

SCIENCE AND  
EDUCATION  
A NEW  
DIMENSION  
NATURAL  
AND  
TECHNICAL SCIENCES



**p-ISSN 2308-5258**

**e-ISSN 2308-1996**

Issue 15, 2013

**SCIENCE AND EDUCATION A NEW DIMENSION**

**Natural and Technical Sciences**

[www.seanewdim.com](http://www.seanewdim.com)

Editorial board  
**Editor-in-chief: Dr. Xénia Vámos – Hungary**

**Honorary Senior Editor:**  
**Jenő Barkáts, CSc**      **Nina Tarasenkova, Dr. habil.**

**Edvard Ayyazyan**, Doctor of Science in Pedagogy, National Institute of Education, Armenia

**Ireneusz Pyrzyk**, Doctor of Science in Pedagogy, Dean of Faculty of Pedagogical Sciences, University of Humanities and Economics in Wrocław, Poland

**Irina Malova**, Doctor of Science in Pedagogy, Head of Department of methodology of teaching mathematics and information technology, Bryansk State University named after Academician IG Petrovskii, Russia

**Irina S. Shevchenko**, Doctor of Science in Philology, Department of ESP and Translation, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

**Kosta Garow**, PhD in Pedagogy, associated professor, Plovdiv University „Paisii Hilendarski”, Bulgaria

**László Kóti**s, PhD in Physics, Research Centre for Natural Sciences, Hungary, Budapest

**Marian Wloshinski**, Doctor of Science in Pedagogy, Faculty of Pedagogical Sciences, University of Humanities and Economics in Wrocław, Poland

**Melinda Nagy**, PhD in Biology, associated professor, Vice-Rector, J. Selye University in Komarno, Slovakia

**Anatolij Morozov**, Doctor of Science in History, Bohdan Khmelnytsky National University in Cherkasy, Ukraine

**Nikolai N. Boldyrev**, Doctor of Science in Philology, Professor and Vice-Rector in Science, G.R. Derzhavin State University in Tambov, Russia

**Oleg Melnikov**, Doctor of Science in Pedagogy, Belarusian State University, Belarus

**Riskeldy Turgunbayev**, CSc in Physics and Mathematics, associated professor, head of the Department of Mathematical Analysis, Dean of the Faculty of Physics and Mathematics of the Tashkent State pedagogical University, Uzbekistan

**Roza Uteeva**, Doctor of Science in Pedagogy, Head of the Department of Algebra and Geometry, Togliatti State University, Russia

**Seda K. Gasparyan**, Doctor of Science in Philology, Department of English Philology, Professor and Chair, Yerevan State University, Armenia

**Svitlana A. Zhabotynska**, Doctor of Science in Philology, Department of English Philology of Bohdan Khmelnytsky National University in Cherkasy, Ukraine

**Tatyana Prokhorova**, Doctor of Science in Pedagogy, Professor of Psychology, Department chair of pedagogics and subject technologies, Astrakhan state university, Russia

**Valentina Orlova**, CSc in Economics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

**Vasil Milloushev**, Doctor of Science in Pedagogy, professor of Department of Mathematics and Informatics, Plovdiv University „Paisii Hilendarski”, Plovdiv, Bulgaria

**Veselin Kostov Vasilev**, Doctor of Psychology, Professor and Head of the department of Psychology Plovdiv University „Paisii Hilendarski”, Bulgaria

**Vladimir I. Karasik**, Doctor of Science in Philology, Department of English Philology, Professor and Chair, Volgograd State Pedagogical University, Russia

**Volodimir Lizogub**, Doctor of Science in Biology, Head of the department of anatomy and physiology of humans and animals, Bohdan Khmelnytsky National University in Cherkasy, Ukraine

**Zinaida A. Kharitonchik**, Doctor of Science in Philology, Department of General Linguistics, Minsk State Linguistic University, Belarus

**Zoltán Poór**, CSc in Language Pedagogy, Head of Institute of Pedagogy, Apáczai Csere János Faculty of the University of West Hungary

Managing editor:  
**Barkáts N.**

© EDITOR AND AUTHORS OF INDIVIDUAL ARTICLES  
The journal is published by the support of  
Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe

**Statement:**

By submitting a manuscript to this journal, each author explicitly confirms that the manuscript meets the highest ethical standards for authors and coauthors. Each author acknowledges that fabrication of data is an egregious departure from the expected norms of scientific conduct, as is the selective reporting of data with the intent to mislead or deceive, as well as the theft of data or research results from others. By acknowledging these facts each author takes personal responsibility for the accuracy, credibility and authenticity of research results described in their manuscripts. All the articles are published in author's edition.

