётные формулы, позволяющие для любого заданного значения вычислить такие значения a и b , которые удовлетворяют соотношению (3).

Дело в том, что если три квадрата, вычисленные по соотношения (5) или (6) соединить углами так, как это показано на рис. 2, то внутри окажется пространство, являющееся ни чем иным, как прямоугольным треугольником. (Разрывы между углами оставлены для наглядности) В соответствии с этим, можно сформулировать теорему, которую можно назвать обратной теоремой Пифагора.

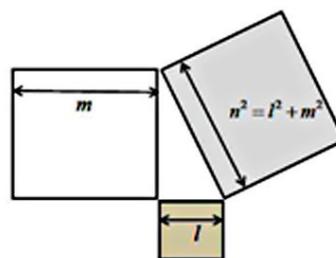


Рис. 2. Образование прямоугольного треугольника

Обратная теорема Пифагора. Любые три квадрата из триад, вычисленных по соотношениям (5), (6), соединенные своими углами, образуют замкнутое пространство, являющееся прямоугольным треугольником.

Доказательство: Из тригонометрии известно, что в прямоугольном треугольнике квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов. Для треугольника, образованного соединением углов трех квадратов, связанных соотношением $l^2 + m^2 = n^2$, квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов. Значит, этот треугольник прямоугольный по построению.

Теперь, разобравшись порядком с квадратами, резонно испробовать эффективность предложенного подхода на кубе. Иными словами – А не замахнуться ли нам на самого великого Ферма? (Перефраз из к.ф «Берегись автомобиля»)

К теореме Ферма нас ведёт проблема разделения куба на два куба. Профессиональным математикам и любителям, занимавшимся теоремой Ферма, знают, что стоит доказать несправедливость теоремы хотя бы для одного показателя степени не равного двум, и теорема будет опровергнута. Мы не собираемся опровергать великую теорему. И не собираемся её доказывать. Теорема верна, даже более чем верна, и не потому только, что считается доказанной [4]. Просто утверждение, в ней содержащееся, является достаточно тривиальным.

Попробуем показать это на проблеме разделения куба. Итак, наша цель показать, что решения уравнения

$$a^3 + b^3 = c^3 \quad (7)$$

не существует просто в силу присущих кубу системных свойств, как объекту трёхмерного мира,

Для начала познакомимся с двумя цитатами из книги Сингха: «Во всех моих беседах с математиками меня поражала необычайная точность, с которой они выражали свои мысли» И далее – «...математики просто терпеть не могут высказывать ложные утверждения. Разумеется, они используют интуицию и не чужды вдохновения, но формальные суждения должны быть логически безупречными» [4].

Прекрасная, весьма похвальная привычка, достойная постоянного подражания. Но как это согласовать с таким высказыванием: «Вместо уравнения Пифагора

$x^2 + y^2 = z^2$ Ферма занялся рассмотрением его варианта $x^3 + y^3 = z^3$. Ферма всего лишь изменил степень на единицу, но его новое уравнение, насколько можно было судить, вообще не допускало никаких решений в целых числах. «Методом проб и ошибок» нетрудно было обнаружить, что найти два куба, которые бы в сумме давали еще один куб, не так-то просто. Неужели произведенное Ферма незначительное изменение действительно превращает уравнение, допускающее бесконечно много решений в целых числах, в уравнение, не имеющее ни одного решения в целых числах?» (Фрагменты выделены нами).

Да уж, ничего себе необычайная точность и логически безупречные суждения. Разве можно считать переход от двухмерного, плоского пространства, в котором рассматривается проблема разделения квадратов к трёхмерному объёмному пространству, в котором надлежит рассматривать проблему разделения кубов незначительным изменением? И, не обращая внимания на кардинальное изменение условий задачи, пытаться бездумно перенести закономерности двухмерного пространства в трёхмерное?

Ну да, изменил степень лишь на единицу. Вот уж действительно по Маяковскому: – «Единица – вздор, единица – ноль, ...» В. Маяковский. «Владимир Ильич Ленин». Но, то была поэзия, а здесь – математика. Вопрос – какая математика? Абстрактная, которая не интересуется, какие объекты она описывает, и описывает ли вообще? А вместо какого-то «скучного моделирования» занимается просто манипуляциями с числами. Или всё-таки существует специфика, которую следует учитывать при анализе геометрических фигур. Трудно сказать, задумывался ли об этом Ферма. Во всяком случае, его формулировка теоремы: «Невозможно для куба быть записанным в виде суммы двух кубов, или для четвертой степени быть записанной в виде суммы двух четвертых степеней, или, в общем, для любого числа, которое есть степень больше двух, быть записанной в виде суммы двух таких же степеней. (лат.)» ([5]) – звучит так, как будто речь идёт просто о показателе степени $n=3$, именуемой кубом, а не о геометрической фигуре.

Однако поскольку исходная проблема возникла из области геометрии, а именно из теоремы Пифагора, то в настоящей работе,

так же как и в предшествующей [3], рассматриваются не проблемы теории чисел, а исключительно проблемы анализа геометрических фигур.

В таком случае изменение показателя степени на единицу имеет кардинальное значение. При $n=1$ имеем одномерное линейное пространство. Здесь мы от любого отрезка можем за один акт деления отделять (или присоединять) одну часть произвольной длины. При $n=2$ переходим в двумерное пространство. Здесь размеры квадратов при разделении или сложении изменяются в двух измерениях – в длину и высоту. И это накладывает дополнительные ограничения. Квадрат, как оказывается, можно разделить на два квадрата. Но, не любой квадрат, и не на произвольные части, а лишь при соблюдении присущих двумерному пространству закономерностей.

А при $n=3$ переходим в трёхмерное пространство. Здесь геометрические фигуры трансформируются в трёх измерениях – длина, ширина и высота. И это обстоятельство накладывает дополнительные ограничения на возможности разделения и сложения геометрических фигур. Рассмотрим это подробнее на примере куба, используя тот же подход, который использовался в [3] при анализе квадратов. Эта процедура иллюстрируется на рис.3.

Как видно из рис. 3, при выделении квадрата $(c-1)^2$ из квадрата со стороной c^2 остаток составляют две полосы единичных квадратов: справа отделяется полоса из c единичных квадратов и сверху ещё полоса из $c-1$ единичных квадратов. Очевидно, что для того, чтобы сформировать из этого остатка квадрат, со стороной $c-2$ требуется выполнение равенства

$$2n-1=(n-2)^2=n^2-4n+4. \quad (8)$$

$$n^3-(n-1)^3=n^2+n(n-1)+(n-1)^2=3n(n-1)+1. \quad (10)$$

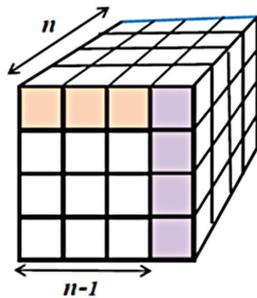


Рис. 4. Разделение куба

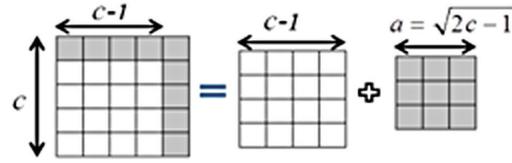


Рис. 3. Графическая модель разложения квадрата

Из равенства (8) следует квадратное уравнение вида

$$c^2-6c+5=0, \quad (9)$$

решениями которого являются два значения: $c_1=1$; $c_2=5$. Это ещё один вариант доказательства давно известной истины существования квадратов, площадь которых равна сумме площадей двух квадратов. И, дополнительно, один из вариантов нахождения таких квадратов. В данном случае полученное решение соответствует известной пифагоровой тройке 3, 4, 5.

Теперь перейдём к анализу куба. Здесь требуется одно дополнительное уточнение. Если при анализе квадратов единицей площади являлся единичный квадрат, то при анализе проблем разделения и суммирования объемов кубов неделимой единицей объема является единичный куб, объём которого равен 1.

Процедуру разделения куба иллюстрируется на рис. 4, из которого видно, что при выделении куба с ребром, равным $n-1$ из куба с ребром, равным n , образуется остаток, состоящий из трёх частей. Справа отделяется квадратная пластина, содержащая n^2 единичных кубов, сверху снимается пластина, содержащая $n(n-1)$ единичных кубов, и сзади снимается квадратная пластина, содержащая $(n-1)^2$ единичных кубов. Таким образом, остаток определяется выражением

Соответственно, для того, чтобы из этого остатка можно было сформировать куб с ребром, равным $n-2$, требуется выполнение равенства

$$3n(n-1)+1=(n-2)^3. \quad (11)$$

Из (11) следует кубическое уравнение

$$n^3-9n^2+15n-9=0, \quad (12)$$

в решении которого содержится один действительный, но не целочисленный, и два комплексно-сопряжённых корня:

$$n_1 = 7,054558822642167; \quad n_2 = 0,973 + j0,574; \quad n_3 = 0,973 - j0,574.$$

Куб	Длина ребра	Объём	Сумма $l^3 + k^3$
n^3	7,054559	351,0828	351,0828
l^3	6,054559	221,9461	
m^3	5,054559	129,0828	

Тот факт, что уравнение не имеет целочисленного решения, означает, что объем куба можно разделить на два куба, но не в натуральных числах. В итоге была получена своеобразная «тройка Ферма», о которой он мечтал (Ферма мечтал получить тройку чисел для степени с показателем $n > 2$ [4]): 5,054559, 6,054559, 7, 054559. Выписывание семи знаков после запятой здесь необходимо для того, чтобы точно выполнялось равенство суммы двух полученных кубов величине исходного куба. В табл. 1 приведены сводные данные по этим кубам.

$$k^3 + k^3 + m^3 + l^3 = n^3 \quad \text{или} \quad 1^3 + 1^3 + 5^3 + 6^3 = 7^3 \quad (13)$$

В данном случае куб с ребром, равным 7, поддавался разделению на четыре куба. Однако, это количество не является при разделении кубов минимальным. Дальнейший анализ показывает, что любой куб может быть разделён на несколько кубов, но, для решений в натуральных числах число этих кубов будет всегда больше двух. Минимальное число, на которое можно разделить куб, равно трём. При экспериментальной про-

Чтобы посмотреть, а что получается при попытке найти решение в натуральных числах, можно взять тройку натуральных чисел, ближайших по значению к числам, приведенным в таблице. Перейдя к рациональным числам 5, 6, 7, получим тройку кубов 125, 216, 343. Однако в этой тройке сумма двух первых кубов меньше величины третьего куба на два единичных куба: $125+216=341$. Добавив в левую часть два единичных куба с ребром $k=1$, получаем следующее соотношение:

верке этого утверждения установлено, что в диапазоне первых трёх сотен числового ряда достаточно регулярно наблюдается соблюдение следующего равенства:

$$k^3 + l^3 + m^3 = n^3 \quad (14)$$

В итоге, в указанном диапазоне натуральных чисел было выявлено 10 таких четвёрок чисел k, l, m, n , которые в дальнейшем будем называть квадратами.

Первая сотня
3, 4, 5, 6
1, 6, 8, 9
3, 10, 18, 19
2, 17, 40, 41

Вторая сотня
12, 31, 102, 103
3, 34, 114, 115

Третья сотня
4, 51, 213, 214
4, 57, 248, 249
9, 58, 255, 256
15, 64, 297, 298

Достаточная регулярность появления квадриг даёт веские основания считать этот факт системным свойством трехмерных структур. А далее, на основании этого факта и с учётом системных свойств, выявленных при анализе проблемы разделения двухмерных фигур – квадратов, можно сформулировать следующий постулат:

Минимальное количество частей Q_{\min} , на которое может быть разделена геометрическая фигура, описываемая выражением $V_n = x^n$, определяется неравенством $Q_{\min} \geq n$. Квадрат, со стороной z может быть разделён минимум на два квадрата со сторонами x, y . Эти числа связаны соотношением $x^2 + y^2 = z^2$. Куб с ребром n может быть разделён минимум на три куба

с рёбрами k, l, m , которые связаны соотношением $k^3 + l^3 + m^3 = n^3$. Соответственно, объект, описываемый четвёртой степенью, может быть разделён минимум на четыре части. и т.д.

Условия, при которых обеспечивается справедливость соотношений типа (7), (14) и подобных им, специфичны для каждого класса геометрических фигур и зависят, в первую очередь, от размерности пространства, в котором реализована фигура. Попытки поиска закономерностей присущих пространству с определённой размерностью при анализе фигур другой размерности противоречат системной сущности геометрических объектов и потому безрезультатны. При этом безрезультатность по-

добных попыток в дополнительных математических доказательствах не нуждается.

Заключение

В работе был продолжен системный анализ проблем разделения квадрата на два целых квадрата и вычисления пифагоровых троек. Дополнительно к известному доказательству формирования таких троек на основе теоремы Пифагора, выведено уравнение (9), математически доказывающее возможность разделения квадрата на два квадрата, поскольку решение этого уравнения содержит два целочисленных корня.

Установлено, что при соединении углов трёх квадратов, одного исходного и двух производных, образующихся при делении, внутри соединённых квадратов образуется пространство, являющееся прямоугольным треугольником. Возможно, что формулировку этого утверждения можно считать обратной теоремой Пифагора.

Рассмотрена проблема разделения куба на два куба, по аналогии с известной процедурой разделения квадратов, как это сформулировано в теореме Ферма. Выведено кубическое уравнение (12), характер корней которого является критерием возможности реализации такой процедуры. Решение этого уравнения содержит один действительный корень оказавшийся не целочисленным, и два – комплексно-сопряженных. Отсутствие рационального корня доказывает, что разделить куб на два куба невозможно. Этот факт можно было бы считать одним из доказательств теоремы

Ферма, однако, теорема здесь не причём. Просто куб, в силу присущих ему, как объекту трехмерного пространства, системных свойств, делится не на две, а на три части. При этом в результате деления образуются четыре куба – один исходный и три – производных. Ребра этих кубов k , l , m , n образуют четверку, названную квадригой, все члены которой связаны между соотношением $k^3 + l^3 + m^3 = n^3$.

Анализ, проведенный в диапазоне первых трёх сотен числового ряда, выявил наличие десяти таких квадриг. Установить закономерность их появления от величины n пока не удалось. Однако сам факт, что минимальное количество кубов, на которые можно разделить исходный куб, равно трём, можно считать доказанным. Отсюда следует, что распространение области действия теоремы Ферма на показатель степени $n = 3$ является избыточным. Куб просто не делится на два целых куба столь же естественно, как например, девять не делится на два. И этот факт не требует никаких математических доказательств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аносов Д.Н. Взгляд на математику и нечто из неё. М.: МЦНМО, 2003. – 24 с.: ил.
2. Бескровный И.М. Системный анализ и информационные технологии в организациях: Учебное пособие. – М.: РУДН, 2012, – 392 с.
3. Бескровный И.М.. Системный анализ пифагоровых троек // Научно-технические технологии.
4. Саймон Сингх. Великая теорема Ферма. – http://royallib.ru/book/singh_saymon/velikaya_teorema_ferma.html.
5. Ферма П. Исследования по теории чисел и диофантову анализу. – М.: Наука, 1992.

УДК 303.732.4; 514.7

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ ПИФАГОРОВЫХ ТРОЕК

Бескровный И.М.

ОАО «Ангстрем-М», Москва, Зеленоград, e-mail: beskrovny2000@mail.ru

Целью работы является разработка методов и алгоритмов вычисления пифагоровых троек вида $a^2+b^2=c^2$. Процесс анализа осуществлялся в соответствии с принципами системного подхода. Наряду с математическими моделями, использованы графические модели, отображающие каждый член пифагоровой тройки в виде составных квадратов, каждый из которых состоит из совокупности единичных квадратов. Установлено, что бесконечное множество пифагоровых троек содержит бесконечное число подмножеств, различающихся по признаку разности величин $b-c$. Предложен алгоритм формирования пифагоровых троек с любым наперед заданным значением этой разности. Показано, что пифагоровы тройки существуют для любого значения $3 \leq a < \infty$ и могут быть вычислены на основе предложенного алгоритма. В качестве примера приведены результаты вычислений для значений $c-b=1, c-b=2, c-b=8$.

Ключевые слова: Пифагоровы тройки, системный анализ, математическая модель, графическая модель

SYSTEM ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF PYTHAGOREAN TRIPLES

Beskrovnyy I.M.

Angstrom-M OJS, Moscow, e-mail: beskrovny2000@mail.ru

The purpose of work is development of methods and algorithms of calculation of Pythagorean triples of type $a^2+b^2=c^2$. Process of the analysis was carried out according to the principles of system approach. Along with mathematical models, the graphic model of system was used. On this model each member of the Pythagorean triples was presented as the compound square consisting of set of single squares. It is established that the infinite set Pythagorean triples contains infinite number of subsets which differ from each other with value of a difference of sizes $b-c$. The algorithm of formation of Pythagorean triples with any beforehand a preset value of this difference is offered. It is shown that Pythagorean triples exist for any value $a, 3 \leq a < \infty$ and can be calculated on the basis of the offered algorithm. Results of calculations are given as an example for values $c-b=1, c-b=2, c-b=8$.

Keywords: Pythagorean triples, system analysis, mathematical model, the graphical model

Пифагоровы тройки представляют собой когорту из трех целых чисел, удовлетворяющих соотношению Пифагора $x^2 + y^2 = z^2$. Вообще говоря, это частный случай Диофантовых уравнений, а именно, системы уравнений, в которых число неизвестных больше, чем число уравнений [5]. Известны они давно, еще со времён Вавилона, то есть, задолго до Пифагора. А название они приобрели после того, как Пифагор на их основе доказал свою знаменитую теорему. Однако, как следует из анализа многочисленных источников, в которых вопрос о пифагоровых тройках в той или иной мере затрагивается [1, 2, 4, 5] до сих пор не раскрыт в полной мере вопрос о существующих классах этих троек и о возможных способах их формирования.

Так в книге Саймона Сингха [4] говорится: – «Ученики и последователи Пифагора ... поведали миру секрет нахождения так называемых пифагоровых троек». Однако, в след за этим читаем: – «Пифагорейцы мечтали найти и другие пифагорейские тройки, другие квадраты, из которых можно было бы сложить третий квадрат больших размеров. ... По мере того, как числа возрастают, пифагоровы тройки встречаются все реже, и находить их становится все труднее и труднее. Пифагорейцы изобрели метод

отыскания таких троек и, пользуясь им, доказали, что пифагоровых троек существует бесконечно много».

В приведенной цитате выделены слова вызывающие недоумение. Почему «Пифагорейцы мечтали найти...», если они «изобрели метод отыскания таких троек...», и почему для больших чисел «находить их становится все труднее и труднее...».

В работе известного математика Д.В. Аносова [1] искомый ответ, вроде бы, приведен. – «Имеются такие тройки натуральных (т. е. целых положительных) чисел x, y, z , что

$$x^2 + y^2 = z^2. \quad (1)$$

...можно ли найти все решения уравнения $x^2+y^2=z^2$ в натуральных числах? ... Да. Ответ таков: каждое такое решение можно представить в виде

$$x=l(m^2-n^2), y=2lmn, z=l(m^2+n^2), \quad (2),$$

где l, m, n – натуральные числа, причем $m > n$, или в аналогичном виде, в котором x и y меняются местами. Можно чуть короче сказать, что x, y, z из (2) со всевозможными натуральными l и $m > n$ суть все возможные решения (1) с точностью до перестановки x и y . Например, тройка (3, 4, 5) получается при $l=1, m=2, n=1$ По-видимому, вави-

лоняне знали этот ответ, но как они к нему пришли – неизвестно».

Обычно математики известны своей требовательностью к строгости своих формулировок. Но, в данной цитате такой строгости не наблюдается. Так что именно: найти или представить? Очевидно, что это совершенно разные вещи. Вот ниже приводится строчка «свежеиспеченных» троек (получены методом, описываемым ниже):

12, 35, 37; 20, 21, 29; 44, 117, 125; 103, 5304, 5305.

Не вызывает сомнений, что каждую из этих троек можно представить в виде соотношения (2) и вычислить после этого значения l , m , n . Но, это уже после того, как все значения троек были найдены. А как быть до того?

Нельзя исключить того, что ответы на эти вопросы давно известны. Но их почему-то найти, пока не удалось. Таким образом, целью настоящей работы является системный анализ совокупности известных примеров пифагоровых троек, поиск системобразующих отношений в различных группах троек и выявление системных признаков характерных для этих групп и, затем – разработка простых эффективных алгоритмов расчёта троек с предварительно заданной конфигурацией. Под конфигурацией будем понимать отношения между величинами, входящими в состав тройки.

В качестве инструментария будет использован математический аппарат на уровне, не выходящем за рамки математики, преподаваемой в средней школе, и системный анализ на базе методов, изложенных в [3].

Построение модели

С позиций системного анализа любая пифагорова тройка является системой, образованной объектами, которыми являются три числа и их свойствами. Их совокупность, в которой объекты поставлены в определённые отношения и образуют систему, обладающую новыми свойствами, не присущими ни отдельным объектам, ни любой иной их совокупности, где объекты поставлены в иные отношения.

В уравнении (1), объектами системы являются натуральные числа, связанные простыми алгебраическими соотношениями: слева от знака равенства стоит сумма двух чисел, возведенных в степень 2, справа – третье число, также возведённое в степень 2. Отдельно взятые числа, слева

от равенства, будучи возведены в степень 2, не накладывают никаких ограничений на операцию их суммирования – результирующая сумма может быть какой угодно. Но, знак равенства, поставленный после операции суммирования, налагает на значение этой суммы системное ограничение: сумма должна быть таким числом, чтобы результатом операции извлечения корня квадратного явилось натуральное число. А это условие выполняется не для любых чисел, подставляемых в левую часть равенства. Таким образом, знак равенства, поставленный между двумя членами уравнения и третьим, превращает тройку членов в систему. Новым свойством этой системы является введение ограничений на значения исходных чисел.

Исходя из формы записи, пифагорова тройка может рассматриваться как математическая модель геометрической системы, состоящей из трёх квадратов, связанных между собой отношениями суммирования и равенства, как это показано на рис. 1. Рис. 1 является графической моделью рассматриваемой системы, а вербальной её моделью является утверждение:

Площадь квадрата с длиной стороны c может быть разделена без остатка на два квадрата с длинами сторон a и b , таких, что сумма их площадей равна площади исходного квадрата, то есть, все три величины a , b , и c , связаны соотношением

$$a^2 + b^2 = c^2. \quad (3)$$

Графическая модель разложения квадрата

В рамках канонов системного анализа известно, что если математическая модель адекватно отображает свойства некоей геометрической системы, то анализ свойств самой этой системы позволяет уточнить свойства её математической модели, глубже их познать, уточнить, и, при необходимости, усовершенствовать. Этому пути мы и будем придерживаться.

Уточним, что согласно принципам системного анализа операции сложения и вычитания могут производиться только над составными объектами, то есть, объектами, составленными из совокупности элементарных объектов. Поэтому, будем воспринимать любой квадрат, как фигуру, составленную из совокупности элементарных, или единичных квадратов. Тогда условие получения решения в натуральных числах

эквивалентно принятия условия, что единичный квадрат неделим.

Единичным квадратом будем называть квадрат, у которого длина каждой из сторон равна единице. То есть, при $x = 1$ площадь единичного квадрата определяет следующее выражение.

$$x^2 = 1^2 = 1 \quad (4)$$

Количественным параметром квадрата является его площадь, определяемая количеством единичных квадратов, которые можно разместить на данной площади. Для квадрата с произвольным значением x , выражение x^2 определяет величину площади квадрата, образованного отрезками длиной в x единичных отрезков. На площади этого квадрата могут быть размещены x^2 единичных квадратов.

Приведенные определения могут быть восприняты как тривиальные и очевидные, но это не так. Д.Н. Аносов [1] определяет понятие площадь по-другому: – «... площадь фигуры равна сумме площадей ее частей. Почему мы уверены, что это так? ... Мы представляем себе фигуру сделанной из какого-то однородного материала, тогда ее площадь пропорциональна количеству содержащегося в ней вещества – ее массе. Далее подразумевается, что когда мы разделяем тело на несколько частей, сумма их масс равна массе исходного тела. Это понятно, потому что все состоит из атомов и молекул, и раз их число не изменилось, то не изменилась и их суммарная масса... Ведь, собственно, масса куска однородного материала пропорциональна его объему; значит, надо знать, что объем «листа», имеющего форму данной фигуры, пропорционален ее площади. Словом, ... что площадь фигуры равна сумме площадей ее частей, в геометрии надо это доказывать. ... В учебнике Киселева существование площади, имеющей то самое свойство, которое мы сейчас обсуждаем, честно постулировалось как некое допущение, причем говорилось, что это на самом деле верно, но мы этого доказывать не будем. Так что и теорема Пифагора, если ее доказывать с площадями, в чисто логическом отношении останется не совсем доказанной».

Нам представляется, что введенные выше определения единичного квадрата снимают указанную Д.Н. Аносовым неопределенность. Ведь если величина площади квадрата и прямоугольника опреде-

ляется суммой заполняющих их единичных квадратов, то при разбиении прямоугольника на произвольные, прилегающие друг к другу части площадь прямоугольника естественно равна сумме всех его частей.

Более того, введенные определения снимают неопределенность использования понятий «разделить» и «сложить» применительно к абстрактным геометрическим фигурам. Действительно, что значит разделить прямоугольник или любую другую плоскую фигуру на части? Если это лист бумаги, то его можно разрезать ножницами. Если земельный участок – поставить забор. Комнату – поставить перегородку. А если это нарисованный квадрат? Провести разделительную линию и заявить, что квадрат разделён? Но, ведь говорил Д.И. Менделеев: «...Заявить можно всё, а ты – поди, демонстрируй!»

А при использовании предложенных определений «Разделить фигуру» означает разделить количество заполняющих эту фигуру единичных квадратов на две (или более) частей. Количество единичных квадратов в каждой из таких частей определяет её площадь. Конфигурацию этим частям можно придавать произвольную, но при этом сумма их площадей всегда будет равна площади исходной фигуры. Возможно, специалисты-математики сочтут эти рассуждения некорректными, тогда примем их за допущение. Если уж в учебнике Киселева приемлемы такие допущения, то и нам подобным приёмом грех не воспользоваться.

Первым этапом системного анализа является выявление проблемной ситуации. В начале этого этапа было просмотрено несколько сот пифагоровых троек, найденных в различных источниках. При этом внимание привлекло то обстоятельство, что всю совокупность пифагоровых троек, упоминающихся в публикациях, можно разделить на несколько групп, различающихся по конфигурации. Признаком специфичной конфигурации будем считать разность длин сторон исходного и вычитаемого квадратов, то есть, величину $c-b$. Например, в публикациях довольно часто в качестве примера демонстрируются тройки, удовлетворяющие условию $c-b=1$ [1, 4, 6]. Примем, что вся совокупность таких пифагоровых троек образует множество, которое будем называть «Класс $c-1$ », и проведём анализ свойств этого класса.

Рассмотрим три квадрата, представленные на рисунке, где c – длина стороны

уменьшаемого квадрата, b – длина стороны вычитаемого квадрата и a – длина стороны квадрата, образованного из их разности. На рис. 1 видно, что при вычитании из площади уменьшаемого квадрата площади вычитаемого квадрата в остатке остаются две полосы единичных квадратов:

$$c^2 - (c-1)^2 = c + (c-1) = 2c-1. \quad (5)$$

Для того чтобы из этого остатка можно было образовать квадрат, необходимо выполнение условия

$$a = \sqrt{2c-1}. \quad (6)$$

Эти соотношения позволяют определить значения всех членов тройки по единственному заданному числу c . Наименьшим числом c , удовлетворяющим соотношению (6), является число $c = 5$. Итак, были определены длины всех трёх сторон квадратов, удовлетворяющих соотношению (1). Напомним, что значение b стороны среднего квадрата

$$b = c-1 \quad (7)$$

было выбрано, когда мы решили образовать средний квадрат путем уменьшения стороны исходного квадрата на единицу. Тогда из соотношений (5), (6), (7) получаем следующее соотношение:

$$c^2 = (c-1)^2 + (2c-1) = b^2 + a^2, \quad (8)$$

из которого следует, что выбранное значение $c = 5$ однозначно задаёт значения $b = 4$, $a = 3$.

$$a_i = 99; \quad b_i = 4900; \quad c_i = 4901; \quad a_{i+1} = 101; \quad b_{i+1} = 5010; \quad c_{i+1} = 5011;$$

и для второй пары

$$a_j = 999; \quad b_j = 499\,000; \quad c_j = 499\,001; \quad a_{j+1} = 1001; \quad b_{j+1} = 50\,601\,000; \quad c_{j+1} = 50\,601\,001;$$

Так что «всё реже встречаются» не сами тройки, а интервалы между соседними значениями c увеличиваются. Сами же пифагоровы тройки, как это будет показано ниже, существуют для любого натурального числа.

Теперь рассмотрим, тройки следующего класса – «Класс $c-2$ ». Как видно из рис. 1, при вычитании из квадрата со стороной c квадрата со стороной $(c-2)$, образуется остаток в виде суммы двух единичных полос. Величина этой суммы определяется уравнением:

$$c^2 - (c-2)^2 = 2c + 2(c-2) = 4(c-1) \quad (10)$$

В итоге, получены соотношения, позволяющие представить любую пифагорову тройку класса « $c-1$ » в таком виде, где значения все трёх членов определяются по одному задаваемому параметру – значению c :

$$a = \sqrt{2c-1}, \quad b = c-1, \quad c. \quad (9)$$

Добавим, что число 5 в приведенном выше примере появилось как минимальное из всех возможных значений c , при которых уравнение (6) имеет решение в натуральных числах. Следующее число, обладающее таким же свойством, это 13, затем 25, далее 41, 61, 85 и т. д. Как видно, в этом ряду чисел интервалы между соседними числами интенсивно возрастают. Так, например, после допустимого значения $c_i = 4901$, следующее допустимое значение $c_{i+1} = 5011$, а после $c_j = 499\,001$, следующее допустимое значение $c_{j+1} = 50\,601\,001$, то есть, допустимое значение отстоит от предыдущего более чем на пятьдесят миллионов!

Теперь понятно, откуда появилась эта фраза в книге [4]: – «По мере того, как числа возрастают, пифагоровы тройки встречаются все реже, и находить их становится все труднее и труднее...». Однако это утверждение не является верным. Стоит только взглянуть на пифагоровы тройки, соответствующие приведенным выше парам соседних значений c , как сразу бросается в глаза одна особенность – в обеих парах, в которых значения c разнесены на столь большие интервалы, значения a оказываются соседними нечетными числами. Действительно, для первой пары имеем

Из уравнения (10) получаем соотношение, определяющее любую из бесконечного множества троек класс « $c-2$ »:

$$a = 2\sqrt{c-1}, \quad b = c-2, \quad c. \quad (11)$$

Условием существования решения уравнения (11) в натуральных числах является любое такого значения c , при котором a является натуральным числом. Минимальное значение c , при котором решение существует, составляет $c = 5$. Тогда «стартовая» тройка для этого класса троек определяется набором $a = 4$, $b = 3$, $c = 5$. То есть, вновь, образуется классическая тройка 3, 4, 5,

только теперь площадь вычитаемого квадрата меньше площади остатка.

И наконец, проведём анализ троек класса «с-8». Для этого класса троек при вычитании площади квадрата $(c-8)^2$ из площади c^2 исходного квадрата, получаем:

$$c^2 - (c-8)^2 = 8c + 8(c-8) = 16(c-4). \quad (12)$$

Тогда, из уравнения (12) следует:

$$a = 4\sqrt{c-4}, \quad b = c-8, \quad c. \quad (13)$$

Минимальное значение c , при котором решение существует: это $c = 13$. Пифагорова тройка при этом значении примет вид 12, 5, 13. В этом случае опять площадь вычитаемого квадрата меньше площади остатка. А переставив обозначения местами, получим тройку 5, 12, 13, которая по своей конфигурации относится к классу «с-1». Похоже, что дальнейший анализ других

возможных конфигураций ничего принципиально нового не открывает.

Вывод расчётных соотношений

В предыдущем разделе логика анализа развивалась в соответствии с требованиями системного анализа по четырём из пяти основных его этапов: анализ проблемной ситуации, формирование целей, формирование функций и формирование структуры. Теперь пора переходить к заключительному, пятому этапу – проверка реализуемости, то есть, проверка того, в какой мере поставленные цели достигнуты. [3].

Ниже показана табл. 1, в которой приведены значения пифагоровых троек, относящихся к классу «с-1». Большинство троек встречаются в различных публикациях [1, 2, 5, 6], но тройки для значений a , равных 999, 1001 в известных публикациях не встречались.

Таблица 1

Пифагоровы тройки класса «с-1»

a	b	c	a	b	c
3	4	5	15	112	113
5	12	13	17	144	145
7	24	25	99	4900	4901
9	40	41	101	5010	5011
11	60	61	999	499 000	499001
13	84	85	1001	50 601 000	50 601 001

Можно проверить, что все тройки удовлетворяют соотношению (3). Таким образом, одна из поставленных целей достигнута. Полученные в предыдущем разделе соотношения (9), (11), (13) позволяют формировать бесконечное множество троек, задавая единственный параметр c – сторону уменьшаемого квадрата. Это, конечно, более конструктивный вариант, чем соотношение (2), для использования которого следует задать произвольно три числа l, m, n , имеющих любое значение, затем искать решение, зная только, что в итоге, непременно будет получена пифагорова тройка, а какая – заранее неизвестно. В нашем случае заранее известна конфигурация формируемой тройки и нужно задавать только один параметр. Зато, увы, не для каждого значения этого параметра решение существует. И надо заранее знать его

допустимые значения. Так что полученный результат хорош, но, далёк от идеала. Желательно получить такое решение, чтобы пифагоровы тройки можно было вычислять для любого произвольно заданного натурального числа. С этой целью вернемся к четвёртому этапу – формирование структуры полученных математических соотношений.

Поскольку выбор величины c в качестве базового параметра для определения остальных членов тройки оказался неудобным, следует испробовать другой вариант. Как видно из табл. 1, выбор параметра a в качестве базового представляется предпочтительным, поскольку значения этого параметра идут подряд в ряду нечётных натуральных чисел. После несложных преобразований приводим соотношения (9) к более конструктивному виду:

$$a = 2n + 1, \quad b = \frac{a^2 - 1}{2}, \quad c = b + 1, \quad 1 \leq n < \infty. \quad (14)$$

$$a = 2n + 1, \quad b = 2n(n + 1), \quad c = 2n(n + 1) + 1, \quad 1 \leq n < \infty. \quad (15)$$

Соотношения (14) позволяют найти пифагорову тройку для любого наперед заданного нечётного значения a . При этом простота выражения для b позволяет производить вычисления даже без калькулятора. Действительно, выбрав, к примеру, число 13, получаем:

$$a = 13, \quad b = \frac{169 - 1}{2} = 84, \quad c = 84 + 1 = 85. \quad (16)$$

А для числа 99 соответственно получаем:

$$a = 99, \quad b = \frac{99 - 1}{2}(99 + 1) = 4900, \quad c = 4901. \quad (17)$$

Соотношения (15) позволяют получать значения всех трёх членов пифагоровой тройки для любого заданного n , начиная с $n = 1$.

Теперь рассмотрим пифагоровы тройки класса « $c - 2$ ». В табл. 2 приведены для примера десять таких троек. Причем, в известных публикациях были найдены только три пары троек – 8, 15, 17; 12, 35, 37; и 16, 63, 65. Этого оказалось достаточно, чтобы определить закономерности, по которым они формируются. Остальные семь были найдены из выведенных ранее соотношений (11). Для удобства вычисления эти соотношения были преобразованы так, чтобы все параметры выражались через величину a . Из (11) с очевидностью следует, что все тройки для класса « $c - 2$ » удовлетворяют следующим соотношениям:

$$a = 2n, \quad b = \frac{a^2}{4} - 1, \quad c = b + 2, \quad 2 \leq n < \infty. \quad (18)$$

$$a = 2n, \quad b = n^2 - 1, \quad c = n^2 + 1. \quad (19)$$

Таблица 2

Пифагоровы тройки класса « $c - 2$ »

a	b	c	a	b	c
4	3	5	14	48	50
6	8	10	16	63	65
8	15	17	18	80	82
10	24	26	20	99	101
12	35	37	22	120	122

Как видно из табл. 2, всё бесконечное множество троек класса « $c - 2$ » можно разделить на два подкласса. Для троек, у которых значение a делится на 4 без остатка, значения b и c – нечётные. Такие тройки, у которых НОД = 1, называют примитивными [2, 4]. Для троек, у которых значения a не делится на 4 в целых числах, все три члена тройки a, b, c – чётные.

Теперь перейдём к рассмотрению результатов анализа третьего из выделенных классов – класса « $c - 8$ ». Расчётные соотношения для этого класса, полученные из (13), имеют вид:

$$a = 4n, \quad b = \frac{a^2}{16} - 4, \quad c = b + 8, \quad 3 \leq n < \infty. \quad (20)$$

$$a = 4n, \quad b = n^2 - 4, \quad c = n^2 - 4, \quad 3 \leq n < \infty. \quad (21)$$

Соотношения (20), (21) по сути, идентичны. Различие только в выборе последовательности действий. Либо, в соответствии с (20) выбирается желательное значение a (в данном случае требуется, чтобы это значение делилось на 4), затем, определяются величины b и c . Либо, выбирается произвольное число, и затем, из соотношений (21)

определяются все три члена пифагоровой тройки. В табл. 3 приведен ряд пифагоровых троек, вычисленных указанным способом. Однако, вычислять значения пифагоровых троек можно ещё проще. Если известно хоть одно значение $a_i, b_i, c_i = b_i + 8$, то все последующие значения определяются очень просто по следующим соотношениям:

$$a_{i+1} = a_i + 4, \quad b_{i+1} = b_i + \frac{a_i}{2} - 1, \quad c_i = b_i + 8 \tag{22}$$

Таблица 3

Пифагоровы тройки класса «с-8»

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
12	5	13	32	60	68
16	12	20	36	77	85
20	21	29	40	96	104
24	32	40	44	117	125
28	45	53	48	140	148

Справедливость соотношения (22) для всех $0 \leq i < \infty$ может быть проверена как по тройкам из табл. 2, так и по другим источникам. В качестве примера, в табл. 4 курсивом выделены тройки из обширной таблицы пифагоровых троек (10000 троек), вычисленных на основе компьютерной программы [5] по соотношению (2) [6] и жирным шрифтом – тройки, вычисленные по соотношения (20). Эти значения в указанной таблице отсутствовали.

Таблица 4

Пифагоровы тройки класса «с-8»

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
<i>148</i>	<i>1365</i>	<i>1373</i>	196	2397	2405
152	1440	1448	200	2496	2504
<i>156</i>	<i>1517</i>	<i>1525</i>	204	2597	2605
160	1596	1596	208	2700	2708
<i>164</i>	<i>1677</i>	<i>1677</i>	212	2805	2813
168	1760	1768	216	2912	2920

Соответственно, для троек вида $a_i, b_i, c_i = b_i + 1$ могут использоваться соотношения:

$$a_{i+1} = a_i + 2, \quad b_{i+1} = b_i + 2a_i - 2, \quad c_{i+1} = b_{i+1} \tag{23}$$

И для троек вида «<besk33.wmf>», имеем соотношение:

$$a_{i+1} = a_i + 2, \quad b_{i+1} = b_i + a_{i+1} - 1, \quad c_{i+1} = b_{i+1} + 1 \tag{24}$$

Следует подчеркнуть, что рассмотренные выше классы троек «с-1», «с-2», «с-8» составляют более 90% среди первой тысячи троек, из таблицы приведенной в [6]. Это даёт основания воспринимать указанные классы как базовые. Добавим, что при выводе соотношений (22), (23), (24) не использовались какие либо специальные

свойства чисел, изучаемые в теории чисел (простые, взаимно простые и пр.). Выявленные закономерности формирования пифагоровых троек обусловлены только системными свойствами описываемых этими тройками геометрических фигур – квадратов, состоящих из совокупности единичных квадратов.

Заключение

Теперь, как сказал Эндрю Уайлс в 1993 г.: «Думаю, мне следует на этом остановиться» [4]. Поставленная цель полностью достигнута. Показано, что анализ свойств математических моделей, структура которых связана с геометрическими фигурами, существенно упрощается, если в процессе анализа наряду с чисто математическими выкладками учитываются и геометрические свойства изучаемых моделей. Упрощение достигается, в частности за счёт того, что исследователь «видит» искомые результаты, не проводя математических преобразований.

$$a = 2n + 1, \quad b = 2n(n + 1), \quad c = 2n(n + 1) + 1, \quad 1 \leq n < \infty.$$

для нечётных значений a ,

$$\text{и } a = 2n, \quad b = n^2 - 1, \quad c = n^2 + 1, \quad 2 \leq n < \infty \text{ — для чётных значений.}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аносов Д.Н. Взгляд на математику и нечто из неё. – М.: МЦНМО, 2003. – 24 с.: ил.
2. Айерланд К., Роузен М. Классическое введение в современную теорию чисел. – М.: Мир, 1987.
3. Бескровный И.М. Системный анализ и информационные технологии в организациях: Учебное пособие. – М.: РУДН, 2012. – 392 с.

Например, равенство

$$c^2 - (c - 1)^2 = c + (c - 1)$$

становится очевидным без преобразований в левой его части, стоит только взглянуть на рис. 1, где приведена графическая модель этого равенства.

В итоге, на основе проведенного анализа показано, что для любого квадрата со стороной $a \geq 3$ могут быть найдены квадраты со сторонами b и c , такие, что для них выполняется равенство $a^2 + b^2 = c^2$ и получены соотношения, обеспечивающие получение результатов при минимальном объеме вычислений:

4. Саймон Сингх. Великая теорема Ферма.

5. Ферма П. Исследования по теории чисел и диофанто-анализу. – М.: Наука, 1992.

6. Yaptrо. Ucoz, Available at: http://yaptrо.ucoz.org/news/pifagorovy_trojki_chisel/2012-05-07-5.

УДК 548.1

ОДНОВРЕМЕННОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ КАТИОНОВ В ТЕТРАЭДРИЧЕСКИХ И ОКТАЭДРИЧЕСКИХ ПОЗИЦИЯХ ШПИНЕЛИ

^{1,2}Широков В.Б., ¹Таланов В.М.

¹Южно-Российский государственный технический университет, Новочеркасск;

²Южный научный центр Российской академии наук, Новочеркасск, e-mail: valtalanov@mail.ru

Теоретико-групповым методом исследовано атомное упорядочение в структуре шпинели. Установлена возможность существования 330 фаз с одновременным упорядочением в позициях 8(a) и 16(d) (в том числе 5 фаз с бинарным порядком в тетра- и октаэдрических подрешетках, 2 фазы с тройным порядком в обеих подрешетках шпинели, 9 фаз с различными комбинированными типами бинарного и тройного порядка). Проведено сопоставление теоретических результатов и экспериментальных данных.

Ключевые слова: структура шпинели, тетраэдрические позиции, упорядоченные фазы, сверхструктуры

SIMULTANEOUS CATION ORDERING IN SPINEL TETRAHEDRAL AND OCTAHEDRAL POSITIONS

^{1,2}Shirokov V.B., ¹Talanov V.M.