**The journal is listed and indexed in:**

DIRECTORY OF RESEARCH JOURNAL INDEXING

ULRICHS WEB GLOBAL SERIALS DIRECTORY

UNION OF INTERNATIONAL ASSOCIATIONS YEARBOOK

SCRIBD

ACADEMIA.EDU

GOOGLE SCHOLAR

## CONTENT

<b>BIOLOGY</b> .....	7
<i>Лизогуб В.С., Макаренко Н.В., Юхименко Л.И., Хоменко С.Н., Кожемяко Т.В.</i> Роль свойств основных нервных процессов и психофизиологических функций в обеспечении деятельности операторов мобильной связи.....	7
<i>Bogdanovskaya N.V., Malikov N.V.</i> Evaluation of Dynamics of Changes in Different Ways Arginine Metabolism Activity under Adapttion to Physical Stress.....	13
<i>Kovalenko S.O., Kudij L.I., Lutsenko O.I.</i> Peculiarities of male and female heart rate variability .....	17
<i>Sychuk A., Radchenko M., Morderer E.</i> The increase of phytotoxic action of gramincide fenoxaprop-P-ethyl by NO donor sodium nitpruside.....	21
<i>Буков Ю.А., Бурбанова О.Н.</i> Показатели механики дыхания в оценке степени пульмонологического риска у женщин пожилого возраста.....	23
<i>Грабовская Е.Ю.</i> Коррекция неспецифических адаптационных реакций организма спортсменов при помощи электромагнитных излучений крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) .....	27
<i>Корж А.П.</i> Жизнеобеспеченность популяций как основа формирования емкости среды их обитания.....	31
<i>Савина К.Д.</i> Постуральные реакции кожного кровотока у спортсменок .....	37
<b>CHEMISTRY</b> .....	41
<i>Брем В.В., Буга С.П., Дмитренко І.В.</i> Вплив кремнію (IV) й алюмінію (III) оксидів на розчинність водню в фторидно-оксидних розплавах.....	41
<b>ECOLOGY</b> .....	47
<i>Varyvoda Ye.A.</i> Strengthening emergencies governance system through environmental assessment implementation (case study of Ukraine) .....	47
<i>Ковалёв А.А., Варивода А.В.</i> Исследование миграции тяжёлых и редких металлов из золошлаковых отвалов тепловых электростанций.....	52
<b>PHYSICS AND MATHEMATICS</b> .....	55
<i>Borkach E.I., Ivanitsky V.P., Kovtunenکو V.S.</i> Terminology and definition of the amorphous substances .....	55
<i>Мица В., Голомб Р., Ловас Г., Вереш М., Боркач Є., Ковач Т., Ріго І.</i> Вплив фрагментів низько- та високотемпературних кристалічних фаз дисульфіді германію на формування змішаного середнього порядку в технологічно модифікованому склоподібному $c\text{-GeS}_2$ : різницеві Раман спектри та першопринципні розрахунки.....	62
<i>Ausheva N.</i> Modeling of minimal surfaces based on isotropic curves and quasiconformal change of parameter .....	67
<i>Стеблянюк П.О., Кравчук Т.В.</i> Побудова базисного тривимірного сплайна для розв'язування задач математичного моделювання .....	71
<b>MEDICINE</b> .....	75
<i>Гайструк Н.А., Мельник А.В., Гайструк А.В., Стеняньський Р.П.</i> Роль арт-терапії в корекції психоемоційного стану та нейроендокринної адаптації у дітей з цефалгіями напруження .....	75
<i>Гайструк Н.А., Надеждін М.В., Стеняньський Р.П.</i> Встановлення прогностичної цінності гіпергомоцистеїнемії як фактору ризику формування дистреса плода у вагітних з гестаційним та хронічним пієлонефритом .....	79
<i>Дуло О.А.</i> Вивчення рівня фізичного здоров'я дівчат гірських районів Закарпаття за метаболічним рівнем аеробного енергозабезпечення.....	82