¹South-Russian State Technical University, Novocherkassk;

²South Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Novocherkassk, e-mail: valtalanov@mail.ru

Group-theoretical methods are used to enumerate the structures of ordered spinels. The possibility of existence 330 phases with simultaneous ordering in positions 8(a) and 16(d) (including 5 substructures with binary order in tetrahedral and octahedral sublattices, 2 substructures with ternary order in both spinel sublattices, 9 substructures with different combined types of binary and ternary order) is determined. Comparison of theoretical results and experimental data is made.

Keywords: spinel structure, tetrahedral positions, ordered phases, superstructures

Решение задачи определения возможных сверхструктур в шпинелях представляет значительный научный и практический интерес. Образование сверхструктур сопровождается появлением у вещества качественно новых физических и химических свойств и, прежде всего, магнитных, упругих, оптических и электрических. Так, например, упорядочение катионов сопровождается образованием новых подрешеток в кристалле, которые способствуют возникновению ферромагнетизма (ферримагнетизма с наведенным ферримагнетизмом [1]). Примером может быть шпинель $\text{Cu}^+[\text{Ni}^{+2}\text{Mn}^{+4}]_2\text{O}_4$ с упорядоченным распределением $^{3/2}$ катионов в октаэдрических узлах [1]. Низкотемпературный фазовый переход в упорядоченную фазу в магнетите сопровождается аномалией удельной теплоемкости, изменением проводимости приблизительно на два порядка и изменением знака магнитной кристаллографической анизотропии [2]. У хлоридных шпинелей вблизи температуры упорядочения обнаружена, в частности, аномально высокая суперионная проводимость [3-5].

Обозначения волновых векторов и неприводимых представления даны по книге О.В. Ковалева [19]. Анализ параметра порядка (1) без учета единичного представле-

Целью данного исследования является решение задачи о перечислении возможных сверхструктур, возникающих в результате одновременного упорядочения катионов в тетраэдрических и октаэдрических позициях структуры шпинели. Нами рассмотрены случаи одновременного упорядочения в двух катионных подрешетках структуры шпинели. Особенность структуры шпинели состоит в том, что различные катионы могут перераспределяться между вайковыми позициями 8(a) и 16(d). Это означает, что возможно упорядочение не только по одному, но и по двум параметрам порядка одновременно. Такие расчеты ранее не проводились. Нами использован теоретико-групповой метод термодинамической теории фазовых переходов, детально описанный в [6-19]. Этот метод позволяет получить список возможных сверхструктур без привлечения каких бы то ни было модельных соображений.

Представление упорядочения, построенное на позициях 8(a) и 16(d), имеет размерность 52. Разложение этого представления на неприводимые представления имеет вид:

$$k_8(\tau_1 + \tau_2) + k_9(\tau_1 + t_4 + t_5) + k_{10}(\tau_1 + \tau_3) + k_{11}(t_4(A_{2u}) + t_7(F_{2g})) \quad (1)$$

ния предсказывает 330 низкосимметричную упорядоченную фазу. Как видно из таблицы среди этих фаз имеется пять фаз с бинарным порядком в тетра- и октаэдрических

подрешетках шпинели двух типов $(1:1)^{8(a)}$ $[1:3]^{16(d)}$ и $(1:1)^{8(a)}$ $[1:1]^{16(d)}$, шесть фаз с бинарным и тройным порядками трех типов $(1:1)^{8(a)}$ $[1:1:6]^{16(d)}$, $(1:1)^{8(a)}$ $[2:3:3]^{16(d)}$ и $(1:1)^{8(a)}$ $[1:1:2]^{16(d)}$, три фазы с тройным и бинарным порядками двух типов $(1:3:4)^{8(a)}$ $[1:3]^{16(d)}$ и $(1:1:2)^{8(a)}$ $[1:1]^{16(d)}$, две фазы с тройным порядками в обеих подрешетках двух типов $(1:1:2)^{8(a)}$ $[2:2:1]^{16(d)}$ и $(1:1:2)^{8(a)}$ $[1:1:2]^{16(d)}$. В таблице приняты обозначения такие же как и в таблицах данной меры публикаций.

Известен один тип сверхструктур с одновременным упорядочением катионов в позициях 8(a) и 16(d) структуры шпинели: упорядоченная фаза $\text{LiZn}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ с пространственной группой $P2_13$. Эта фаза образована двумя параметрами порядка $(x)^4$ и $(0, j, 0, j, 0, -j)^1$. Эти неприводимые представления образуют точечную группу 192 порядка в семимерном пространстве. Структурный механизм образования исследуемой низко-

симметричной фазы по представлению $k_{10}(\tau_3) + k_{11}(\tau_4)$ оказывается сложным и включает:

- бинарные упорядочения катионов типа 1:1 в тетраэдрических узлах 8(a) и типа 1:3 в октаэдрических позициях 16(d) шпинели;
- четверное упорядочение анионов типа 1:1:3:3 в структуре исходной фазы;
- смещения всех типов атомов.

Отметим, что данный структурный механизм образования $P2_13$ -фазы значительно сложнее, чем предполагался ранее для $\text{LiZn}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ [20]: он не сводится только к упорядочению лития, цинка и марганца. Расчетная структурная формула $P2_13$ -фазы имеет вид: $(A^{4(a)}_{1/2} A'^{4(a)}_{1/2}) [B^{4(a)}_{1/2} B^{12(b)}_{3/2}] X^{12(b)} X^{12(b)} X^{4(a)} X^{4(a)}$. Экспериментальные данные по строению $\text{LiZn}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$, полученные с помощью нейтронографического и рентгеноструктурного анализов, согласуются со структурной формулой [20]. В нашей работе [21] детально рассмотрено строение этой фазы.

Одновременное бинарное и тройное катионное упорядочение
в вайковых позициях 8(a) и 16(d) структуры шпинели $A^{(a)}B_2^{(d)}X_4^{(e)}$

№ п/п	Параметры порядка	Символ пространственной группы	V'/V	Трансляции примитивной ячейки	Структурная формула
1	$(0, j, 0, j, 0, -j)^{3A,B} (x)^{4A} \text{sec.}$	$T_d^1 = P\bar{4}3m (N215)$	4	$a_1 + a_2 + a_3, 2a_2, 2a_1$	$A_{1/8}^{(a)} A_{3/8}^{(e)} A_{1/2}^{(e)} B_{1/2}^{(e)} B_{3/2}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X_{3/2}^{(e)} X_{3/2}^{(e)}$
2	$(0, 0, h, 0)^{4A} (x, -x, x)^{7B}$	$D_{3d}^5 = R\bar{3}2/m (N166)$	2	$a_1, a_3, 2a_2$	$A_{1/2}^{(e)} A_{1/2}^{(e)} B_{1/4}^{(b)} B_{1/4}^{(b)} B_{3/2}^{(b)} X_{1/2}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X_{3/2}^{(b)} X_{3/2}^{(b)}$
3	$(0, 0, h, 0)^{1A,B} (x, -x, x)^{7B} \text{sec.}$	$D_{3d}^5 = R\bar{3}2/m (N166)$	2	$a_1, a_3, 2a_2$	$A_{1/2}^{(e)} A_{1/2}^{(e)} B_{1/2}^{(e)} B_{3/4}^{(d)} B_{3/4}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X_{3/2}^{(b)} X_{3/2}^{(b)}$
4	$(0, j, 0, 0, 0, 0)^{3A,B} (x)^{4A} \text{sec.}$	$D_{2d}^5 = P\bar{4}m2 (N115)$	2	$a_1 + a_2, a_3, 2a_1$	$A_{1/4}^{(a)} A_{1/4}^{(e)} A_{1/2}^{(g)} B^{(i)} B^{(k)} X^{(i)} X^{(i)} X^{(k)} X^{(k)}$
5	$(j, 0, 0, 0, 0, -j)^{3A,B}$ $(0, 0, j, 0, 0, 0)^{1B} \text{sec.}$	$D_4^3 = P4, 22 (N91)$ $D_4^7 = P4, 22 (N95)$	4	$a_1 + a_2 + a_3, 2a_2, 2a_3$	$A_{1/2}^{(a)} A_{1/2}^{(b)} B_{1/2}^{(e)} B_{1/2}^{(e)} B^{(d)} X^{(d)} X^{(d)} X^{(d)} X^{(d)}$
6	$(j, j, 0, 0, 0, 0)^{3A,B} (0, 0, x)^{7B} \text{sec.}$	$D_{2h}^5 = Pcm (N51)$	2	$a_2 + a_3, a_1, 2a_2$	$A_{1/2}^{(e)} A_{1/2}^{(f)} B_{1/2}^{(b)} B_{1/2}^{(e)} B^{(k)} X^{(k)} X^{(k)} X^{(k)} X^{(k)}$
7	$(0, j, 0, 0, j, 0)^{1B} (x)^{4A}$ $(0, 0, 0, j, 0, 0)^{3A,B} \text{sec.}$	$D_{2d}^3 = P\bar{4}2_1m (N113)$	4	$a_1 + a_2 + a_3, 2a_2, 2a_1$	$A_{1/4}^{(a)} A_{1/4}^{(e)} A_{1/2}^{(e)} B_{1/2}^{(e)} B_{1/2}^{(e)} B^{(f)} X_{1/2}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X^{(f)}$
8	$(x)^{4A} (x, -x, x)^{7B}$	$C_{3v}^5 = R3m (N160)$	1	a_1, a_2, a_3	$A_{1/2}^{(a)} A_{1/2}^{(a)} B_{1/2}^{(b)} B_{3/2}^{(b)} X_{1/2}^{(a)} X_{1/2}^{(a)} X_{3/2}^{(b)} X_{3/2}^{(b)}$
9	$(x)^{4A} (0, x, 0)^{7B}$	$C_{2v}^{20} = Imm2 (N44)$	1	a_1, a_2, a_3	$A_{1/2}^{(a)} A_{1/2}^{(b)} B^{(d)} B^{(e)} X^{(d)} X^{(d)} X^{(e)} X^{(e)}$
10	$(x)^{4A} (0, j, 0, j, 0, -j)^{1B}$	$T^4 = P2_13 (N198)$	4	$a_1 + a_2 + a_3, 2a_2, 2a_1$	$A_{1/2}^{(a)} A_{1/2}^{(a)} B_{1/2}^{(b)} B_{3/2}^{(b)} X_{1/2}^{(a)} X_{1/2}^{(a)} X_{3/2}^{(b)} X_{3/2}^{(b)}$
11	$(x)^{4A} (0, 0, 0, 0, 0, j)^{1B}$	$D_2^5 = C222_1 (N20)$	2	$a_2 + a_3, 2a_2, a_1$	$A_{1/2}^{(a)} A_{1/2}^{(b)} B^{(e)} B^{(e)} X^{(e)} X^{(e)} X^{(e)} X^{(e)}$
12	$(x)^{4A} (0, 0, j, j, 0, 0)^{1B}$ $(0, x, 0)^{7B} \text{sec.}$	$C_{2v}^7 = Pmn2_1 (N31)$	2	$a_1 + a_3, a_2, 2a_1$	$A_{1/2}^{(a)} A_{1/2}^{(a)} B_{1/2}^{(a)} B_{1/2}^{(b)} B^{(b)} X_{1/2}^{(a)} X_{1/2}^{(a)} X_{1/2}^{(a)} X_{1/2}^{(a)} X^{(b)} X^{(b)}$
13	$(x)^{4A} (\xi_1, -\xi_1, \xi_2)^{7B}$	$Cs^3 = Cm (N8)$	1	a_1, a_2, a_3	$A_{1/2}^{(a)} A_{1/2}^{(a)} B_{1/2}^{(a)} B_{1/2}^{(b)} B^{(b)} X_{1/2}^{(a)} X_{1/2}^{(a)} X_{1/2}^{(a)} X_{1/2}^{(a)} X^{(b)} X^{(b)}$
14	$(0, 0, q, q, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^{1A,B}$ $(x)^{4A} \text{sec.}$	$D_{2d}^{12} = I\bar{4}2d (N122)$	4	$a_1 + a_2 - a_3, 2a_2, a_1 + a_3$	$A_{1/4}^{(a)} A_{1/4}^{(b)} A_{1/2}^{(d)} B^{(e)} B^{(e)} X^{(e)} X^{(e)} X^{(e)} X^{(e)}$
15	$(0, q, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^{2B}$ $(x)^{4A} (0, j, 0, 0, 0, 0)^{3A,B} \text{sec.}$	$D_{2d}^{11} = I\bar{4}2m (N121)$	4	$a_1 + a_2 - a_3, 2a_2, a_1 + a_3$	$A_{1/4}^{(e)} A_{1/4}^{(e)} A_{1/2}^{(e)} B_{1/2}^{(e)} B_{1/2}^{(e)} B^{(f)} X_{1/2}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X_{1/2}^{(e)} X^{(f)}$
16	$(0, 0, q, q, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^{2B}$ $(x)^{4A}$	$D_{2d}^{12} = I\bar{4}2d (N122)$	4	$a_1 + a_2 - a_3, 2a_2, a_1 + a_3$	$A_{1/2}^{(d)} A_{1/2}^{(e)} B^{(e)} B^{(e)} X^{(e)} X^{(e)} X^{(e)} X^{(e)}$

Результаты работы получены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания на проведение НИОКР, шифр заявки №6.8604.2013.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупичка С. Физика ферритов и родственных им материалов. – М.: Мир, 1976. – 353 с.
2. Горяга А.Н., Таланов В.М., Борлаков Х.Ш. // В кн.: Сегнетомагнитные вещества – М.: Наука, 1990. – с. 79-85.
3. Kanno R., Takeda Y., Yamamoto O. // Materials Research Bulletin Volume 16, Issue 8, August 1981, Pages 999–10058.
4. Lutz H.D., Schmidt W., Haeseler H. // Journal of Solid State Chemistry. – 1985. – V. 56, Issue 1. – P. 21–25.
5. Lutz H. D., Partik M., Schneider M., Wickel Ch. // Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials: 1997. – Vol. 212, No. 6. – P. 418-422.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. – М.: Наука. – 1976. – 584с.
7. Toledano J.-C., Toledano P. The Landau Theory of Phase Transitions. – World Scientific, 1987. – 451 p.
8. Сахненко В.П., Таланов В.М., Чечин Г.М. Возможные фазовые переходы и атомные смещения в кристаллах с пространственной группой Oh7. 1/ Ред. журн. Изв. вузов. Физика. – Томск, 1981. – 26с. – Деп. в ВИНТИ 23.11.81, № 638-82.
9. Сахненко В.П., Таланов В.М., Чечин Г.М., Ульянова С.Н. Возможные фазовые переходы и атомные смещения в кристаллах с пространственной группой Oh7. 2. Анализ механического и перестановочного представлений / Ред. журн. Изв. вузов. Физика. – Томск, 1983. – 61 с. – Деп. в ВИНТИ 30.11.83, № 6379-83.
10. Сахненко В.П., Таланов В.М., Чечин Г.М. // Физика металлов и металловедение. – 1986. – Т. 62, вып. 5. – С. 847-856.
11. Talanov V.M. // Phys. Stat.Sol (a). – 1989. – V. 115. – P.K.1-4.
12. Talanov V.M. // Physica. Status. Solidi. B. – 1990. – V. 162. – P. 339-346.
13. Talanov V.M. // Physica. Status. Solidi. B. – 1990. – V. 162. – P. 61-73.
14. Talanov V.M. // Физика и химия стекла. – 2007. – Т. 33, N 6. – С. 852-870.
15. Таланов В.М., Чечин Г.М. // Кристаллография. – 1990. – Т.35, в.4. – С.1008-1011.
16. Таланов В.М. // Журн. структ. химии. – 1986. – Т. 31, вып. 2. – С. 172-176.
17. Таланов В.М. // Кристаллография. – 1996. – № 6. – С. 979 – 997.
18. Таланов В.М. // Физика и химия стекла. – 2005. – Т. 31, N 3. – С. 431-434.
19. Ковалев О.В. Неприводимые представления пространственных групп. – Киев: Изд-во АН УССР, 1961 – 155 с.
20. Lee Y.J., Park S.H., Eng C., Parise J.B., Grey C.P. // Chem. Mater. – 2002. – V.14. –P. 194–205.
21. Таланов В.М., Широков В.Б. // Кристаллография. – 2013. – Т.58, № 2. – С. 296–301.

УДК 548.1

ТИПЫ АНИОННОГО ПОРЯДКА В КРИСТАЛЛАХ СО СТРУКТУРОЙ^{1,2}**Широков В.Б., ¹Таланов В.М.**¹*Южно-Российский государственный технический университет, Новочеркасск;*²*Южный научный центр Российской академии наук, Новочеркасск, e-mail: valtalanov@mail.ru*

Теоретико-групповым методом исследовано атомное упорядочение в структуре шпинели. Установлена возможность существования 357 фаз с упорядочением анионов в позиции 32(e). В их числе 7 бинарных и 4 тройных анионных сверхструктур. Проведено сопоставление теоретических результатов и экспериментальных данных.

Ключевые слова: структура шпинели, тетраэдрические позиции, упорядоченные фазы, сверхструктуры

TYPES OF ANION ORDER IN CRYSTAL WITH SPINEL STRUCTURE^{1,2}**Shirokov V.B., ¹Talanov V.M.**¹*South-Russian State Technical University, Novocherkassk;*²*South Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Novocherkassk, e-mail: valtalanov@mail.ru*

Group-theoretical methods are used to enumerate the structures of ordered spinels. The possibility of existence of 357 phases with different types of anion order in positions 32(e) (including 7 binary and 4 ternary anion substructures) is determined. Comparison of theoretical results and experimental data is made.

Keywords: spinel structure, tetrahedral positions, ordered phases, superstructures

Структура шпинели была установлена независимо Брэггом (W.H. Bragg) [1] и Нишикавой (S. Nishikawa) [2] почти сто лет назад в 1915 году. Но вещества с этой структурой представляют и в настоящее время интерес для широкого круга химиков, физиков, минералогов, металлургов и материаловедов. Многие свойства шпинелей существенно зависят от упорядочения атомов в их структуре [3-16], в том числе и в анионной подрешетке [17-19]. Целью данного ис-

следования является полное решение задачи о перечислении возможных типов порядка в анионной подрешетке структуры шпинели. Нами использован теоретико-групповой метод термодинамической теории фазовых переходов, детально описанный в [20-32].

Представление упорядочения, построенное на позиции 32(e) структуры шпинели имеет размерность 80. Разложение этого представления на неприводимые представления имеет следующий вид

$$k_8(\tau_1 + \tau_2) + k_9(2\tau_1 + 2t_4 + t_5 + t_6) + k_{10}(\tau_1 + 2\tau_3 + t_4) + k_{11}(\tau_1(A_{1g}) + t_4(A_{2u}) + t_7(F_{2g}) + \tau_{10}(F_{1u})). \quad (1)$$

Обозначения волновых векторов и неприводимых представления даны по книге О.В. Ковалева [33]. Симметричный анализ параметра порядка (ПП) (1) с учетом единичного представления предсказывает 358 низкосимметричных упорядоченных фаз. Как видно из таблицы, среди этих фаз имеется 7 бинарных (фазы 1-7) и 4 тройных (фазы 8-11) сверхструктур. Причем двойные и тройные сверхструктуры возможны с одним ПП, преобразующимся по одному неприводимому представлению. Упорядочение в бинарных сверхструктурах происходит по типам 1:1 и 1:3, а в тройных – только по типам 1:1:2.

Неприводимые представления с волновым вектором k_8 не генерируют бинарных и тройных анионных сверхструктур. Отметим, что среди бинарных сверхструктур имеются три пары энантиоморфных модификаций упорядоченных шпинелей.

Наиболее распространенными типами анионного упорядочения в позициях 32(e) структуры шпинели являются структуры с пространственными группами $F43m$ ((параметр порядка $(x, k_{11}t_4)$), $R32/m$ ((параметр порядка $x, -x, x)$, $k_{11}t_7$) и энантиоморфными группами $R4_{1,3}2_12$ (параметр порядка $(0, 0, j, 0, 0, 0)$, $k_{10}t_2$).

Структура упорядоченной шпинели с пространственной группой $F43m$. Выше мы уже рассмотрели структуру $F43m$ – фазы, имеющей формулу $A^{4(a)}A^{4(a)}B^{16(e)}X_4^{16(e)}$. Частным случаем структур упорядоченных шпинелей можно рассматривать структуру фаз Шевреля. Структуру этих фаз можно представить как структуру дефектных шпинелей с упорядочением тетраэдрических катионов и анионов типа 1:1. Если отсутствуют все или только некоторые из атомов $A^{4(a)}$ и $A^{4(a)}$, то получаются различные типы фаз Шевреля [34, 35]. Так,

например, если на позициях 4(a) нет атомов $A^{4(a)}$ и $A^{4(a)}$, то тогда получим структурную формулу $B^{16(e)}X_4^{16(e)}X_4^{16(e)}$. Эта формула отражает строение $Re_4Te_4S_4$ [36, 37]. Если отсутствует только один тип атомов A, тогда получим $A^{4(a)}B^{16(e)}X_4^{16(e)}X_4^{16(e)}$. Такую

структурную формулу имеют $GaMo_4O_8$ [35] и $Re_4As_6S_3$ [38]. Если частично заняты позиции атомов $A^{4(a)}$ и $A^{4(a)}$, то тогда получают структурные формулы веществ, подобных $Ga_{1,33}Cr_4S_8$ [35] и $Ga_{0,5}V_2S_2Se_2$ [39].

Бинарное и тройное катионное упорядочение в вайковой позиции 32(e) структуры шпинели $A^{(a)}B_2^{(d)}X_4^{(e)}$

№ п/п	Параметры подряда	Символ пространственной группы	V'/V	Трансляции примитивной ячейки	Структурная формула
1	(0, x, 0) ¹⁰	$C_{4v}^{11}=I4_1md(N109)$	1	a_1, a_2, a_3	$A^{(a)}B_2^{(b)}X_2^{(b)}X_2^{(b)}$
2	(x) ⁴	$T_d^2=F\bar{4}3m(N216)$	1	a_1, a_2, a_3	$A^{(a)}A^{(d)}B_4^{(e)}X_4^{(e)}X_4^{(e)}$
3	(x, -x, x) ⁷	$D_{3d}^5=R\bar{3}2/m(N166)$	1	a_1, a_2, a_3	$A^{(c)}B_{1/2}^{(b)}B_{3/2}^{(e)}X^{(c)}X_3^{(h)}$
4	(0, j, 0, j, 0, -j) ¹	$O^6=P4_32(N212)$ $O^7=P4_32(N213)$	4	$a_1+a_2+a_3, 2a_2, 2a_1$	$A^{(c)}B_{1/2}^{(a)}B_{3/2}^{(d)}X^{(e)}X_3^{(e)}$
5	(0, 0, j, 0, 0, 0) ²	$D_4^4=P4_12_1(N92)$ $D_4^8=P4_32_1(N96)$	2	$a_1+a_3, a_2, 2a_1$	$A^{(a)}B_2^{(b)}X_2^{(b)}X_2^{(b)}$
6	(0, 0, x) ⁷	$D_{2h}^{28}=Ibmm(N74)$	1	a_1, a_2, a_3	$A^{(c)}B^{(b)}B^{(d)}X_2^{(h)}X_2^{(i)}$
7	(0, j, 0, 0, 0, 0) ¹	$D_4^3=P4_122(N91)$ $D_4^7=P4_322(N95)$	2	$a_1+a_2, 2a_1, a_3$	$A^{(c)}B^{(a)}B^{(b)}X_2^{(d)}X_2^{(d)}$
8	(x, -x, 0) ¹⁰ (0, 0, x) ^{7sec.}	$C_{2v}^{22}=Ima2(N46)$	1	a_1, a_2, a_3	$A^{(b)}B^{(a)}B^{(b)}X^{(b)}X^{(b)}X_2^{(c)}$
9	(j, -j, 0, 0, 0, 0) ¹ (0, 0, x) ^{7sec.}	$D_{2h}^7=Pbmn(N53)$	2	$a_1+a_2, a_3, 2a_1$	$A^{(h)}B_{1/2}^{(b)}B_{1/2}^{(c)}B_{3/2}^{(e)}X^{(h)}X^{(h)}X_2^{(i)}$
10	(j, j, 0, 0, 0, 0) ² (0, 0, x) ^{7sec.}	$D_{2h}^{16}=Pbnm(N62)$	2	$a_1+a_2, a_3, 2a_1$	$A^{(c)}B^{(c)}B^{(b)}X^{(c)}X^{(c)}X_2^{(d)}$
11	($\xi_1, \xi_2, -\xi_1$) ⁷	$C_{2h}^3=C2/m(N12)$	1	a_1, a_2, a_3	$A^{(i)}B_{1/2}^{(b)}B_{1/2}^{(d)}B^{(e)}X^{(i)}X^{(i)}X_2^{(i)}$

Примечание. Обозначения для ПП: $k_8 - q, k_9 - h; k_{10} - j, k_{11} - x$. Верхний индекс после круглой скобки – номер представления по Ковалеву [33], V'/V – изменение объема примитивной ячейки в результате структурного фазового превращения. Верхний индекс в стехиометрической формуле – обозначение типа позиции по интернациональным таблицам.

Структура фаз Шевреля, их свойства и особенности строения генетически связаны со строением упорядоченных шпинелей. В частности, при упорядочении катионов типа 1:1 в тетраэдрических узлах шпинели AB_2X_4 образуются кластеры B_4 из металлических атомов и анионов [30]. Структура фаз Шевреля «наследует» из структуры упорядоченной шпинели четыре типа кластеров, которые были установлены в результате теоретического исследования структурного механизма образования упорядоченной шпинели с $F\bar{4}3m$ – симметрией [30]. Мы полагаем, что образование именно этих кластеров и обуславливает своеобразие физических свойств фаз Шевреля. Кластеры рения Re_4 существуют в фазах Шевреля с составами $Re_4As_6S_3$, $Re_4Te_4S_4$.

Структура упорядоченной шпинели с пространственной группой $R\bar{3}2/m$. Эта струк-

тура генерируется НП $k_{11}l_7$. Это НП входит в механическое представление структуры шпинели на позициях 8(a) и 32(e) и в перестановочное представление на позициях 16(d) и 32(e). Это означает, образование низкосимметричной фазы происходит в результате смещений тетраэдрических атомов и анионов, а также упорядочений октаэдрических катионов и анионов (тип порядка в обоих случаях 1:3). Структурная формула вещества должна быть $A^{2(c)}B_{1/2}^{1(a)}B_{3/2}^{3(d)}X_3^{2(c)}X_3^{6(h)}$. На рис. показаны особенности строения $R\bar{3}2/m$ -фаз. Рассмотренную структуру, по-видимому, имеет Ga_3O_3N , обладающий перспективными электронными свойствами [40]. Авторы [40] рассмотрели три модели строения оксинитрида галлия, описываемых пространственными группами $Ima2, Imm2$ и $R\bar{3}2/m$. Исследования локальной электронной структуры позволили авторам этой рабо-

ты установить упорядоченное расположение анионов и выбрать модель строения $\text{Ga}_3\text{O}_3\text{N}$ с пространственной группой $R\bar{3}2/m$. Необходимо отметить, что при образовании $R\bar{3}2/m$ -фазы $\text{Ga}_3\text{O}_3\text{N}$ происходит не только упорядочение кислорода и азота, но и упорядочение двух из трех атомов галлия, занимающих позиции 1(a) и 3(d).

Структура упорядоченной шпинели с пространственной группой $R4_12_2$. Критическим НП, индуцирующим образование $R4_12_2$ -фаз, является шестимерное представление звезды $k_{10}(\tau_2)$.

Анализ показывает, что структура такой фазы формируется в результате смещений всех типов атомов, а также упорядочения атомов, находящихся в позиции 32(e) (тип порядка 1:1). Структурная формула упорядоченной шпинели: $\text{A}^{4(a)}\text{B}^{8(b)}\text{X}^{8(b)}\text{X}^{8(b)}$.

Примером подобной структуры является структура MgTi_2O_4 [41, 42]. В этом веществе при температуре ~ 260 К происходит фазовый переход, сопровождающийся изменением типа проводимости (металл–изолятор), значительным уменьшением магнитной восприимчивости, перестройкой структуры: кубическая шпинель (пр. гр. $Fd\bar{3}m$) превращается в тетрагональную модификацию (пр. гр. $R4_12_2$ или энантиоморфная ей $R4_32_2$) [41, 42]. В [42] отмечается существование на нейтронограммах и рентгенограммах слабых сверхструктурных рефлексов. Их появление обусловлено, согласно нашим расчетам, упорядочением ионов кислорода [43, 44]. Вайковые позиции 32(e), в которой находятся атомы кислорода в исходной кубической шпинели, в результате фазового перехода расслаивается на две вайковые позиции с одинаковой локальной симметрией $1(C_1)$ и одинаковыми кратностями. Это означает, что упорядочение кислорода действительно происходит по типу 1:1, как и предсказывает теория. В работе [43] предложена теория фазового перехода в MgTi_2O_4 : проведено исследование симметрии параметра порядка, термодинамики и механизмов образования атомной и орбитальной структуры низкосимметричной фазы MgTi_2O_4 .

Результаты работы получены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания на проведение НИОКР, шифр заявки № 8604.2013.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bragg W.H. // Phil. Mag. – 1915. – V.30. – P. 305–315.
2. Nishikawa S. // Proc. Tokyo math.-phys. Soc. – 1915. – V.8. – P. 199–209.
3. Таланов В.М. // Тр. Новочерк. политехн. ин-т. – 1973. – Т. 290. – С. 9–12.
4. Таланов В.М., Варской Б.Н., Воробьев Ю.П., Иовлев А.А., Мень А.Н., Серебрякова А.В. // Оптика и спектроскопия. – 1974. – Т. 37, вып. 2. – С. 372–374.
5. Люцедарский В.А., Таланов В.М. // Тр. / Новочерк. политехн. ин-т. – 1974. – Т. 287. – С. 109–112.
6. Варской Б.Н., Спасская Н.М., Таланов В.М., Мень А.Н. // Изв. вузов. Физика. – 1976. – № 4. – С. 16–21.
7. Варской Б.Н., Спасская Н.М., Таланов В.М., Мень А.Н. // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1976. – Т. 12, № 8. – С. 1442–1447.
8. Таланов В.М. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 1978. – № 9. – С. 1395–1397.
9. Сахненко В.П., Таланов В.М. // Физика твердого тела. – 1979. – Т. 21, вып. 8. – С. 2435–2444.
10. Таланов В.М., Фролова Л.А. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 1979. – Т. 22, № 9. – С. 1044–1046.
11. Таланов В.М. // Кристаллография. – 1979. – Т. 24, вып. 4. – С. 706–711.
12. Сахненко В.П., Таланов В.М. // Физика твердого тела. – 1980. – Т. 22, вып. 3. – С. 785–792.
13. Таланов В.М. // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1980. – Т. 16, вып. 8. – С. 1426–1429.
14. Таланов В.М., Фролова Л.А. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 1981. – вып. 3. – С. 274–276.
15. Таланов В.М. // Журн. физ. химии. – 1981. – Т. 55, вып. 7. – С. 1845–1848.
16. Talanov V.M. // Physica Status Solidi B. – 1981. – V. 106, № 1. – P. 99–106.
17. Таланов В.М. // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1982. – Т. 18, № 9. – С. 1538–1543.
18. Таланов В.М. // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1983. – Т. 19, № 2. – С. 326–327.
19. Talanov V.M. // Physica. Status. Solidi. A. – 1989. – V. 115. – P. K1–K4.
20. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. – М.: Наука. – 1976. – 584с.
21. Toledano J.-C., Toledano P. The Landau Theory of Phase Transitions. – World Scientific, 1987. – 451 p.
22. Сахненко В.П., Таланов В.М., Чечин Г.М. Возможные фазовые переходы и атомные смещения в кристаллах с пространственной группой $Oh7$. 1 / Ред. журн. Изв. вузов. Физика. – Томск, 1981. – 26 с. – Деп. в ВИНИТИ 23.П.81, № 638–82.
23. Сахненко В.П., Таланов В.М., Чечин Г.М., Ульянова С.Н. Возможные фазовые переходы и атомные смещения в кристаллах с пространственной группой $Oh7$. 2. Анализ механического и перестановочного представлений / Ред. журн. Изв. вузов. Физика. – Томск, 1983. – 61 с. – Деп. в ВИНИТИ 30.11.83, № 6379–83.
24. Сахненко В.П., Таланов В.М., Чечин Г.М. // Физика металлов и металловедение. – 1986. – Т. 62, вып. 5. – С. 847–856.
25. Talanov V.M. // Phys. Stat.Sol. (a). – 1989. – V.115. – P.K.1–4.
26. Talanov V.M. // Physica. Status. Solidi. B. – 1990. – V. 162. – P. 339–346.
27. Talanov V.M. // Physica. Status. Solidi. B. – 1990. – V. 162. – P. 61–73.
28. Talanov V.M. // Физика и химия стекла. – 2007. – Т. 33, № 6. – С. 852–870.
29. Таланов В.М., Чечин Г.М. // Кристаллография. – 1990. – Т.35, в.4. – С.1008–1011.
30. Таланов В.М. // Журн. структ. химии. – 1986. – Т. 31, вып. 2. – С.172–176.
31. Таланов В.М. // Кристаллография. – 1996. – № 6. – С.979–997.
32. Таланов В.М. // Физика и химия стекла. – 2005. – Т. 31, № 3. – С. 431–434.
33. Ковалев О.В. Неприводимые представления пространственных групп. – Киев: Издательство АН УССР, 1961 – 155с.
34. Таланов В.М. // Физика и химия стекла. – 2007. – Т. 33, № 6. – С. 852–870.
35. Besnard C., Svensson C., Stahl K., Siegrist T. // J. Solid State Chemistry. 2003. – V.172. P. – 446–450.
36. Fedorov V.E., Mironov Yu.V., Fedin V.P., Mironov Y.I. // Journal of Structural Chemistry. – 1994 – Vol 35, No. 1.
37. Fedorov V.E., Mironov Yu.V., Fedin V.P., Imoto H., Saito T. // Acta Crystallogr. C. – 1996. – V. 52. – P.1065–1067.
38. Besnard C., Svensson C., Stahl K., Siegrist T. // Journal of Solid State Chemistry. – 2003. – V. 172. – P. 446–450.
39. Haueseler H., Reil S., Elitok E. // International Journal of Inorganic Materials. – 2001. – V. 3. – P. 409–412.
40. Boyko T.D., Zvoriste C.E., Kinski I., Riedel R., Hering S., Huppertz H., Moewes A. // Phys. Rev. B. – 2011. – V. 84. – 085203–6.
41. Isobe M., Ueda Y.Y. // Phys. Soc. Jap. – 2002. – V. 71. – P.1848–1851.
42. Schmidt M., Ratcliff W., Radaelli P. G., Refson K., Harrison N. M., Cheong S.W. // Phys. Rev. Lett. – 2004. – v. 92, n 5. – P. 056402–1 – 056402–4.
43. Таланов В.М., Широков В.Б., Иванов В.В., Таланов М.В. // Кристаллография. – 2012. – Т.58, N1. – С.80–91.
44. Иванов В.В., Таланов В.М., Широков В.Б., Таланов М.В. // Неорганические материалы. – 2011. – Т. 47, № 9. – С. 1091–1100.

УДК 611.018.83:544.777.004.86

РЕГЕНЕРАЦИЯ ДЕНДРИТА СВИНЦА В СТУДНЯХ ПОЛИМЕРОВ**Хекало Т.В.***ГБОУ ВПО «ДВГМУ Минздрава России», Хабаровск, e-mail: rec@mail.fesmu.ru*

В работе изучено поведение дендрита свинца в студнях полимеров (крахмал, желатина, агар) после удаления части ветвей. Эксперименты показали, что во всех случаях, при прорастании в одном, двух и трёх студнях последовательно, дендрит регенерирует, возобновляет свой рост. Форма ветвей дендрита зависит только от природы прибавленного студня.

Ключевые слова: дендрит металла, студни полимеров, регенерация дендрита

REGENERATION DENDRITE LEAD IN JELLIES POLYMERS**Khekalov T.V.***SEI HPE «DVGUMU Russian Ministry of Health», Khabarovsk, e-mail: rec@mail.fesmu.ru*

In this work, the behavior of the dendrite lead jellies polymers (starch, gelatin, agar) after removal of the branches. Experiments have shown that in all cases, with germination in one, two and three jellies consistently dendrite regenerates, renews its growth. The form of the dendrite branches depends on the nature of the added jelly.

Keywords: dendritic metal, polymer gels, the regeneration of the dendrite

Регенерацией дендритов называется восстановление организмом утраченных или поврежденных органов из тканей, а также восстановление данного организма из его частей. Регенерация – общебиологическое явление, которое имеет огромное значение для выживания индивидуума. Существует множество примеров регенерации в живой природе: регенерируют ткани, кости, первые волокна и т.д. Согласно Аристотелю, «природа без перерывов идёт от тел неодоушевлённых к животным», и поэтому трудно вскрыть, где границы перехода от одной ступени к другой. [1, с. 17].

Если явление регенерации столь характерно для живой природы, то скорее всего, оно проявляется и в неживой природе. Примером такой регенерации является восстановление утраченной части монокристаллов металлов в процессе кристаллизации из расплавов. Регенерация фрактальных кластеров (дендритов) металлов в студнях до сих пор не была изучена.

Студни широко распространены в природе и технике. Студнями являются многие пищевые продукты. Студни полимеров органических веществ – это их обычное состояние в живых организмах, поэтому студнями являются ткани организма, волокна и кожа. Поэтому студни и процессы, происходящие в студнях, представляют большой интерес для биологии, медицины и фармации. Сейчас изучение процессов роста кристаллов в студнях – это динамично развивающаяся область, находящаяся на стыке различных наук. К процессам кристаллообразования

в студнях широко применяется синергетический подход. Общепризнано, что система студень – растущий кристалл обнаруживает признаки самоорганизующейся динамической открытой системы. Это проявляется в очень сложном поведении, которое зависит от совершенно незначительных и даже случайных изменений параметров [2, с. 18].

В данной работе было изучено поведение системы «студень – ацетат свинца – цинк», в качестве студней использовались водные растворы высокомолекулярных веществ (желатины, крахмала, агара).

Известны работы Симона (1913 г.) и Холмса (1926 г.) не изучено кристаллизации свинца в гелях (природа геля не указана) [3, с. 112], Liawu Faust (1971, 1971 гг.) изучали кристаллы свинца в геле метасиликата натрия [4, с. 127]. Автор настоящей работы разработал методику дендритов свинца в студнях и применил основы теории фракталов к этой системе, рассчитал несколькими методами величины фрактальной размерности по Безиковичу – Хаусдорфу, которая оказалась дробной и лежащей в интервале $1 < D < 2$ [5]. Также было обнаружено, что дендриты свинца в студнях имеют форму кластеров, по виду аналогичных структуре, получающейся при компьютерном моделировании процессов агрегации мономер-кластер в модели Витгена – Сандера (агрегация, лимитируемая диффузией) [5, с. 383].

До сих пор, как можно судить по литературному анализу, явление регенерации дендрита-кластера металла в студне не наблю-

далось и не подвергалось изучению. Данная работа в некоторой степени восполняет этот пробел. Методы получения дендритов свинца в студнях приведены в работе [5]. В качестве людей были выбраны студни, где дендрит растёт очень быстро (в пределах от нескольких часов до нескольких дней). Было проведено три эксперимента. В первом эксперименте было изучено поведение дендрита в одном и том же, исходном (или «родном») студне. Во втором эксперименте было изучено поведение дендрита на границе двух студней, т.е. к «родному» студню был добавлен другой по природе студень («чужой – 1»). В третьем эксперименте к системе «родной – чужой – 1» был добавлен третий студень («чужой – 2»), таким образом дендрит должен был прорасти через две границы, то есть через три студня, (система «родной – чужой – 1 – чужой – 2»).

В первом эксперименте был изучен дендрит в студне агара. После того, как дендрит вырос до размера 2-3 сантиметра, средняя часть ветви дендрита была ампутирована (удалена), а место ампутации было закончено свежей порцией того же («родного») студня.

Ампутация проводилась на нескольких (параллельных) дендритах, а также в разных местах одного и того же дендрита. Оказалось, что через несколько дней «рана» зарастала новыми побегами, которые пустили отрезанные ветви, причём рост побегов шёл точно в том же направлении, что и исходная (ампутированная) часть ветви. Был сделан вывод, что дендрит регенерирует в «родном» студне, причём регенерация идёт точно в первоначальном направлении, и дендрит «срастался» (это хорошо видно под микроскопом при увеличении в 52,5 раза).

Во втором эксперименте после ампутации концов ветвей «родной» студень заменили на «чужой – 1». Через несколько дней оказалось, что фрактал пророс границу раздела двух студней и начал расти во втором студне, то есть опять регенерировал. Микроскопирование показало, что на границе дендрит теряет свою первоначальную форму, и «перестраиваясь», становится аморфным, или бесформенным. Ранее автором было обнаружено [5], что форма дендрита зависит от природы металла, природы соли-металла и от природы студня. Так, например, дендрит в студне желатины имеет форму коротких густых веточек («мох»), в студне

агара – форма сильно изрезанная, в виде еловых веток («ель»), а в студне крахмала – форма ерша для посуды («ерш»). Причем формы очень хорошо различаются и без микроскопа. Эксперимент показал, что при прорастании в «чужой – 1» студень после «перестройки» дендрит принимает точную форму, соответствующую второму студню. Так, например, при прорастании границы студней агар-крахмал форма ветвей дендрита изменяется от «ель» к «ерш».

В третьем эксперименте проросший второй студень дендрит опять ампутировали, отрезав концы ветвей, и место ампутации заполнили свежим, третьим студнем («чужой – 2»). Микроскопирование показало, что после «перестройки» на второй границе раздела, после аморфного бесформенного состояния, дендрит пророс, регенерировал в третий студень. Причём форма отросших ветвей точно соответствовала природе студня «чужой – 2».

Были изучены следующие системы:

- 1) агар – желатина – агар
- 2) агар – крахмал – желатина
- 3) крахмал – агар – крахмал
- 4) крахмал – агар – желатина.

Студни крахмал, агар, желатина различны по природе, так:

- 1) крахмал – это разветвлённый полимер, полисахарид,
- 2) агар – это линейный полимер, полисахарид.
- 3) желатина – это линейный полимер, белок.

Все эти студни имеют разную форму сетчатой матрицы и разные размеры пор. Общим у трёх студней является только то, что они образованы гидрофильными полимерами. Эксперимент показал, что независимо от природы студней и от сочетания студней дендрит регенерирует, причём форма ветвей, прорастающих через границу раздела, сильно изменяется. Таким образом, в работе изучено поведение дендрита свинца в студнях после ампутации, удаления части ветви. Были изучены три разных по природе студня: крахмал, желатина, агар. Были проведены эксперименты, в которых дендрит должен был регенерировать в одном, двух и трёх студнях последовательно. Оказалось, что во всех случаях дендрит возобновляет свой рост, регенерирует. Во всех случаях, кроме эксперимента в «родном» студне, форма ветвей дендрита в свежем студне становится совершенно

другой, и зависит только от природы, при-
бавленного, свежего студня.