TECHNICAL SCIENCES.....	86
<i>Lahutin V.L.</i> Mathematical model of flat vertical oscillations of the trolley for transporting dangerous cargo with usage of pneumatic elements in the second stage of suspension.....	86
<i>Shatohyn V.M., Semkiv O.M., Popova A.N.</i> Optimum blade profile of a groundthrower as a solution of the brachistochrone for the centrifugal force of inertia .....	91
<i>Shovgenyuk M.V., Semeniv V.V., Kovalskiy B.M.</i> Development a theory for colors synthesis by four inks.....	95
<i>Shvachyeh G.G.</i> Multiprocessor simulating medium in the task of stochastic modeling .....	99
<i>Ushapivsky I.L.</i> Experimental studies of vibrations centrifugal fire pump with defective bearings .....	105
<i>Vinogradov S.A.</i> The usage of high speed impulse liquid jets for putting out of gas blowout.....	108
<i>Бомба А.Я., Востріков В.П.</i> Математичне моделювання процесу нагрівання середовища «грунт-повітря» лінійними джерелами тепла .....	112
<i>Волошин Н.В.</i> Представления, методы и алгоритмы при проектировке автоматической системы ириодиагностики .....	117
<i>Голубнык Т.С., Ющик О.В.</i> Способ определения величины сдвига страниц набора при комплектовании вкладкой.....	120
<i>Домінік А.М.</i> Дослідження вогнестійкості циліндричної колони в умовах пожежі .....	123
<i>Мельник К.В., Глушко В.Н.</i> Применение аппарата Байесовых сетей при обработке данных из медицинских карточек .....	126
<i>Придатко О.В.</i> Ефективно-вартісний аналіз ризиків запровадження інноваційних технологій управління якістю освітніх проектів .....	130
<i>Романко Р.М., Петраковська О.С.</i> Методи і моделі моніторингу земель, що зазнають впливу екзогенних геологічних процесів.....	134
<i>Хрищук С.Ю., Беспалько Р.І.</i> Антропогенна перетвореність як критерій оптимізації землекористувань на регіональному рівні.....	138
<i>Чикунев П.А.</i> Физическая и формальная постановка задач оперативного управления соледобывающим предприятием .....	142
<i>Ющик О.В., Гаврыш Б.М.</i> Исследование функций передачи модуляции растровых сканирующих устройств записи в направлении быстрого сканирования .....	147
<i>Ющук И.В., Овчарук В.А., Вовкодав Н.И., Метлёв С.Г.</i> Исследование влияния диаметра сатуратора сахарного производства на поглощение диоксида углерода.....	151
<i>Ярмілко А.В., Багінський М.Ю., Приходько Д.С.</i> Вибір програмної платформи як засіб підвищення ресурсної ефективності та динамічних характеристик вбудованих систем реального часу .....	154

## BIOLOGY

**Лизогуб В.С., Макаренко Н.В., Юхименко Л.И., Хоменко С.Н., Кожемяко Т.В.**  
**Роль свойств основных нервных процессов и психофизиологических функций**  
**в обеспечении деятельности операторов мобильной связи**

*Лизогуб Владимир Сергеевич д-р. биол. наук, профессор, директор НИИ физиологии им. М. Босого, заведующий кафедрой анатомии, физиологии и физической реабилитации, Макаренко Николай Васильевич, профессор, Юхименко Лилия Ивановна, доцент, Хоменко Сергей Николаевич, доцент, Кожемяко Татьяна Владимировна, преподаватель, кафедра анатомии, физиологии и физической реабилитации, Черкасский национальный университет им. Богдана Хмельницкого, г. Черкассы, Украина*

**Аннотация.** С помощью компьютерной методики исследовали функциональную подвижность (ФПНП), силу (СНП) и уравновешенность (УНП) нервных процессов, вызванную активность и гемодинамику мозга, функцию памяти и внимания, сенсомоторную и вегетативную реактивность у операторов мобильной связи. Впервые при выполнении задания по переработке слуховой информации выявлены индивидуальные особенности психофизиологического обеспечения профессиональной деятельности операторов. Лица с высоким и средним уровнем свойств основных нервных процессов оказались более способными к переработке информации. Операторы с низким уровнем характеризовались меньшим количеством переработанной информации, низкой реактивностью нервной системы, устойчивостью внимания и запоминания, более короткими межпиковыми интервалами  $N_1-P_2$ ,  $P_2-N_2$ ,  $N_2-P_3$ ,  $P_3-N_3$  и достоверно большими латентными периодами компонентов  $N_1$ ,  $P_2$ ,  $N_2$ ,  $P_3$  когнитивных вызванных потенциалов  $P_{300}$ . У них оказались более высокие значения мощности SDNN, LF и HF сердечного ритма и низкий амплитудно-частотный показатель, высокий дикротический индекс и большие значения тонуса крупных сосудов мозга.