Кроме чисто физико-химического
аспекта, данная работа, как оказалось, име-
ет и философский аспект. Идея о единстве
окружающего мира, идея о единстве живого
и неживого в природе появилась ещё в древ-
ности, но физико-химических примеров,
иллюстрирующих эту идею, существует не
так много. Настоящая работа оказалась ещё
одним примером этого фундаментального
закона природы. Она доказала, что неживой
общий дендрит металла в студне – ведёт
себя как живые объекты – растения и жи-
вотные.

Физико-химический фрактал проде-
монстрировал способность к регенерации,
фрактал умеет «зализывать раны». Дан-
ная работа доказала, что «природа следует

общей модели, все живые существа и не-
живые предметы созданы природой по од-
ному знаку, одинаковому в принципе, но
бесконечно разнообразному в деталях»
(Ж. Сент-Илер) [1, с. 69]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юсуфов А.Г., Магомедова М.А.. История и методо-
логия в биологии. – М, В. школа, 2003. – 238 с.
2. Ракин В.И. Процессы кристаллообразования
в гелях. – Сыктывкар, научный центр Ур Р Российской А.Н.,
1997. – 109 с.
3. Гениш Г. Выращивание кристаллов в гелях.– М.:
Мир, 1973. –112 с.
4. Асхабов А.М. Процессы и механизмы кристаллоге-
незиса. – Л.: Наука, 1984. – 168 с.
5. Нелинейная динамика и термодинамика необ-
ратимых процессов в химии и химической технологии /
Э.М. Кольцова, Ю.Д. Третьяков, Л.С. Гордеев, А.А. Верте-
гел. – М.: Химия, 2001. – 408 с.

УДК 612.17

УКОРОЧЕННЫЙ P-Q, АКЦЕНТЫ ЭКГ ДИАГНОСТИКИ**Воробьев Л.В.***Автозаводская поликлиника, Кременчуг, e-mail: lvvorob@sat.poltava.ua*

Проведенный анализ пяти тысяч электрокардиограмм 2012 года, лицам старше 14 лет, позволил определить распространенность абсолютного и относительного укорочения P-Q в современных условиях жизни, среди взрослого населения и лиц молодого возраста, позволил уточнить механизм укорочения P-Q и его место в клинически значимых нарушениях работы сердца. В работе показана роль AV соединения в регуляции и координации сокращений миокарда предсердий и желудочков, также определены условия возникновения внутрисердечного гемодинамического конфликта и роль в нем сегмента P-Q. Проведенный анализ позволяет считать, что главным критерием, обуславливающим симптомы кардиологических нарушений, является не сам укороченный интервал P-Q, а нарушение физиологического соотношения интервала P-Q и сегмента P-Q. Наличие физиологического соотношения интервала P-Q к сегменту P-Q позволяют на практике исключить его из факторов риска возникновения внутрисердечного гемодинамического конфликта, что наиболее актуально в педиатрической практике.

Ключевые слова: интервал P-Q, сегмент P-Q, AV узел, AV соединение**SHORTENING OF THE PQ, ACCENTS ECG DIAGNOSTICS****Vorobejv L.V.***Avtozavodskaia clinic, Kremenchug, e-mail: lvvorob@sat.poltava.ua*

The analysis of five thousand electrocardiograms 2012, persons older than 14 years, allowed us to determine the prevalence of absolute and relative shortening of the PQ in the modern conditions of life among adults and young people, helped to clarify the mechanism of shortening of the PQ and its place in clinically significant disorders of the heart. The paper shows the role of AV connections in the regulation and coordination of myocardial contractions of the atria and ventricles. Also, the conditions for the occurrence of intracardiac hemodynamic conflict and role in it segment PQ. Our analysis suggests that the main criterion that contributes to symptoms of cardiac disorders, is not itself a shortened interval PQ, and the violation of the physiological ratio of PQ interval and segment PQ. The presence of the physiological ratio of PQ interval to allow the segment PQ in practice to exclude him from the risk factors for intracardiac hemodynamic conflict, the most important in pediatric practice.

Keywords: interval P-Q, segment P-Q, AV nodes, AV connection

В медицине, касательно ЭКГ есть один термин, о клинической значимости которого следовало бы уточнить некоторые позиции. Этот термин – укороченный интервал P-Q. Электрокардиографическую картину укорочения интервала P-Q при сохранении нормального комплекса QRS описали в 1938 году Clerc, Levy, Critesco. Несколько позже (в 1953 г.) Lown, Lanong, Levine выявили взаимосвязь между коротким интервалом P-Q и наджелудочковой аритмией.

Основные медицинские тревоги укороченного P-Q состоят в том, что он открывает дорогу пароксизмальным тахикардиям, аритмиям и возможной остановке сердца. Актуальность этого ЭКГ термина сегодня высветила сама жизнь. Если до середины 90 годов прошлого века укорочение P-Q встречалось относительно редко, то после этого срока встречается ежедневно. При ретроспективном анализе пяти тысяч электрокардиограмм 2012 года выявлено, что распространенность укороченного P-Q сегодня составляет 6.9% от общей популяции населения, а в возрастной группе до 18 лет встречаемость укороченного P-Q составляет 10.8%. Относительное укорочение интерва-

ла P-Q по отношению к фактической ЧСС (P-Q 120-130 мс. при ЧСС 60-70) дополнительно встречается еще у 15% населения. В клинической, спортивной медицине проблеме укороченного P-Q, анализу причин приводящих к нему уделяется недостаточно внимания, хотя он и относится к факторам риска внезапной сердечной смерти.

В последние годы участились случаи внезапной смерти детей в школах на высоте физических, эмоциональных нагрузок. Объединяющим все эти случаи смерти, может быть внезапная сердечная смерть спровоцированная укороченным P-Q. Также в общем количестве укороченного P-Q отмечается значительная его часть без клинических проявлений, что также требует обоснования бессимптомности укорочения P-Q.

Причины, приводящие к укорочению интервала P-Q, связаны как, с дополнительными аномальными путями проведения электрического импульса (пучка Джеймса) между предсердиями и АВ пучком, с наличием генетических аномалий, с функциональными нарушениями проводящей системы сердца, вызванными различными патологическими факторами воздействия на

организм. Однако наличие дополнительных путей проведения не является главным и не объясняет факта стремительного роста этого ЭКГ феномена, не объясняет его динамику, нет однозначного понимания механизма активации – торможения дополнительных путей. Все эти факты также требуют своего обоснования и дополнительных акцентов в анализе ЭКГ.

Необходимым пояснением для изменения отношения к укорочению P-Q служат аксиомы физиологии – данные анатомии сердца, внутрисердечной гемодинамики, физиологии проведения импульсов в сердце.

С точки зрения внутрисердечной гемодинамики сердце работает в двухтактном режиме. Первый такт переводит кровь из предсердий в желудочки (зубец P), затем следует пауза (сегмент P-Q) и потом второй такт (комплекс QRS), который перемещает кровь из желудочков в сосудистое русло, что и находит свое отражение в графике ЭКГ.[4] (рис. 1).

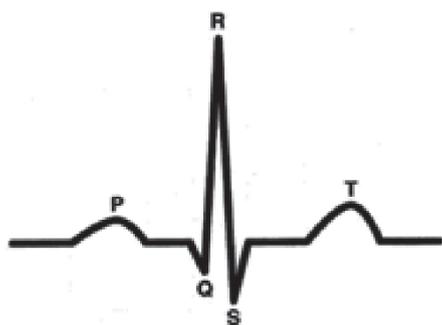


Рис. 1

С точки зрения физиологии, клинических тревог по поводу укороченного P-Q главным в анализе ЭКГ является понимание того для чего и какой величины должна быть пауза и что влияет на ее величину.

Характеристика работы AV узла. Электрический импульс из синусового узла направляется к АВ узлу по трем предсердным трактам. (Рис.2) Вследствие разной длины трактов время прихода импульса по каждому тракту – разное. Задержка и фильтрация волн возбуждения от предсердия к желудочкам, обеспечивает координированное сокращение предсердия и желудочков, что препятствует слишком частому возбуждению желудочков. Для синхронизации импульсов с целью их объединения снова в один импульс, идущий к желудочкам в AV

узле происходит замедление проводимости. [4] Импульс из СА узла достигает AV узла через 30 мс, когда предсердия сократились всего на одну треть. С этого момента начинается этап задержки импульса. Общая продолжительность задержки проведения в системе AV узла (AV соединения) составляет 130 мс и её можно условно разделить на две части. (рис. 3).

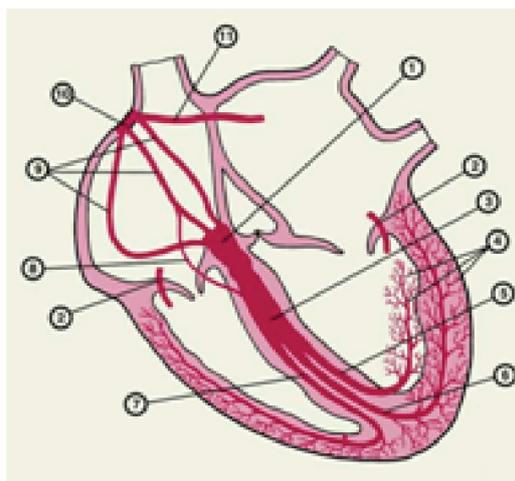


Рис. 2

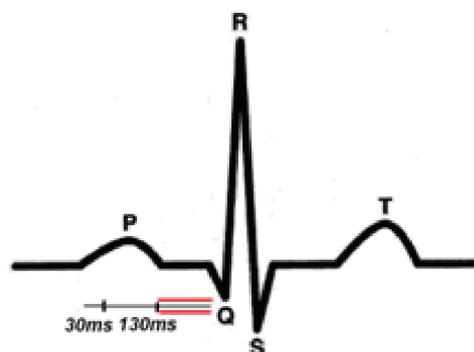


Рис. 3

Первая дает возможность предсердиям завершить деполяризацию (сокращение), вторая обеспечивает сердцу возможность (отраженную на ЭКГ сегментом P-Q) дополнительно, по потребности изменять ЧСС, не входя в состояние внутрисердечного гемодинамического конфликта. [5]

При отсутствии сегмента P-Q графика ЭКГ выглядит так. (рис. 4) При этом конфликта внутрисердечной гемодинамики еще нет.

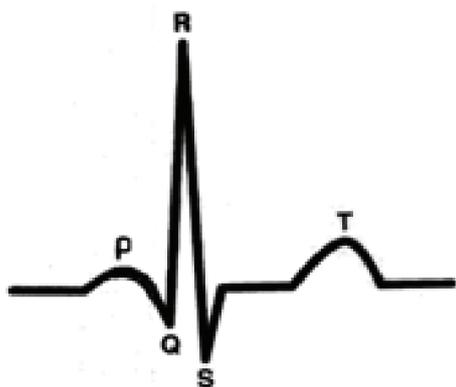


Рис. 4

В этом случае сразу после окончания сокращения предсердий начинается сокращение желудочков. В физиологии работы сердца заложен механизм изменения ЧСС (бради – тахикардия) в зависимости от потребности организма и именно сегмент P-Q формирует возможность сердца отвечать на нагрузку учащением ЧСС без развития внутрисердечного гемодинамического конфликта. Если бы этого сегмента не было бы, то время сокращения сердца не имело бы возможности изменяться, и сердце работало бы сразу на пределе своих возможностей, не реагируя на потребности организма (сон, бодрствование, нагрузка).

Если АВ узел не выполняет должной задержки импульса и проводит его на желудочки раньше, чем завершилось сокращение предсердий, то это является основой возникновения гемодинамического внутрисердечного конфликта.

Учащение ЧСС возможно за счет активации физиологических процессов, как в сердце, так и в организме в целом и графическим отображением этой активации является сокращение всех временных показателей ЭКГ (P, P-Q, QRS, Q-T, P-T, R-R) [3, 1]. Время сокращения предсердий достигает до 100-110 мс. [2, 4, 5]. В процессе увеличения ЧСС происходит изменение времени сокращения миокарда до 50 мс. В норме общее время прохождения импульса от синусового узла и до посылы импульса из АВ узла в желудочки составляет 160 мс. (при ЧСС 60-70) и на долю сегмента P-Q в этом случае приходится от 60 мс. Для практического анализа ЭКГ при различных ЧСС правильно оценивать не абсолютное время сегмента P-Q, а его процентное соотношение

к интервалу P-Q которое в норме составляет 30 % и более от общего интервала P-Q. На ЭКГ период сокращения предсердий и замедления проведения импульса в АВ узле выглядит в виде зубца Р и сегмента P-Q. С точки зрения физиологии интервал P-Q не должен быть меньше 120 мс., что и нашло свое отражение в нормативах ЭКГ, регламентирующих норму и патологию [3] этого показателя. Однако с точки зрения оценки риска развития кардиологической патологии, наиболее рациональным является оценка процентного соотношения сегмента P-Q к интервалу P-Q и его снижение ниже 30 % выходит за рамки физиологии.

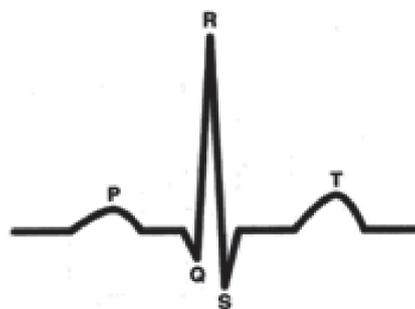


Рис. 5

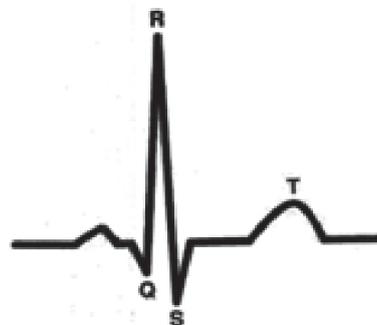


Рис. 6



Рис. 7

На рис. 5 ЭКГ при ЧСС 60 в минуту. Интервал P-Q 185мс., зубец P 100мс., сегмент P-Q 85 мс. Конфликта внутрисердечной гемодинамики – нет.

На рис. 6 ЭКГ при ЧСС 120 в минуту. Сокращение времени интервала P-Q до 115мс., зубца P до 70мс., сегмента P-Q до 45мс. Конфликта внутрисердечной гемодинамики – нет.

На рис. 7 ЭКГ при ЧСС 160 в минуту. Интервал P-Q 65мс., отсутствие сегмента P-Q, деполяризация предсердия накладывается на деполяризацию желудочков зубец P на R. Возникает конфликт внутрисердечной гемодинамики.

Внутрисердечный гемодинамический конфликт состоит в том, что опорожнению предсердий противостоит начинающееся сокращение желудочков, что в итоге приводит к уменьшению ударного объема крови в желудочках и перерастяжение стенок предсердий избыточным объемом крови (рис. 8, рис. 9).

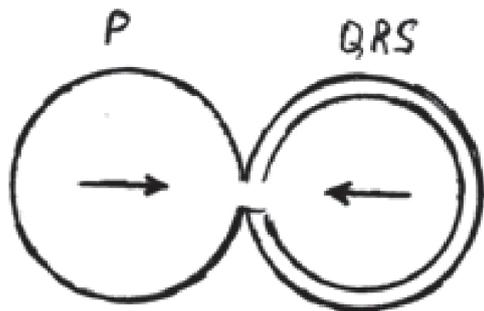


Рис. 8



Рис. 9

1. Перерастяжение камер предсердий в свою очередь приводит к активизации эк-

топических очагов водителя ритма и нарушению ритма сердца.

2. Недостаток поступления крови и кислорода к тканям организма во время увеличенной потребности (физическая нагрузка) приводит к гипоксии и нарушению клеточного метаболизма, что в свою очередь приводит к нарушению работы AV узла выражающееся в нарушениях ритма и проводимости.

Отсюда ясно, что когда сокращение предсердий начнет, накладывается на сокращение желудочков, это неизбежно приведет к срыву внутрисердечной гемодинамики и сбоям в работе сердца.

В оценке укороченного P-Q необходимо учитывать не столько время интервала P-Q, сколько наличие сегмента P-Q и его процентное соотношение к интервалу P-Q, чтобы определить несет ли в себе последний риск кардиальных нарушений.

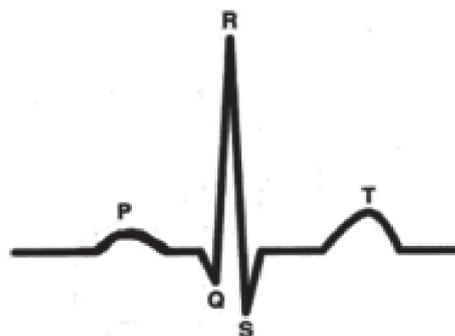


Рис. 10

На рис. 10 интервал P-Q 115 мс, зубец P 70 мс, сегмент P-Q 45 мс – (39.1%)

Несмотря на укороченный интервал P-Q физиологические параметры соотношения сегмента P-Q к интервалу P-Q в норме. Возможности сердца к учащению ЧСС в бесконфликтном гемодинамическом режиме в норме, что и находит свое отражение в бессимптомности выявляемого на практике укороченного интервала P-Q.

К примеру (рис. 11) если при наличии интервала P-Q равного 114 мс и ширина P составляет – 66мс, то на долю сегмента P-Q приходится 48 мс (или 44%) тогда эти показатели больше характеризуют индивидуальные величины нормальной ЭКГ, а не феномена укорочения P-Q, и не несут под собой клинических тревог, что актуально особенно в детской практике [1].

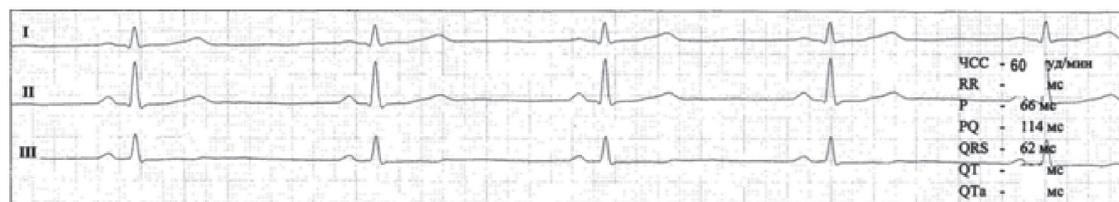


Рис. 11

С позиции клиники и рисков развития сердечной патологии ведущим показателем является не укорочение интервала P-Q, а укорочение – исчезновение сегмента P-Q (менее 30мс или нарушение его процентного соотношения к интервалу P-Q менее 30 %), как показателя риска возможного внутрисердечного гемодинамического конфликта с выходом в различные клинические симптомы кардиального неблагополучия.

Показатели интервала и сегмента P-Q не являются статическими величинами и постоянно меняются, реагируя на потребности организма, являясь частью природного механизма регуляции сердечного ритма. И этим механизмом является ускорение-замедление проведения импульса в AV соединении. Любое воздействие на организм, приводящее к изменению клеточного метаболизма может привести к изменению работы AV узла и повлиять на процессы торможения и проведения, что и находит свое отражение в динамике этих показателей при наблюдении.

Выводы

1. Элементы электрокардиограммы – зубец P, интервал P-Q, сегмент P-Q не обходимо анализировать и с позиций внутрисердечной гемодинамики, так как ее нарушения лежат в основе запуска серьезных нарушений работы сердца.

2. Главным критерием, обуславливающим симптомы кардиологических нарушений, является не сам укороченный интервал P-Q, а нарушение физиологического

соотношения интервала P-Q и сегмента P-Q. Исчезновение сегмента P-Q, запускает механизм гемодинамического внутрисердечного конфликта.

3. Укорочение интервала P-Q при нормальном его соотношении к сегменту P-Q не несет в себе клинических тревог синдрома CLC, однако. В этом случае требуется определение пороговой ЧСС, при которой возникает конфликт внутрисердечной гемодинамики.

4. Представителем механизма регуляции внутрисердечной гемодинамики является AV узел, (соединение).

5. Основные причины, вмешивающиеся в механизм замедления проведения электрического импульса к желудочкам сердца, лежат в функциональном, метаболическом поле, приводящие к временному нарушению функционирования AV соединения, что реализуется в разнообразные нарушения ритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кубергер М.Б. Руководство по клинической электрокардиографии детского возраста. – Медицина, 1983. – С. 36.
2. Косицкий Г.И. Физиология человека. – М.: Медицина, 1985 – С. 252 .
3. Мурашко В.В., А.В. Струтынский. Электрокардиография, 2007. – С. 18.
4. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии. – М.: Медицина, 1983. – С. 15-16
5. Покровский В.М. Коротько Г.Ф. Физиология человека, 2003. – С.235
6. Ткаченко Б.И. Нормальная физиология человека, 2005. – С. 396-398.
7. Удельнов М.Г. Физиология сердца: руководство для врачей. – М., 1975.

УДК 631.1:556.3:55(1/9)

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА ФОРМИРОВАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МАТЕРИКЕ

Макаренко Г.Л.

Тверской государственной технической университет, Тверь, e-mail: mgl777@mail.ru

Показано моделирование генетически унаследованной связи подземных и поверхностных вод за счет атмосферных осадков. Выявлены генетические цепочки взаимодействия и структуры природных объектов материка (суша, болото, озеро).

Ключевые слова: болото, торфяное месторождение, торф, торфонакопление, озеро, сапропель, озёрное месторождение сапропеля, природный ресурс

THE INFLUENCE OF CLIMATE ON THE FORMATION AND DISTRIBUTION OF NATURAL SITES ON THE MAINLAND

Makarenko G.L.

Tver State Technical University, Tver, e-mail: mgl777@mail.ru

Shows a simulation of genetically inherited ties of ground and surface water from precipitation. Are revealed genetic of the chain of interaction and structures of natural objects of the mainland (land, swamp, lake).