**Ключевые слова:** операторы, переработка слуховой информации, индивидуально-типологические свойства, вызванная активность мозга, реоэнцефалограмма, память, внимание, сердечный ритм.

**Введение.** Современная эволюция человека коррелирует с высоким уровнем развития науки, медицины, темпами освоения космоса, созданием новых технологий и инноваций. Человечество вступило в эпоху нано- и психоинформационных технологий, а также новых видов деятельности, в которых работник включен в сложные системы типа "человек-машина" [3, 9, 13, 22]. Это повлекло за собой трансформацию выполняемых работником производственных функций, которые ограничиваются: наблюдением и контролем за состоянием объекта и окружающей средой, управлением параметрами, имеющих важное значение для поддержания технологических процессов, обеспечением безопасности объекта людей. Такие профессии отнесены к категории "операторских" и предъявляют высокие требования к человеческому фактору. В этой связи соответствие имеющихся психофизиологических свойств индивидуальности требованиям таких специальностей есть и продолжает быть актуальным [7, 12].

**Краткий обзор публикаций по теме.** Результатами исследований последних лет доказано, что критерии профессиональной пригодности должны базироваться на особенностях организма, отличающихся прочной и устойчивой биологической природой [16, 19, 21, 24]. Этими особенностями являются индивидуально-типологические свойства высшей нервной деятельности [6, 12, 18].

Труд операторов мобильной связи относится к динамическим видам деятельности и характеризуется такими специфическими чертами, как возрастание темпа и скорости предъявляемой и перерабатываемой информации, увеличением числа одновременно наблюдаемых объектов, дистанционное и опосредо-

ванное управление, что в свою очередь приводит к существенному возрастанию роли психофизиологических качеств оператора и его типологических свойств. Однако работ, с учетом выше сказанного, на данном виде операторских профессий, в литературе мы не встретили.

**Цель работы** – определить роль индивидуально-типологических особенностей высшей нервной деятельности и психофизиологических функций в обеспечении профессиональной деятельности операторов мобильной связи.

**Материалы и методы.** У операторов мобильной связи (56 человек, 19-35 лет) изучали функциональную подвижность, силу и уравновешенность нервных процессов, вызванную активность мозга, когнитивный потенциал  $P_{300}$ , сенсомоторную реактивность, церебральную гемодинамику, свойства памяти, внимания, характеристики сердечного ритма и сопоставляли с результативностью профессиональной деятельности.

Исследования ФПНП, СНП и УНП нервных процессов, латентных периодов простых (ПЗМР) и сложных (РВ2-3) сенсомоторных реакций выбора проводили на разработанном нами компьютерном комплексе "Диагност-1М" [12, 14].

Определение ФРНП производили путем установления наивысшего темпа дифференцирования положительных и тормозных сигналов, которые подавались в наушники и следовали один за другим. При появлении звука 1000 Гц (высокий тон) испытуемый должен быстро нажать и отпустить пальцем правой руки правую кнопку. Появление звука в 300 Гц (низкий тон) требовало быстрого нажатия левой кнопки. На 600 Гц (средний тон) – тормозной раздражитель –

не нажимать кнопки. Тест начинали со скорости предъявления 30 раздражителей в минуту и постепенно переходили к 40, 50 и заканчивали на 150 сигналах. Показателем уровня ФПНП была максимальная скорость предъявления и переработки информации, при которой испытуемый допускал не больше 5,0-5,5% ошибок. О СНП судили по количеству ошибок (в %), допущенных испытуемым при выполнении всего экспериментального задания. Оценкой УНП был показатель точности сенсомоторных реакций. Оператору необходимо было точно остановить объект, который двигался с равномерной скоростью, а интервал между пусками изменялся случайным образом. Количество испытаний задавалось экспериментатором и составляло 30 пусков в серии. О УНП судили по лучшему результату суммарной величины опережающих и запаздывающих реакций из трех серий. Чем меньше сумма всех отклонений и среднее значение реакций в мс, тем выше УНП.