Keywords: bog, peat deposits, peat, peat accumulation, lake, sapropel, sapropel lacustrine deposits, natural resource

Общеизвестно, что грунтовые воды на некоторой глубине на водоупоре в составе водопроницаемого с поверхности слоя об-

разуют три зоны: аэрации, капиллярной каймы и полного водонасыщения (рис. 1; рис. 2, позиция 1).

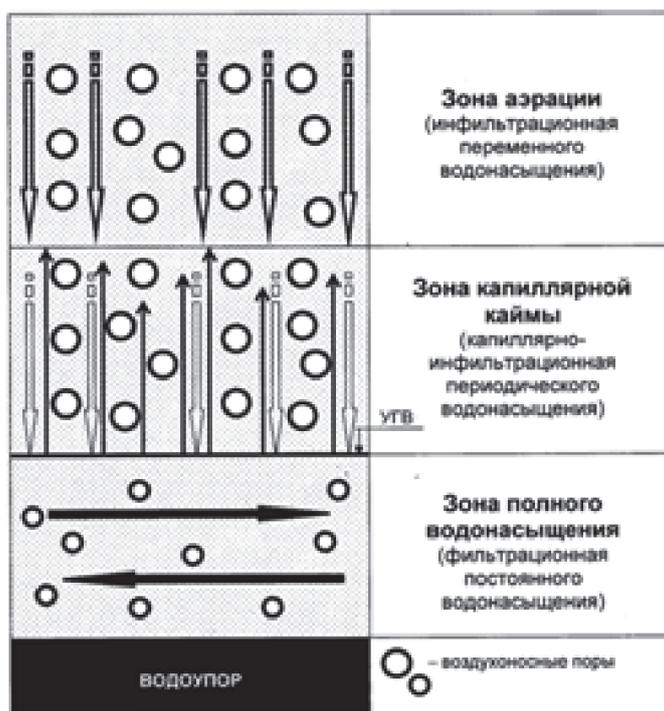


Рис. 1. Основные зоны грунтовой воды в минеральных отложениях

Каждая из приведенных зон может располагаться вблизи поверхности суши, образуя генетически взаимосвязанную цепь трёх основных видов природных объектов

(суша, болото, озеро) и связующих их контактных областей (рис. 2, позиция 2).

Состояние и характер изменения грунтовых вод и природных объектов суши в

полной мере определяется климатическим фактором (см. рис. 2, позиция 3). Так, в экстремально засушливый период летнего времени и малоснежный период зимнего времени на материке уменьшаются границы и меняется

режим озёр и болот, увеличивается площадь суши. Наоборот, в экстремально дождливый период летнего времени и снежный период зимнего времени границы озёр и болот увеличиваются, уменьшается площадь суши.

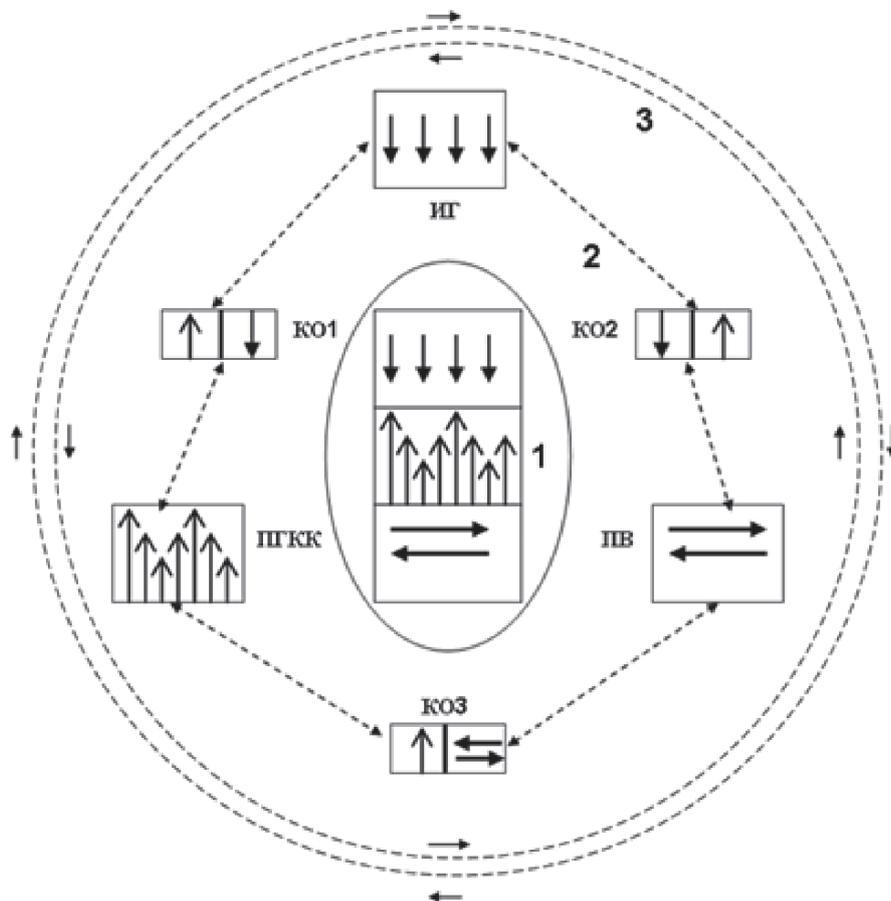


Рис. 2. Модель воздействия атмосферных осадков на состояние природных объектов на поверхности материка (суша, болото, озеро) и на положение грунтовых вод:
1 – состав и строение горизонтов грунтовых вод, 2 – генетическая цепь взаимодействия природных объектов суши, 3 – климатический фактор;
ИГ – инфильтрационный горизонт; ПГКК – подвижный горизонт капиллярной каймы; ПВ – поверхностные воды; КО1, КО2, КО3 – контактные области

Основные виды природных объектов самостоятельно развиваются по своим природным законам, где идет процесс развития геологической среды (рис. 3). На поверхности суши, преобладает инфильтрация природных вод на почвенном покрове получает развитие растительный покров. В области избыточного увлажнения суши за счет подвижного горизонта капиллярной каймы на её поверхности идет процесс формирования болот (торфяных месторождений), где основным фактором формирования растительного покрова и развития торфообразующего слоя является динамическая часть залежи [1, 2]. В озерах (мелководных пре-

сноводных водоёмах) в водной среде идёт процесс накопления озёрных отложений (месторождений) сапропеля, где основным сапропелеобразующим слоем в летнее время является пелоген [3].

Разработана модель воздействия атмосферных осадков на состояние грунтовых вод и природных объектов на поверхности материка. Показана тесная генетическая взаимосвязь и взаимозависимость климатического фактора с горизонтами грунтовых вод и условиями развития, составом и особенностями строения природных объектов на материке (суша, болото, озеро).

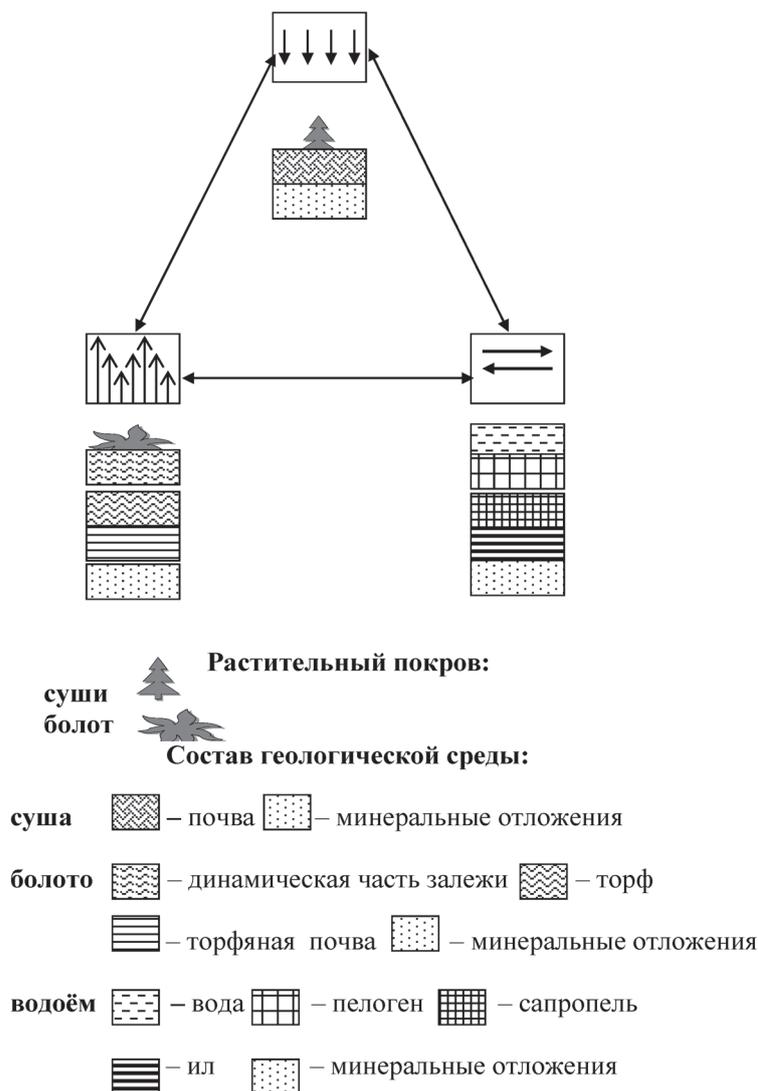


Рис. 3. Основная генетическая цепь взаимодействия и строения природных объектов материка

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Makarenko G.L. About the geological nature of peat bog European Science and Technology [Text] // materials of the II international research and practice conference, Vol. II, Wiesbaden, May 9th – 10th, 2012 / publishing office «Bildungszentrum Rodnik e. V.» – с. Wiesbaden, Germany, 2012. – p. 148 – 155.

2. Макаренко Г.Л. Геологическая природа болот: монография. 1-е изд. – Тверь: ТГТУ, 2009. – 163 с.

3. Макаренко Г.Л. Определение мощности пелогена и ошибки верхней границы сапрпеля зондированием в озёрах методами фотометрического и электрического каротажа // Межвуз. научн.-техн. сб. «Минеральное сырьё и нефтехимия» – Томск: ТПИ, 1977. – С. 83 – 87.

УДК 371

КУЛЬТУРА ПЕДАГОГИЧЕСКОГО СООБЩЕСТВА КАК СОЦИОКУЛЬТУРНЫЙ КОНТЕКСТ И СРЕДА РАЗВИТИЯ ЛИЧНОСТИ

Казарьянц К.Э.

ФГБОУ ВПО «Пятигорский государственный лингвистический университет», Пятигорск,
e-mail: artic060@yandex.ru

Проблемы, связанные с культурой в целом и культурой педагогического сообщества в частности, для отечественной философии, психологии, педагогики всегда были актуальными. В данной статье раскрываются теоретические, методологические методические положения индивидуальной культуры и культуры педагогического сообщества.

Ключевые слова: культура, постфигуративная, конфигуративная, префигуративная культура; индивидуальная культура; культурная среда; культура сообщества

PEDAGOGICAL COMMUNITY CULTURE AS A SOCIO-CULTURAL CONTEXT AND OF PERSONAL DEVELOPMENT ENVIRONMENT

Kazaryants K.E.

Pyatigorsk State Linguistic University, Pyatigorsk, e-mail: artic060@yandex.ru

Problems related to culture in General and the culture of the pedagogical community, in particular for domestic philosophy, psychology and pedagogy have always been relevant. The proposed article provides theoretical, methodological methodical, positions of individual culture and the culture of the pedagogical community

Keywords: Culture, postfigurative, configurational, prefuturative culture, individual culture, cultural environment, culture community

Понятие «культура» охватывает всю совокупность традиций сообщества, определяющих поведение его членов, включая и качественное своеобразие этих традиций в данное время и данном месте. Культура фиксирует особенности жизни этнической группы, данного географического ареала или сообщества – так говорят о культуре индейцев майя, восточной культуре (в противоположность западной) или субкультуре тинейджеров (подростков). Культура содержит в себе систему ценностей и идей, выражает реально значимые для сообщества психические состояния и определяет конкретные условия формирования личности.

Стремясь подчеркнуть единство культуры и ее роль как среды развития каждого отдельного человека сошлемся на слова древнегреческого философа Анаксимена, который заметил, что «наша душа, будучи воздухом, сплывает каждого из нас, и дыхание, и воздух охватывают весь космос». О культуре имеет смысл говорить только в связи с человеческой деятельностью. Культурная преемственность – это распространение информации о таких способах поведения, которые не передаются по наследству, отсутствуют во врожденных программах и приобретаются в процессе жизни, индивидуального развития.

Значительный вклад в изучение культурных традиций у людей внес выдающийся английский этнограф и историк Э.Б.

Тайлор. «Культура, или цивилизация, в широком этнографическом смысле, – писал он, – складывается в своем целом из знания, верований, искусства, нравственности, законов, обычаев и некоторых других способностей и привычек, усвоенных человеком как членом общества» [5]. Тайлор был одним из основоположников эволюционного подхода к изучению культуры, призванного учитывать и ее внутреннее единство, и разнообразие: «Явления культуры у различных человеческих обществ, поскольку могут быть исследованы лежащие в их основе общие начала, представляют предмет, удобный для изучения законов человеческой мысли и деятельности. С одной стороны, единообразие, так широко проявляющееся в цивилизации, в значительной мере может быть приписано однообразному действию однообразных причин. С другой стороны, различные ступени культуры могут считаться стадиями постепенного развития, из которых каждая является продуктом прошлого и в свою очередь играет известную роль в формировании будущего».

Американский этнограф Маргарет Мид [4] предложила следующую классификацию культур: постфигуративная, конфигуративная и префигуративная. В постфигуративной культуре дети учатся прежде всего у своих предшественников, в конфигуративной и дети, и взрослые учатся у сверстников, а в префигуративной взрослые

учатся также у своих детей. Культура примитивного общества была постфигуративной и довольно однородной, репертуар социальных ролей был невелик. По существу, неявно предполагалось, что все люди одинаковы и индивид будет снаряжен для жизни, если усвоит все способы взаимодействия с миром, какие существуют к данному моменту в обществе. Человек в примитивном племени приобщался к коллективным представлениям сообщества, участвуя в церемониях, связанных с рождением, смертью, деятельностью по поддержанию жизни. Такие обряды, как инициации – посвящение во взрослые, – по своей психологической наполненности были, по существу, актами принятия обязательств поддерживать завещанную предками традицию.

В такой культуре «каждое изменение протекает настолько медленно и незаметно, что деды, держа в руках новорожденных внуков, не могут представить себе для них никакого иного будущего, отличного от их собственного прошлого. Прошлое взрослых оказывается будущим каждого нового поколения; прожитое ими – это схема будущего для их детей» (Маргарет Мид). Примитивные общества, маленькие религиозные или идеологические анклавные главным образом постфигуративны, они основывают свою власть на прошлом.

Со временем преобразование культуры, появление нового признается полезным и становится узаконенным, разрабатываются даже специальные процедуры внедрения новшеств. Возникают и поддерживаются различные формы кофигуративного обучения – у коллег по учебе и труду. Культура становится более сложной по составу, расширяется диапазон социальных ролей.

Время префигуративной культуры наступило, поскольку ускорение общественного развития показало, что на протяжении жизни одного поколения появляются новые технологии, которые взрослые вынуждены перенимать у своих детей, если хотят не отстать от жизни (самым простым примером может служить использование компьютеров, в частности, в образовательных целях). Прошлое взрослых уже не может служить образцом для детей, и все вместе – дети и взрослые – с надеждой и страхом смотрят в будущее.

Система моделей сообщества – культура – представлена находящимися в обращении текстами, обычаями, нормами по-

ведения и т.д. Во взаимодействии со всем этим личность, проходя путь формирования в качестве члена данного сообщества, общается к тем ценностям, которые зафиксированы в культуре. В развитом обществе культура обладает достаточно высокой степенью разнообразия, чтобы личность, примеряясь к различным образцам, нашла себе ту или иную социально-культурную нишу, уместилась бы в ней. Однако, если бы дело ограничивалось только этим, продвижение вперед, усложнение всей системы моделей общества в целом было бы невозможным. Человек с ярким творческим потенциалом, желая во всем дойти до самой сути, ставит перед собой все более глубокие вопросы, на которые невозможно получить ответы в системе моделей, существующей к данному моменту в обществе. Стремление к познанию приводит его к пересмотру существующих в культуре представлений, а иногда и ценностей сообщества. Это требует особого, в сущности, противоречивого к ним отношения: приходится одновременно их принимать и не принимать, принадлежать к традиции, но не быть ею связанным, находиться внутри данной культуры (или субкультуры, или индивидуальной культуры) и смотреть на нее со стороны.

Путь индивидуальной культуры выстраивается в соответствии с собственной природой человека и культурой сообщества, он обеспечен и ограничен возможностями того и другого. Культура сообщества определяет горизонт развития культуры личности, но при наличии ярко выраженной творческой активности личности индивидуальная культура преобразует культуру сообщества.

Образование отдельного человека складывается и растет в ходе взаимодействия личности с культурой сообщества. Чем разнообразнее и шире контакты личности с мировой культурой, тем богаче перспективы индивидуального образования. Главная роль в организации этих контактов на протяжении веков принадлежала образовательным учреждениям (школам, университетам, академиям и т.п.), способным вывести обучающихся за узкие рамки культуры.

Культура – это то, что разделяют все или почти все члены данной социальной группы, что старшие передают младшим, что формирует поведение и представления данной социальной группы о мире. Наши чувства, мысли, поведение не случайны, а являются результатом национального

культурного наследия и исторического развития. И ощущать это мы начинаем лишь вступая в контакт с представителями других культур. Таким образом, культура есть совместный опыт (национальный, этнический, религиозный и т. д.), нашедший свое отражение в общем языке, стиле общения, обычаях, верованиях, представлениях и ценностях.

Обилие дефиниций культуры послужило стремлению упорядочить их, подводя под разного рода классификации, среди которых выделим следующие:

– *социологические*, в которых культура понимается как фактор организации общественной жизни, как совокупность идей, принципов, социальных институтов, обеспечивающих коллективную деятельность людей. «Культура – это то, что определяет социальный аспект человеческой личности с точки зрения усвоенного и приобретенного поведения. Культура динамична, равно как и личность, принявшая данную культуру, и обе они (как личность, так и культура) меняются под влиянием обстоятельств и времени. Но одновременно, ... культура – это коллективное программирование ума, которое отличает представителей одной категории людей от другой» [2];

– *исторические*, где подчеркивается, что культура есть продукт истории общества и развивается путем передачи приобретаемого человеком опыта от поколения к поколению. Например, «культура есть результат совместной жизнедеятельности, и основными составляющими культуры являются четко очерченная группа людей и определенная история их существования. Культура определяет способы, с помощью которых различные общества стандартизируют и канонизируют одобренные нормы поведения, а также методы, с помощью которых общество выражает неприятие несоответствующих моделей поведения» [Там же];

– *нормативные*, согласно которым, содержание культуры составляют нормы и правила, регламентирующие жизнь людей. Культура – «совокупность искусственных порядков и объектов, созданных людьми в дополнение к природным, заученных форм человеческого поведения и деятельности, обретенных знаний, образов самопознания и символических обозначений окружающего мира». Сюда же можно отнести определение культуры как «системы знаний и норм для восприятия, представления,

оценки и действия. Это система социально усвоенных моделей поведения, которая служит для взаимодействия людей с окружающим миром. Она развивается во времени и постоянно, хотя и медленно эволюционирует» [Там же];

– *психологические*, которые указывают на связь культуры с психологией поведения людей и видят в ней социально обусловленные особенности человеческой психики. «Культура – это образ жизни, тот контекст, в котором мы существуем, думаем, чувствуем и общаемся друг с другом. Это тот «клей», который соединяет в одно целое группу людей. Это программа, заложенная с раннего детства, которая управляет поведением людей в обществе и помогает понять, что от них ожидается и что случится, если эти ожидания не будут оправданы. Культуру можно определить как идеи, обычаи, навыки, методы и приемы, характеризующие данную группу людей в данный период времени». К данной группе определений можно отнести и такое: «Культура состоит из моделей поведения как выраженных, так и скрытых, приобретенных или переданных с помощью символов, являющихся отличительной чертой человеческого существа, и артефактов, олицетворяющих культуру; суть культуры заключается в традиционных идеях и присущих им ценностях» [2];

– *дидактические*, рассматривают культуру как то, чему человек научился (а не унаследовал генетически). Например: «Культура состоит из идеалов, ценностей и представлений о жизни, присущих людям и определяющих их поведение. Культура воспитывается и усваивается с детства и передается из поколения в поколение» [Там же];

– *антропологические* – предмет изучения культурной антропологии, например: «Культура – это совокупность результатов деятельности человеческого общества во всех сферах жизни и всех факторов (идей, верований, обычаев, традиций), составляющих и обуславливающих образ жизни нации, класса, группы людей в определенный период времени» [2].

Согласно Э. Холлу [Edward T. Hall, 1997], несмотря на разнообразие определений культуры, существует три объединяющих положения:

1) культура – не нечто врожденное, а приобретенное;

2) различные проявления культуры взаимосвязаны: затроньте одну ее часть – и это окажет воздействие на все остальное;

3) всем членам общества свойственны единые культурные ценности, и именно культура определяет границы различных социальных групп.