Изучение параметров сенсомоторной реактивности проводилось по времени простых слухо-моторных реакций (ПСМР) и реакции выбора двух (РВ<sub>2,3</sub>) из трех сигналов [8, 12].

Регистрацию спектральных характеристик сердечного ритма (СР) осуществляли на приборе Cardiolab+ в состоянии покоя, а также во время переработки информации. Определяли стандартное отклонение интервалов R-R в выборке (SDNN мс), суммарную мощность спектра (TP мс<sup>2</sup>), мощность на очень низких (VLF мс<sup>2</sup>), низких (LF мс<sup>2</sup>) и высоких (HF мс<sup>2</sup>) частотах [2].

Для изучения мозгового кровообращения использовали метод спектральной реоэнцефалографии (РЭГ) и учитывали амплитудно-частотный показатель (АЧП, 1/с), характеристики тонуса артерий крупного, среднего и мелкого диаметра, дикротический индекс (ДИ, %). Регистрацию РЭГ проводили в состоянии покоя (фоновые показатели) и на 5-й минуте переработки информации [15, 17].

Изучение вызванных потенциалов P<sub>300</sub> проводили на компьютерном комплексе "Нейроком" ХАИ Медика. Использовали бинауральную стимуляцию при закрытых глазах в экранированной светонепроницаемой и звукоизолированной камере продолжительностью 50 мс с периодом последовательности 1-2 с. Частота тона значимого стимула составляла 2000 Гц, а не значимого – 1000 Гц. Появление их в серии стимулов было псевдослучайным. Обследуемый получал инструкцию в соответствии с которой он должен был обращать внимание, распознавать и подсчитывать один из стимулов (значимый), который реже подавался в ряду других стимулов. Использовали отведение С<sub>3</sub> и С<sub>4</sub>, референтным электродом был ипсилатеральный ушной. Эпоха анализа составляла 1000 мс.

Исследование памяти и внимания проводили с по общепринятым методикам [8, 12]. Для исследования памяти использовали таблицы, которые содержали по 10 стимулов предложенного для запоминания материала. Время демонстрации таблиц составляло 30 с. Для запоминания применялись: бессмысленные слоги, одно- и двуслоговые слова, не связанные смыслом, двузначные цифры и геометрические фигуры. Для изуче-

ния свойств внимания: объема, устойчивости, скорости, продуктивности, использовали таблицу Анфимова. Распределение внимания исследовали по методике отыскивания чисел, а определение переключения внимания с использованием "красно-черных" таблиц Шульте.

Профессиональную деятельность оценивали путем анализа количества переработанной информации за 5 мин. работы на компьютере. Исследуемые были мотивированы на выполнение максимально быстрой и безошибочной переработки информации. Предъявление каждого следующего раздражителя автоматически изменялось в зависимости от правильности ответа. После правильного ответа экспозиция предъявления сигнала уменьшалась, а в случае ошибки - удлинялась на 20 мс. Считалось, чем больше сигналов было переработано за все время работы, тем выше уровень профессиональной деятельности, что, как правило, совпадало с экспертной оценкой руководителей.

Результаты обрабатывали методами параметрической и непараметрической статистики с использованием пакета программ Excel-2010.

**Результаты и заключение.** В результате обследования установлена связь между свойствами основных нервных процессов, с одной стороны, и успешностью профессиональной деятельности, а также комплексом психофизиологических функций – с другой. Лица с высоким и средним уровнем ФПНП, СНП и УНП оказались более способными к выполнению профессиональной деятельности и характеризовались более высоким комплексом психофизиологических функций.

Для подтверждения этой зависимости мы провели сопоставление количества переработанной информации у операторов, распределенных методом сигмальных отклонений на три группы, в зависимости от свойств основных нервных процессов (табл. 1).

Таблица 1.