Термин «культура» может быть применен к любой социальной группе, которая выработала свое представление о себе, окружающем мире и своей роли в нем, т. е. группе со своим набором основных понятий. В широком смысле «культура» – это цивилизация, например, западная или восточная культура. Далее следуют страны или нации, например, американская или русская культура. Внутри каждой страны выделяются этнические культуры. Можно специфицировать и профессиональную культуру. Любая относительно стабильная социальная группа, имеющая общий опыт исторического развития, создает свою культуру. Следовательно, культура является средой существования человека: нет ни одного аспекта человеческой жизни, который не был бы затронут или на который не оказала бы влияние культура. Это касается личностных качеств, способов самовыражения, образа мысли, средств передвижения, путей решения проблем, планировки и размещения городов, а также функционирования экономических и административных систем. И в той же степени это относится к организациям: культура – среда существования и неотъемлемая часть любой организации.

В научной литературе имеется достаточно исследований, посвященных разным типам и видам культур. Трудно дать определение понятия «культура». Культура – это то, что объединяет людей. Культура, или цивилизация, в широком этнографическом смысле – то комплексное целое, что включает в себя знания, представления, искусство, мораль, закон, традицию, а также способности и привычки, приобретенные человеком как членом общества. Культура – это уникальный образ жизни, присущий определенной группе людей. Культура – это знания, передаваемые посредством общения, приобретенные черты поведения, которые принимаются членами общества и отражаются в их общественных структурах и артефактах. Культура не есть материальный феномен; она не состоит из вещей, людей, поведения или эмоций. Она скорее является организацией всего вышеупомянутого. Культура – это представления о вещах в сознании.

Важно отметить, что ряд исследователей процессов образования особо выделяют ба-

зовую роль культуры в процессах обучения и воспитания (Л.В. Ильченко, А.Е. Лоскутова, О.Е. Лебедев, А.В. Миронов, З.Я. Рахматуллина, В.Т. Фоменко, И.В. Абакумова, И.В. Демченко, А.Д. Московченко). Необходимый культурный уровень, определяемый государственным стандартом, дополняется потребностями личности обучающегося, индивидуальной траекторией его развития, возможностями и профессиональной компетентностью педагога. Культурная среда, сложившаяся в последнее столетие путем взаимодействия культур Востока и Запада, представляет собой весьма широкое образование. В то же время существует культурная среда, объединившая страны Западной и Восточной Европы. Место России в культурной среде евразийского континента всегда было очень сложным. Взаимодействие мирового культурного поля, культурного поля Европы, самобытность и самостоятельность национального ядра культуры России представляет собой весьма сложное системное явление, поэтому вопрос о культурологической грамотности преподавателя высшей школы приобретает особую актуальность. Особое значение в современном глобальном мире приобретает усвоение студентами следующих понятий: мировая культура, общие корни культур, многообразие культур, различия между культурами, взаимовлияние культур, культурная конвергенция, межкультурная коммуникация. Дипломированные специалисты должны также иметь представление о таких понятиях, как культура межнационального общения, культура мира, взаимопонимание, согласие, солидарность, сотрудничество, конфликт, ненасилие, толерантность и др. [3].

Приобретенные знания становятся основой для формирования ценностных ориентаций и гуманистического мировоззрения студентов в современном многокультурном обществе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусинский Э.Н., Турчанинова Ю.И. Введение в философию образования. – М.: Логос, 2003.
2. Казарьянц К.Э. Индивидуальная культура и культура педагогического сообщества: монография / К.Э. Казарьянц. – М.: Илекса; Ставрополь: Сервисшкола, 2007. – С. 12-14.
3. Казарьянц К.Э. Диалог культур в билингвальном образовании студентов / Отечественная и зарубежная педагогика. – 2003. – № 3. – С.143-152.
4. Маргарет Мид. Культура и мир детства. – М., 1988.
5. Тайлор Э.Б. Первобытная культура. – М.: Политиздат, 1989. – С. 119-120.
6. Hall E.T.: Monochronic and Polychronic Time. In: Samovar / Porter 1997, 277 – 284.

Физико-математические науки

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КЕРАМИК ИЗ
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ КЫРГЫЗСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ

Боркоев Б.М., Жердев А.М., Салиева К.Т.,
Кыдыралиева А.К.

Кыргызско-Турецкий университет «Манас», Бишкек,
e-mail: bakutb2008@rambler.ru

Электропроводность сложных керамических материалов обычно складывается из электропроводности нескольких имеющих фаз. Сюда относятся поры (с низкой проводимостью), стекловидная фаза (имеющая заметную электропроводность при высоких температурах) и кристаллы изоляторов (с низкой проводимостью).

Электропроводность керамических материалов определяется, в первую очередь, электропроводностью стеклообразной прослойки [1-2, 4]. Электропроводность многих диэлектрических кристаллов (слода, кварц, муллит, алюминоксид – Al_2O_3), мала. Поэтому керамический материал может обладать значительной электропроводностью, главным образом, за счет аморфной фазы. Следовательно, те практические выводы, которые были сделаны для стекол, можно с успехом применить к керамическим материалам. Керамический материал, содержащий большое количество аморфной фазы с щелочными оксидами (например, фарфор), должен обладать значительной электропроводностью; наоборот, керамический ма-

териал, содержащий малое количество аморфной фазы – мелкокристаллический – должен обладать малой электропроводностью. Введением оксидов двухвалентных металлов (например, BaO , CaO) можно понизить электропроводность керамического материала, содержащего щелочные оксиды.

Керамики имеют различное содержание оксидов натрия, калия, кальция и магния, однако суммарное содержание в них оксидов одновалентных металлов не превышает 5%, такая же предельная концентрация и двухвалентных оксидов. Можно полагать, что при таких содержаниях заметно первые – не разрыхляют, а вторые – не уплотняют структуру аморфной фазы керамики [1-4]. Следовательно, можно ожидать, что концентрация носителей заряда в керамике будет пропорциональна содержанию в ней оксида натрия.

Проведенные нами эксперименты имели целью выяснить, как влияет материальный состав (тип используемой глины и плавней) керамики и содержание в них оксидов металлов на энергию активации электропроводности. Эта информация необходима для оценки электроизоляционных свойств керамики из местных компонентов и выбора составов для изготовления подвергающихся нагреву изделий.

Для экспериментов по определению электропроводности на переменном токе использовали образцы масс М7 (пегматитом), М3 (с полевым шпатом) и М23 (на основе фарфорового камня).

Материальный состав изученных масс приведен в табл. 1.

Таблица 1

Материальный состав керамических масс для изучения температурной зависимости электропроводности

Компоненты	Состав массы, в масс.%		
	М7	М3	М23
Глина Кара-Киче	50	60	45
Глина Ново-Райская	5	5	10
Пегматит	35		
Полевой шпат		15	
Фарфоровый камень ТП-5			37
Волластонит			5
Шамот		10	
Бой фарфора	10	10	
Стекло			3+2% ZnO
Температура обжига, °С	1140, 2ч.	1130, 2ч.	1120, 2ч.

Масса М7 (использовавшаяся ранее в производстве) с пегматитом содержала, по сравнению с массой М3 с более высоким отношением K_2O/Na_2O , повышенное количество оксида натрия. В массе М23 с фарфоровым камнем и волластонитом обнаружена дополнительная кристаллизация стеклофазы при обжиге при 900 °С, представляло интерес выяснить, как кристаллизация связки отразится на электропроводности керамики. Для повышения связности к порошкам фарфоровым камнем добавлялось 10% высокопластичной Ново-Райской глины и клей ПВА в качестве выгорающей временной технологической связки.

Подготовка образцов и техника проведения эксперимента. Из всех масс методом прессования готовились стандартные образцы (по 3-5 шт.) для определения удельного сопротивления. Обжиг образцов проводился в лабораторной муфельной печи при температурах, обеспечивающих их полное спекание (водопоглощение не более 0,2%). После об-

жига торцевые поверхности образцов шлифовались, и центральная часть их покрывалась слоем серебра для формирования контактных. Металлизированный слой закреплялся на керамике путем вжигания при температуре 850 °С с выдержкой 2 ч.

Для удаления сорбированной влаги образцы прогревались при температуре 150 °С, 2 ч. и теплыми помещались в установку. Нагрев печи производился с изотермическими выдержками через 20-50 °С до уменьшения разницы температур муфеля печи и центральной части образца не более 3 °С. Время достижения такого температурного равновесия колебалось от 30 (в интервале 40-200 °С) до 10-15 минут (при более высоких температурах). Температура внутри муфеля и в центре образца измерялась отдельными термометрами в комплекте с цифровыми приборами с точностью до 1 °С.

Установка для измерения электропроводности керамики. В проведенных исследованиях температурной зависимости электропроводности использо-

валась специально изготовленная печь, позволяющая нагревать керамические образцы, изготовленные согласно ГОСТ 24409-80, в интервале температур 20...800 °С. Измерения проводились на постоянном токе, сила тока через образец определялась по показаниям цифрового прибора В7-21.

Установка для измерения электропроводности керамик на переменном токе. Для реализации этого метода был разработан и изготовлен генератор низких частот. Эффекты, связанные с электролизом керамики, могут быть устранены лишь при равенстве за период колебания зарядов, протекающих через образец в прямом и обратном направлениях. Для этого необходима строго одинаковая длительность действия прямого и обратного напряжений одной амплитуды.

Был выбран вариант – длительность действия на образец одной полярности напряжения 11-12 с, регистрация силы протекающего через образец тока производилась через 8-10 с после смены полярности.

Величина прикладываемой к образцу разности потенциалов выбрана равной 30 В. Выбор такого напряжения, с одной стороны, затруднял измерение очень малых токов через образец при низких температурах, но ограничивал, с другой стороны, силу тока (<15 мА) при высоких температурах.

Для повышения надежности контактов между прижимными электродами (нержавеющая сталь) и металлизированными участками на поверхности керамики, на металлизацию наклеивались (токопроводящим клеем на основе коллоидного серебра) отрезки тонкой серебряной проволоки.

Измерения электропроводности керамик. Отсчеты силы протекающего при данной температуре через образец тока проводился как при прямой, так и обратной разности приложенных к образцу потенциалов. Средние абсолютных значений силы тока I через образец за период использовались для расчета его электрического сопротивления R

$$R = U/I,$$

где U приложенная к образцу разность потенциалов, удельного сопротивления $\rho = (R\pi d^2)/4h$ (Ом·см), где d – диаметр контактных площадок (см), h – толщина образца (см), и удельной электропроводности $\sigma = 1/\rho$.

Как и другие, термически активируемые процессы, удельное сопротивление ρ и проводимость σ стекол и керамик связаны с энергией активации экспоненциальной зависимостью: $\sigma = 1/\rho = \sigma_0 \cdot \exp(-Q/2RT)$, если энергия Q измеряется в Дж/моль (для молекул типа Na_2O , содержащей два иона натрия) [1]. Часто эту энергию относят к одному иону и измеряют в электрон-вольтах, тогда $\sigma = 1/\rho = \sigma_0 \cdot \exp(-E_a/kT)$, где k – постоянная Больцмана ($0,8617 \cdot 10^{-4}$ эВ/К). Логарифмируя последнее равенство, получим линейное уравнение

$$\ln \sigma = (-E_a/kT) + \ln \sigma_0.$$

Логарифм сопротивления ρ также обратно пропорционален абсолютной температуре T $\ln \rho = (A/kT) + C$, где A и C – постоянные (закон Раша – Хинриксена [5]).

Фактически, из экспериментальной зависимости электропроводности как функции обратной абсолютной температуры рассчитываем некоторую эффективную энергию активации E_a , которая даже для твердых стекол имеет сложный смысл.

Обработка результатов экспериментов проводилась с использованием электронных таблиц Excel.

Если по экспериментальным данным построить зависимость $\ln \sigma$ ($\sigma = 1/\rho$) от $1/kT$ (k – постоянная Больцмана ($0,8617 \cdot 10^{-4}$ эВ/К)), то угловой коэффициент аппроксимирующей прямой $|k|$ равен E_a , в электрон-вольтах (энергия активации, по определению, величина положительная).

Значения E_a по результатам измерений температурной зависимости электропроводности на постоянном токе и переменном токе низкой частоты приведены в табл. 2.

Сопоставление данных температурной зависимости электропроводности образцов массы М7 и М3 при измерениях на постоянном токе и на переменном токе низкой частоты показывает:

– при измерениях на постоянном токе отчетливо выделяются две области зависимости $\ln \sigma$ от $1/kT$, с заметно различающимися углами наклона аппроксимирующих прямых, и соответственно, значениями E_a – низкотемпературная (до 300-400 °С) и высокотемпературная (с более низкими значениями E_a). Для большинства изученных в керамик в высокотемпературную область происходит, когда плотность тока через образец превышает 10 мкА/см².

При измерениях на переменном токе низкой частоты во всем диапазоне температур зависимость $\ln \sigma$ от $1/kT$ достаточно хорошо (с коэффициентом определенности R^2 выше 0,999) аппроксимируется одной прямой. Изменения E_a в пределах изученного температурного диапазона не наблюдается.

– для масс М7 и М3 значения E_a по измерениям на переменном токе, и на постоянном в низкотемпературной области, достаточно близки (табл. 2).

В то же время данные по энергии активации E_a , полученные на переменном токе для массы М23 ($0,88$ эВ), заметно ниже, чем на постоянном токе (1,0 эВ).

Следует отметить, что по данным табл. 2, воспроизводимость повторных определений энергий активации проводимости на переменном токе существенно выше, чем на постоянном токе.

Таблица 2

Значения E_a по результатам измерений температурной зависимости электропроводности на постоянном токе и переменном токе низкой частоты

Масса, № измерения	Постоянный ток			Переменный ток		
	температура °С	R^2	E_a , эВ	E_a , эВ	R^2	температура °С
M7-1	100-290	0,999	0,81	0,7702	0,9992	100-600
M7-2	100-460	0,999	0,7833	0,7621	0,9994	105-600
M3-1	80-300	0,9989	0,8435	0,8412	0,9991	103-600
M3-2	90-440	0,9957	0,8232	0,8338	0,9996	98-600
M3-3				0,8377	0,9992	93-600
M23-1	125-600	0,9996	1,01	0,9041	0,999	150-600
M23-2	120-540	0,9992	1,044	0,8823	0,9992	180-600
M23-3				0,8886	0,9997	110-650
M23-4				0,8866	0,9996	110-650

Из данных табл. 2 так же следует, что энергия активации носителей заряда в массе М3 с полевым шпатом (0.835 эВ) заметно выше, чем в массе М7 с пегматитом (0,79 эВ).

Таким образом, на основе проведенных исследований можно отметить следующее:

1. Энергия активации электропроводности в керамиках из местных компонентов (глина Кара-Киче, полевой шпат) несколько ниже, чем в типовом электрофарфоре.

2. Высокие значения энергии активации имеют керамики с фарфоровым камнем и добавками волластонита. Подобные массы можно рекомендовать для производства электроизоляционных изделий, предназначенных для работы при повышенных температурах (200-400 °С).

Список литературы

1. Кингери У.Д. Введение в керамику. – М.: Стройиздат, 1967. 498 с.
2. Августинник А.И. Керамика. – Л.: Стройиздат, 1975. 592 с.
3. Немилев С.В. Оптическое материаловедение: Оптические стекла. Курс лекций. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 175 с.
4. Сканиви Г.И. Физика диэлектриков. Область слабых полей. Часть 1. – М.: ГТТИ, 1949. – 500 с.
5. Зальманг Г. Физико-химические основы керамики. – М.: Госстройиздат, 1959. – 396 с.

К НОВЫМ ОСНОВАМ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Брусин С.Д., Брусин Л.Д.

e-mail: leobrusin@mail.ru

Книга авторов – лауреатов Международного научного фонда по фундаментальным исследованиям включает 3 раздела.

В разделе I проанализировано развитие фундаментальной науки и показано, что современное атомистическое учение с основой на постулате Демокрита (все в мире состоит из частиц и пустоты), привело науку к внедрению неверных гипотез и теорий, опирающихся на некорректно объяснимые эксперименты. Это, прежде всего, несостоятельность молекулярно-кинетической теории теплоты, невозможность поиска первоматерии в виде частицы, в том числе бозона Хиггса на БАК; ошибки в теории Большого

взрыва и расширения Вселенной, недостаточность понимания природы света; приведшего к дуализму в науке, отсутствие понимания природы магнетизма, базирующегося лишь на экспериментальных данных и, наконец, предложенное А. Эйнштейном решение кризиса теоретической физики, возникшего в конце 19 века, с помощью теории относительности.

В разделе II обосновывается необходимость перехода науки на новые основы, базирующиеся на постулате Аристотеля (в мире нет ни малейшего объема пустоты и все пространство между мельчайшими частицами заполнено материальной средой). Правильное название этой среды – эфир, который не имеет дискретных образований, принадлежит всем телам и частицам, и плотность его по мере удаления от них непрерывно убывает в соответствие с силами гравитации, определяемые законом Ньютона. При этом на основании раскрытых свойств эфира доказываются: 1) эфирная теория теплоты; 2) эфирная теория давления в газах; 3) эфирная теория магнетизма.

В раздел III включены следующие работы: 1. Раскрытие сущности опытов, объясняемых теорией относительности. 2. Что же такое свет. 3. Ошибка Эдвина Хабла. 4. Раскрытие тайны темной материи. 5. Непланетарная модель атома, вещество и антивещество. 6. Природа ядерных сил. 7. О природе электрона и позитрона; аннигиляция веществ. 8. Теоретические основы тепловой энергии. 9. Идеальные газы с позиций новых основ естествознания. 10. Теоретические доказательства законов термодинамики. 11. Вопросы магнетизма на новой основе естествознания. 12. К вопросу о физических основах гомеопатии. 13. Решение других научных проблем.

Кроме этого дается решение двух важнейших научно-технических задач:

1. Показана сущность процессов в большом адронном коллайдере и бесполезность получение на нем поставленных целей.

2. Раскрыта причина аварии на Саяно-Шушенской ГЭС.

Переход на новые основы естествознания даст новый успех прикладных решений.

**В журнале Российской Академии Естествознания
«Современные наукоемкие технологии» публикуются:**

Журнал публикует обзорные и теоретические статьи, материалы международных научных конференций (тезисы докладов) по:

- 1. Физико-математическим наукам.**
- 2. Химическим наукам.**
- 3. Геолого-минералогическим наукам.**
- 4. Техническим наукам.**

Редакция журнала просит авторов при направлении статей в печать руководствоваться изложенными ниже правилами. Работы, присланные без соблюдения перечисленных правил, возвращаются авторам без рассмотрения.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

По техническим наукам принимаются статьи по следующим направлениям:

- 05.02.00 Машиностроение и машиноведение
- 05.03.00 Обработка конструкционных материалов в машиностроении
- 05.04.00 Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение
- 05.05.00 Транспортное, горное и строительное машиностроение
- 05.09.00 Электротехника
- 05.11.00 Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы
- 05.12.00 Радиотехника и связь
- 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление
- 05.16.00 Металлургия
- 05.17.00 Химическая технология
- 05.18.00 Технология продовольственных продуктов
- 05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем
- 05.21.00 Технология, машины и оборудование лесозаготовок, лесного хозяйства, деревопереработки и химической переработки биомассы дерева
- 05.22.00 Транспорт
- 05.23.00 Строительство
- 05.26.00 Безопасность деятельности человека

При написании и оформлении статей для печати редакция журнала просит придерживаться следующих правил.

1. В структуру статьи должны входить: введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы.

2. Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Каждая таблица снабжается заголовком и вставляется в текст после абзаца с первой ссылкой на нее.

3. Количество графического материала должно быть минимальным (не более 5 рисунков). Каждый рисунок должен иметь подпись (под рисунком), в которой дается объяснение всех его элементов. Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу Microsoft Office Excel. Каждый рисунок вставляется в текст как объект Microsoft Office Excel.

4. Библиографические ссылки в тексте статьи следует давать в квадратных скобках в соответствии с нумерацией в списке литературы. Список литературы для оригинальной статьи – не более 10 источников. Список литературы составляется в алфавитном порядке – сначала отечественные, затем зарубежные авторы и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008.

5. Объем статьи не должен превышать 8 страниц формата А4 (1 страница – 2000 знаков, шрифт 12 Times New Roman, интервал – 1,5, поля: слева, справа, верх, низ – 2 см), включая таблицы, схемы, рисунки и список литературы.

6. При предъявлении рукописи необходимо сообщать индексы статьи (УДК) по таблицам Универсальной десятичной классификации, имеющейся в библиотеках.

7. К рукописи должен быть приложен краткий реферат (резюме) статьи на русском и английском языках.

Реферат объемом до 10 строк должен кратко излагать предмет статьи и основные содержащиеся в ней результаты.

Реферат подготавливается на русском и английском языках.

Используемый шрифт – курсив, размер шрифта – 10 пт.

Реферат на английском языке должен в начале текста содержать заголовок (название) статьи, инициалы и фамилии авторов также на английском языке.

8. Обязательное указание места работы всех авторов, их должностей и контактной информации.

9. Наличие ключевых слов для каждой публикации.

10. Указывается шифр основной специальности, по которой выполнена данная работа.

11. Редакция оставляет за собой право на сокращение и редактирование статей.

12. Статья должна быть набрана на компьютере в программе Microsoft Office Word в одном файле.

13. В редакцию по электронной почте edition@rae.ru необходимо предоставить публикуемые материалы, сопроводительное письмо и копию платежного документа. Оригиналы запрашиваются редакцией при необходимости.

14. Рукописи статей, оформленные не по правилам не рассматриваются. Присланные рукописи обратно не возвращаются. Не допускается направление в редакцию работ, которые посланы в другие издания или напечатаны в них.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 615.035.4

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРИОДА ТИТРАЦИИ ДОЗЫ ВАРФАРИНА У ПАЦИЕНТОВ С ФИБРИЛЛЯЦИЕЙ ПРЕДСЕРДИЙ. ВЗАИМОСВЯЗЬ С КЛИНИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ¹Шварц Ю.Г., ¹Артанова Е.Л., ¹Салеева Е.В., ¹Соколов И.М.

¹ГОУ ВПО «Саратовский Государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского Минздрава России», Саратов, Россия (410012, Саратов, ГСП ул. Большая Казачья, 112), e-mail: kateha007@bk.ru

Проведен анализ взаимосвязи особенностей индивидуального подбора терапевтической дозы варфарина и клинических характеристик у больных фибрилляцией предсердий. Учитывались следующие характеристики периода подбора дозы: окончательная терапевтическая доза варфарина в мг, длительность подбора дозы в днях и максимальное значение международного нормализованного отношения (МНО), зарегистрированная в процессе титрования. При назначении варфарина больным с фибрилляцией предсердий его терапевтическая доза, длительность ее подбора и колебания при этом МНО, зависят от следующих клинических факторов – инсульты в анамнезе, наличие ожирения, поражения щитовидной железы, курения, и сопутствующей терапии, в частности, применение амиодарона. Однако у пациентов с сочетанием ишемической болезни сердца и фибрилляции предсердий не установлено существенной зависимости особенностей подбора дозы варфарина от таких характеристик, как пол, возраст, количество сопутствующих заболеваний, наличие желчнокаменной болезни, сахарного диабета II типа, продолжительность аритмии, стойкости фибрилляции предсердий, функционального класса сердечной недостаточности и наличия стенокардии напряжения. По данным непараметрического корреляционного анализа изучаемые нами характеристики периода подбора терапевтической дозы варфарина не были значимо связаны между собой.

Ключевые слова: варфарин, фибрилляция предсердий, международное нормализованное отношение (МНО)

CHARACTERISTICS OF THE PERIOD DOSE TITRATION WARFARIN IN PATIENTS WITH ATRIAL FIBRILLATION. RELATIONSHIP WITH CLINICAL FACTORS¹Shvarts Y.G., ¹Artanova E.L., ¹Saleeva E.V., ¹Sokolov I.M.

¹Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky, Saratov, Russia (410012, Saratov, street B.Kazachya, 112), e-mail: kateha007@bk.ru

We have done the analysis of the relationship characteristics of the individual selection of therapeutic doses of warfarin and clinical characteristics in patients with atrial fibrillation. Following characteristics of the period of selection of a dose were considered: a definitive therapeutic dose of warfarin in mg, duration of selection of a dose in days and the maximum value of the international normalised relation (INR), registered in the course of titration. Therapeutic dose of warfarin, duration of its selection and fluctuations in thus INR depend on the following clinical factors – a history of stroke, obesity, thyroid lesions, smoking, and concomitant therapy, specifically, the use of amiodarone, in cases of appointment of warfarin in patients with atrial fibrillation. However at patients with combination Ischemic heart trouble and atrial fibrillation it is not established essential dependence of features of selection of a dose of warfarin from such characteristics, as a sex, age, quantity of accompanying diseases, presence of cholelithic illness, a diabetes of II type, duration of an arrhythmia, firmness of fibrillation of auricles, a functional class of warm insufficiency and presence of a stenocardia of pressure. According to the nonparametric correlation analysis characteristics of the period of selection of a therapeutic dose of warfarin haven't been significantly connected among themselves.

Keywords: warfarin, atrial fibrillation, an international normalized ratio (INR)

Введение

Фибрилляция предсердий (ФП) – наиболее встречаемый вид аритмии в практике врача [7]. Инвалидизация и смертность больных с ФП остается высокой, особенно от ишемического инсульта и системные эмболии [4]...

Список литературы

1....

Список литературы

Единый формат оформления приставных библиографических ссылок в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008 «Библиографическая ссылка»

(Примеры оформления ссылок и приставных списков литературы)

Статьи из журналов и сборников:

Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопр. философии. – 1992. – № 10. – С. 76-86.

Crawford P.J. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works / P.J. Crawford, T. P. Barrett // Ref. Libr. – 1997. Vol. 3, № 58. – P. 75-85.

Заголовок записи в ссылке может содержать имена одного, двух или трех авторов документа. Имена авторов, указанные в заголовке, могут не повторяться в сведениях об ответственности.

Crawford P.J., Barrett T. P. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works // Ref. Libr. 1997. Vol. 3. № 58. P. 75-85.

Если авторов четыре и более, то заголовок не применяют (ГОСТ 7.80-2000).

Корнилов В.И. Турбулентный пограничный слой на теле вращения при периодическом вдуве/отсосе // Теплофизика и аэромеханика. – 2006. – Т. 13, № 3. – С. 369-385.

Кузнецов А.Ю. Консорциум – механизм организации подписки на электронные ресурсы // Российский фонд фундаментальных исследований: десять лет служения российской науке. – М.: Науч. мир, 2003. – С. 340-342.

Монографии:

Тарасова В.И. Политическая история Латинской Америки : учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.: Проспект, 2006. – С. 305-412.

Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.

Философия культуры и философия науки: проблемы и гипотезы : межвуз. сб. науч. тр. / Саратов. гос. ун-т; [под ред. С. Ф. Мартыновича]. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1999. – 199 с.

Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованных не из предписанного источника информации.

Райзберг Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Л.У. Лозовский, Е.Б. Стародубцева. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 494 с.

Заголовок записи в ссылке может содержать имена одного, двух или трех авторов документа. Имена авторов, указанные в заголовке, не повторяются в сведениях об ответственности. Поэтому:

Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 494 с.

Если авторов четыре и более, то заголовок не применяют (ГОСТ 7.80-2000).

Авторефераты

Глухов В.А. Исследование, разработка и построение системы электронной доставки документов в библиотеке: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2000. – 18 с.

Диссертации

Фенухин В. И. Этнополитические конфликты в современной России: на примере Северокавказского региона : дис.... канд. полит, наук. – М.. 2002. – С. 54-55.

Аналитические обзоры:

Экономика и политика России и государств ближнего зарубежья : аналит. обзор, апр. 2007 / Рос. акад. наук, Ин-т мировой экономики и междунар. отношений. – М. : ИМЭМО, 2007. – 39 с.

Патенты:

Патент РФ № 2000130511/28, 04.12.2000.

Еськов Д.Н., Бонштедт Б.Э., Корешев С.Н., Лебедева Г.И., Серегин А.Г. Оптико-электронный аппарат // Патент России № 2122745.1998. Бюл. № 33.

Материалы конференций

Археология: история и перспективы: сб. ст. Первой межрегион, конф. Ярославль, 2003. 350 с.

Марьянских Д.М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11-12 сент. 2000 г.). – Новосибирск, 2000. – С. 125-128.

Интернет-документы:

Официальные периодические издания : электронный путеводитель / Рос. нац. б-ка, Центр правовой информации. [СПб.], 20052007. URL: <http://www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html> (дата обращения: 18.01.2007).

Логинова Л. Г. Сущность результата дополнительного образования детей // Образование: исследовано в мире: междунар. науч. пед. интернет-журн. 21.10.03. URL: <http://www.oim.ru/reader.asp?nomers=366> (дата обращения: 17.04.07).

Рынок тренингов Новосибирска: своя игра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nsk.adme.ru/news/2006/07/03/2121.html> (дата обращения: 17.10.08).

Литчфорд Е. У. С Белой Армией по Сибири [Электронный ресурс] // Восточный фронт Армии Генерала А. В. Колчака: сайт. – URL: <http://east-front.narod.ru/memo/latchford.htm> (дата обращения 23.08.2007).

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Краткие сообщения представляются объемом не более 1 стр. машинописного текста без иллюстраций. Электронный вариант краткого сообщения может быть направлен по электронной почте edition@rae.ru.

ФИНАНСОВЫЕ УСЛОВИЯ

Статьи, представленные членами Академии (профессорами РАЕ, членами-корреспондентами, действительными членами с указанием номера диплома) публикуются на льготных условиях. Члены РАЕ могут представить на льготных условиях не более одной статьи в номер.

Для членов РАЕ стоимость одной публикации – 350 рублей.

Для других специалистов (не членов РАЕ) стоимость одной публикации – 1250 рублей.

Публикация для аспирантов бесплатно (единственный автор).

Краткие сообщения публикуются без ограничений количества представленных материалов от автора (300 рублей для членов РАЕ и 400 рублей для других специалистов). Краткие сообщения, как правило, не рецензируются. Материалы кратких сообщений могут быть отклонены редакцией по этическим соображениям, а также в виду явного противоречия здравому смыслу. Краткие сообщения публикуются в течение двух месяцев.

Оплата вносится перечислением на расчетный счет.

Получатель ИНН 5837035110 КПП 583701001 ООО «Издательство «Академия Естествознания»	Сч. №	40702810822000010498
Банк получателя АКБ «АБСОЛЮТ БАНК» (ЗАО) г. Москва	БИК Сч. №	044525976 30101810500000000976

Назначение платежа: Издательские услуги. Без НДС. ФИО.

Публикуемые материалы, сопроводительное письмо, копия платежного документа направляются по адресу:

– г. Москва, 105037, а/я 47, АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ, редакция журнала «СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» (для статей)

или

– по электронной почте: edition@rae.ru. При получении материалов для опубликования по электронной почте в течение семи рабочих дней редакцией высылается подтверждение о получении работы.

☎ (499)-7041341, (8452)-477677,

(8452)-534116

Факс (8452)-477677

✉ stukova@rae.ru;

edition@rae.ru

<http://www.rae.ru>;

<http://www.congressinform.ru>

**Библиотеки, научные и информационные организации,
получающие обязательный бесплатный экземпляр печатных изданий**

№ п/п	Наименование получателя	Адрес получателя
1.	Российская книжная палата	121019, г. Москва, Кремлевская наб., 1/9
2.	Российская государственная библиотека	101000, г. Москва, ул. Воздвиженка, 3/5
3.	Российская национальная библиотека	191069, г. Санкт-Петербург, ул. Садовая, 18
4.	Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук	630200, г. Новосибирск, ул. Восход, 15
5.	Дальневосточная государственная научная библиотека	680000, г. Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, 1/72
6.	Библиотека Российской академии наук	199034, г. Санкт-Петербург, Биржевая линия, 1
7.	Парламентская библиотека аппарата Государственной Думы и Федерального собрания	103009, г. Москва, ул. Охотный ряд, 1
8.	Администрация Президента Российской Федерации. Библиотека	103132, г. Москва, Старая пл., 8/5
9.	Библиотека Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова	119899, г. Москва, Воробьевы горы
10.	Государственная публичная научно-техническая библиотека России	103919, г. Москва, ул. Кузнецкий мост, 12
11.	Всероссийская государственная библиотека иностранной литературы	109189, г. Москва, ул. Николаямская, 1
12.	Институт научной информации по общественным наукам Российской академии наук	117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, 51/21
13.	Библиотека по естественным наукам Российской академии наук	119890, г. Москва, ул. Знаменка 11/11
14.	Государственная публичная историческая библиотека Российской Федерации	101000, г. Москва, Центр, Старосадский пер., 9
15.	Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук	125315, г. Москва, ул. Усиевича, 20
16.	Государственная общественно-политическая библиотека	129256, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, корп. 2
17.	Центральная научная сельскохозяйственная библиотека	107139, г. Москва, Орликов пер., 3, корп. В
18.	Политехнический музей. Центральная политехническая библиотека	101000, г. Москва, Политехнический пр-д, 2, п. 10
19.	Московская медицинская академия имени И.М. Сеченова, Центральная научная медицинская библиотека	117418, г. Москва, Нахимовский пр-кт, 49
20.	ВИНИТИ РАН (отдел комплектования)	125190, г. Москва, ул. Усиевича, 20, комн. 401.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

ДЛЯ ВАШЕГО УДОБСТВА ПРЕДЛАГАЕМ РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ
ПОДПИСКИ НА ЖУРНАЛ «СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Стоимость подписки

На 1 месяц (2013 г.)	На 6 месяцев (2013 г.)	На 12 месяцев (2013 г.)
720 руб. (один номер)	4320 руб. (шесть номеров)	8640 руб. (двенадцать номеров)

Заполните приведенную ниже форму и оплатите в любом отделении сбербанка.



Извещение	СБЕРБАНК РОССИИ <i>Форма № ПД-4</i>	
	ООО «Издательский Дом «Академия Естествознания» (наименование получателя платежа)	
	ИНН 5836621480	40702810500000035366
	(ИНН получателя платежа)	(номер счёта получателя платежа)
	ЗАО АКБ «ЭКСПРЕСС-ВОЛГА» г. Саратов (наименование банка получателя платежа)	
	БИК 046311808	30101810600000000808
	КП 583601001	(№ кор./сч. банка получателя платежа)
	Ф.И.О. плательщика _____ Адрес плательщика _____ Подписка на журнал « _____ » (наименование платежа)	
	Сумма платежа _____ руб. _____ коп. Сумма оплаты за услуги _____ руб. _____ коп.	
	Итого _____ руб. _____ коп. «_____» _____ 201_г.	
Кассир	С условиями приёма указанной в платёжном документе суммы, в т.ч. суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен	
	Подпись плательщика _____	
	СБЕРБАНК РОССИИ <i>Форма № ПД-4</i>	
	ООО «Издательский Дом «Академия Естествознания» (наименование получателя платежа)	
	ИНН 5836621480	40702810500000035366
	(ИНН получателя платежа)	(номер счёта получателя платежа)
	ЗАО АКБ «ЭКСПРЕСС-ВОЛГА» г. Саратов (наименование банка получателя платежа)	
	БИК 046311808	30101810600000000808
	КП 583601001	(№ кор./сч. банка получателя платежа)
	Ф.И.О. плательщика _____ Адрес плательщика _____ Подписка на журнал « _____ » (наименование платежа)	
Сумма платежа _____ руб. _____ коп. Сумма оплаты за услуги _____ руб. _____ коп.		
Итого _____ руб. _____ коп. «_____» _____ 201_г.		
Кассир	С условиями приёма указанной в платёжном документе суммы, в т.ч. суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен	
	Подпись плательщика _____	



Копию документа об оплате вместе с подписной карточкой необходимо выслать по факсу 845-2-47-76-77 или **E-mail: stukova@rae.ru**

Подписная карточка

Ф.И.О. ПОЛУЧАТЕЛЯ (ПОЛНОСТЬЮ)	
АДРЕС ДЛЯ ВЫСЫЛКИ ЗАКАЗНОЙ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ (ИНДЕКС ОБЯЗАТЕЛЬНО)	
НАЗВАНИЕ ЖУРНАЛА (укажите номер и год)	
Телефон (указать код города)	
E-mail, ФАКС	

ЗАКАЗ ЖУРНАЛА «СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Для приобретения журнала необходимо:

1. Оплатить заказ.
2. Заполнить форму заказа журнала.
3. Выслать форму заказа журнала и сканкопию платежного документа в редакцию журнала по **E-mail: stukova@rae.ru**.

Стоимость одного экземпляра журнала (с учетом почтовых расходов):

Для физических лиц – 615 рублей

Для юридических лиц – 1350 рублей

Для иностранных ученых – 1000 рублей

ФОРМА ЗАКАЗА ЖУРНАЛА

Информация об оплате способ оплаты, номер платежного документа, дата оплаты, сумма	
Сканкопия платежного документа об оплате	
ФИО получателя полностью	
Адрес для высылки заказной корреспонденции индекс обязательно	
ФИО полностью первого автора запрашиваемой работы	
Название публикации	
Название журнала, номер и год	
Место работы	
Должность	
Ученая степень, звание	
Телефон (указать код города)	
E-mail	

Особое внимание обратите на точность почтового адреса с индексом, по которому вы хотите получать издания. На все вопросы, связанные с подпиской, Вам ответят по телефону: 845-2-47-76-77.

По запросу (факс 845-2-47-76-77, E-mail: stukova@rae.ru) высылается счет для оплаты подписки и счет-фактура.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ (РАЕ)

РАЕ зарегистрирована 27 июля 1995 г.

в Главном Управлении Министерства Юстиции РФ в г. Москва

Академия Естествознания рассматривает науку как национальное достояние, определяющее будущее нашей страны и считает поддержку науки приоритетной задачей. Важнейшими принципами научной политики Академии являются:

- опора на отечественный потенциал в развитии российского общества;
- свобода научного творчества, последовательная демократизация научной сферы, обеспечение открытости и гласности при формировании и реализации научной политики;
- стимулирование развития фундаментальных научных исследований;
- сохранение и развитие ведущих отечественных научных школ;
- создание условий для здоровой конкуренции и предпринимательства в сфере науки и техники, стимулирование и поддержка инновационной деятельности;
- интеграция науки и образования, развитие целостной системы подготовки квалифицированных научных кадров всех уровней;

– защита прав интеллектуальной собственности исследователей на результаты научной деятельности;

– обеспечение беспрепятственного доступа к открытой информации и прав свободного обмена ею;

– развитие научно-исследовательских и опытно-конструкторских организаций различных форм собственности, поддержка малого инновационного предпринимательства;

– формирование экономических условий для широкого использования достижений науки, содействие распространению ключевых для российского технологического уклада научно-технических нововведений;

– повышение престижности научного труда, создание достойных условий жизни ученых и специалистов;

– пропаганда современных достижений науки, ее значимости для будущего России;

– защита прав и интересов российских ученых.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ АКАДЕМИИ

1. Содействие развитию отечественной науки, образования и культуры, как важнейших условий экономического и духовного возрождения России.

2. Содействие фундаментальным и прикладным научным исследованиям.

3. Содействие сотрудничеству в области науки, образования и культуры.

СТРУКТУРА АКАДЕМИИ

Региональные отделения функционируют в 61 субъекте Российской Федерации. В составе РАЕ 24 секции: физико-математические науки, химические науки, биологические науки, геолого-минералогические науки, технические науки, сельскохозяйственные науки, географические науки, педагогические науки, медицинские науки, фармацевтические науки, ветеринарные науки, экономические науки, философские науки, проблемы развития ноосферы, экология животных, исторические науки, регионоведение, психологические науки, экология и здоровье населения, юридические науки, культурология и искусствоведение, экологические технологии, филологические науки.

Членами Академии являются более 5000 человек. В их числе 265 действитель-

ных членов академии, более 1000 членов-корреспондентов, 630 профессоров РАЕ, 9 советников. Почетными академиками РАЕ являются ряд выдающихся деятелей науки, культуры, известных политических деятелей, организаторов производства.

В Академии представлены ученые России, Украины, Белоруссии, Узбекистана, Туркменистана, Германии, Австрии, Югославии, Израиля, США.

В состав Академии Естествознания входят (в качестве коллективных членов, юридически самостоятельных подразделений, дочерних организаций, ассоциированных членов и др.) общественные, производственные и коммерческие организации. В Академии представлено около 350 вузов, НИИ и других научных учреждений и организаций России.

ЧЛЕНСТВО В АКАДЕМИИ

Уставом Академии установлены следующие формы членства в академии.

1) профессор Академии

2) коллективный член Академии

3) советник Академии

4) член-корреспондент Академии

5) действительный член Академии (академик)

6) почетный член Академии (почетный академик)

Ученое звание профессора РАЕ присваивается преподавателям высших и средних учебных заведений, лицеев, гимназий, колледжей, высококвалифицированным специалистам (в том числе и не имеющим ученой степени) с целью признания их достижений в профессиональной, научно-педагогической деятельности и стимулирования развития инновационных процессов.

Коллективным членом может быть региональное отделение (межрайонное объединение), включающее не менее 5 человек и выбирающее руководителя объединения. Региональные отделения могут быть как юридическими, так и не юридическими лицами.

Членом-корреспондентом Академии могут быть ученые, имеющие степень доктора наук, внесшие значительный вклад в развитие отечественной науки.

Действительным членом Академии могут быть ученые, имеющие степень доктора наук, ученое звание профессора и ранее избранные членами-корреспондентами РАЕ, внесшие выдающийся вклад в развитие отечественной науки.

Почетными членами Академии могут быть отечественные и зарубежные специалисты, имеющие значительные заслуги в развитии науки, а также особые заслуги перед Академией. Права почетных членов Академии устанавливаются Президиумом Академии.

С подробным перечнем документов можно ознакомиться на сайте www.rae.ru

ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Региональными отделениями под эгидой Академии издаются: монографии, материалы конференций, труды учреждений (более 100 наименований в год).

Издательство Академии Естествознания выпускает шесть общероссийских журналов:

1. «Успехи современного естествознания»
2. «Современные наукоемкие технологии»
3. «Фундаментальные исследования»

4. «Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований»

5. «Международный журнал экспериментального образования»

6. «Современные проблемы науки и образования»

Издательский Дом «Академия Естествознания» принимает к публикации монографии, учебники, материалы трудов учреждений и конференций.

ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ФОРУМОВ

Ежегодно Академией проводится в России (Москва, Кисловодск, Сочи) и за рубежом (Италия, Франция, Турция, Египет, Та-

иланд, Греция, Хорватия) научные форумы (конгрессы, конференции, симпозиумы). План конференций – на сайте www.rae.ru.

ПРИСУЖДЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО СЕРТИФИКАТА КАЧЕСТВА РАЕ

Сертификат присуждается по следующим номинациям:

- Лучшее производство – производитель продукции и услуг, добившиеся лучших успехов на рынке России;
- Лучшее научное достижение – коллективы, отдельные ученые, авторы приоритетных научно-исследовательских, научно-технических работ;
- Лучший новый продукт – новый вид продукции, признанный на российском рынке;

• Лучшая новая технология – разработка и внедрение в производство нового технологического решения;

• Лучший информационный продукт – издания, справочная литература, информационные издания, монографии, учебники.

Условия конкурса на присуждение «Национального сертификата качества» на сайте РАЕ www.rae.ru.

С подробной информацией о деятельности РАЕ (в том числе с полными текстами общероссийских изданий РАЕ) можно ознакомиться на сайте РАЕ – www.rae.ru

105037, г. Москва, а/я 47,
Российская Академия Естествознания.
E-mail: stukova@rae.ru
edition@rae.ru