**Количество ( $X \pm m$ ) переработанной информации операторами с различными свойствами основных нервных процессов**

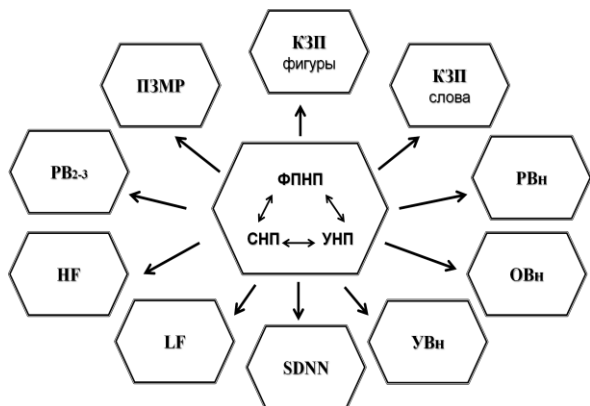
Уровни ФПНП, СНП, УНП	Количество сигналов за 5 минут работы		
	ФПНП	СНП	УНП
Высокий	720 ± 5,17	735 ± 6,19	724 ± 7,14
Средний	640 ± 6,18	655 ± 5,18	670 ± 8,13
Низкий	581 ± 5,30 *	604 ± 6,31*	615 ± 7,18*

Примечание: \* – достоверность отличий между высоким и низким уровнями ФПНП, СНП и УНП,  $p < 0,05$ .

Как видно из таблицы 1: у лиц с высоким и средним уровнем ФПНП количество переработанной информации (кадров) было выше, чем у операторов с низким уровнем этого свойства, соответственно, 720 ± 5,17 и 581 ± 5,30 ( $p < 0,05$ ), у лиц с высокой СНП - 735 ± 6,19 и 604 ± 6,31 с низкой силой ( $p < 0,05$ ), а у лиц с высокой УНП - 724 ± 7,14 против 615 ± 7,18 с низкой уравновешенностью ( $p < 0,05$ ). Кроме того, корреляционный анализ показал, что между ФПНП, УНП, СНП с памятью существует тесная связь. Более высоким показателям типологических свойств соответствовал и больший объем кратковременной зрительной памяти (рис. 1).



Выявлена связь и между вниманием и ФПНП, УНП и СНП (рис. 1). Коэффициент корреляции между ними был на уровне  $r = 0,23 - 0,47$  ( $p < 0,05$ ). Анализируя наши данные с позиции современных представлений о механизмах памяти [10, 11], мы считаем, что запоминание, сохранение и воспроизведение информации есть активным процессом, а эффективность обработки информации зависит от способности нервной системы выдерживать длительное концентрированное возбуждение, скорости образования новых временных связей, более длительного сохранения следовых процессов, которые в большей степени обусловлены развитием ФПНП, УНС и СНП.



**Рис. 1.** Корреляции между ФПНП, СНП, УНП и показателями памяти (КЗП на фигуры, КЗП на слова), внимания (РВн – распределение, ОВн – объем, УВн – устойчивость), сенсомоторных реакций (простая - ПЗМР, сложная - РВ<sub>2-3</sub>) и сердечного ритма (HF, LF, SDNN); указаны только достоверные связи ( $p < 0,05$ )

Аналогичная закономерность была нами выявлена и между свойствами внимания и показателями ФПНП, УНП и СНП (рис. 1). Результаты корреляционного анализа между показателями ФПНП, СНП, УНП и параметрами переключения, распределения, объема и устойчивости внимания выявили связь на уровне  $r = 0,23 - 0,47$ , ( $p < 0,05$ ). На наш взгляд, в осуществлении данных психических функций принимают участие те же самые нейрофизиологические механизмы, которые обеспечивают ФПНП, УНП и СНП. Считаем, что свойства внимания реализуются комплексом основных нервных процессов. Сильная, подвижная нервная система создаёт физиологические предпосылки для большего объема внимания, а слабая и инертная – сужает объём внимания, ограничивает его возможности. При сильной нервной системе возникает более широкая зона сосредоточения, а при слабой – узкая. Поэтому, операторы с генетически инертной и слабой, неуравновешенной нервной системой одновременно воспринимают меньшее количество информации, чем с сильными и подвижными нервными процессами. Исходя из результатов собственных исследований и литературных данных, можно считать, что объём кратковременной зрительной памяти и внимания имеет тесную связь с высоко генетически

обусловленными индивидуально-типологическими свойствами основных нервных процессов [12]. Высоким показателям, которые характеризуют свойства основных нервных процессов, соответствуют и высокие объёмы кратковременной памяти и внимания.

Исследованиями установлено, что время простой и сложной сенсомоторной реакции было достоверно меньшим у тех операторов, которые отличались высоким уровнем ФПНП, СНП и УНП. Наоборот, операторы с низким уровнем основных нервных процессов имели более высокие значения ПЗМР и РВ<sub>2-3</sub> (рис. 1).

Спектральные характеристики сердечного ритма коррелировали со свойствами основных нервных процессов (рис. 1). У лиц с высоким уровнем свойств на спектрограмме чаще фиксировались достоверно более низкие значения мощности TP, VLF и HF по сравнению с лицами с низкими их грациями. Полученные результаты подтвердились и достоверными корреляционными связями на уровне  $r = 0,23 - 0,37$  ( $p < 0,05$ ) между ФПНП, СНП, УНП и показателями: SDNN, HF и LF ( $p < 0,05$ ). Можно считать, что ФПНП, УНП и СНП, как высоко генетически-детерминированные свойства нервной системы вносят определенный вклад в активацию вегетативных механизмов регуляции сердца и обеспечение соответствующего психофизиологического фона для производственной деятельности операторов [5, 11, 12].

Результаты РЭГ у лиц с разным уровнем индивидуально-типологических свойств указывают на отличия и в гемодинамике мозга. У лиц с высоким уровнем ФПНП во время переработки слуховой информации выявили достоверно более высокий АЧП, более низкий ДИ, а также статистически меньшие значения тонуса крупных сосудов мозга (табл. 2).

Таблица 2.

**Показатели гемодинамики мозга у операторов с различным уровнем функциональной подвижности нервных процессов**

Показатели	Уровни функциональной подвижности нервных процессов		
	Высокий	Средний	Низкий
АЧП 1/с	0,40±0,02*	0,28±0,02	0,17±0,01
ДИ %	59±6	62±5	63±5
Тонус крупных сосудов у.е.	0,85±0,05*	0,92±0,04	1,15±0,04
Тонус средних и мелких сосудов у.е.	0,48±0,02	0,5±0,02	0,52±0,01

\* - достоверность отличий  $p < 0,05$  между высоким и низким уровнями ФПНП

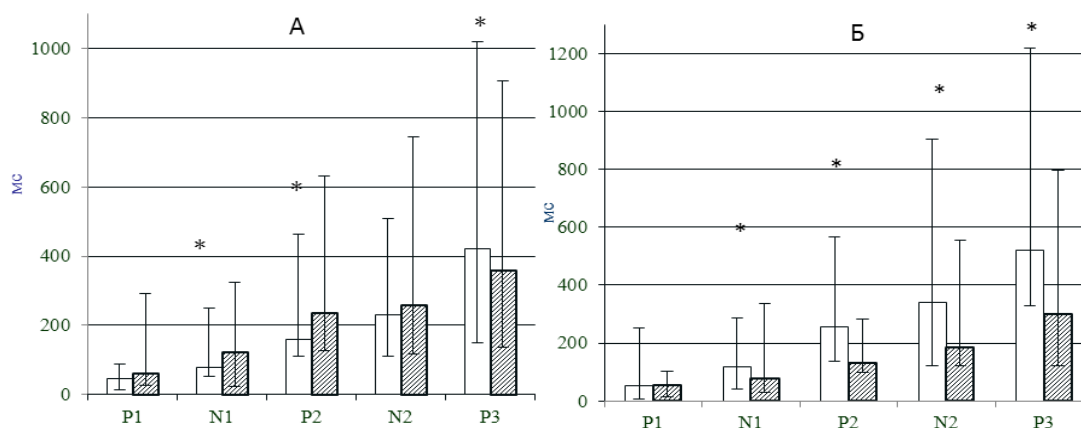
В отличие от этого, у лиц с низкой ФПНП наблюдалась сниженная интенсивность кровенаполнения, повышенный тонус церебральных артерий разного диаметра, что значительно повышало возможность возникновения рассогласования в системе "человек-машина" и, определенно, указывало на дезадаптацию регуляторных механизмов мозга [20, 23].

Связь свойств основных нервных процессов с вызванной активностью мозга выявило не только зависимость между этими переменными, но и достоверные отличия в межпиковых интервалах  $N_1-P_2$ ,  $P_2-N_2$ ,

$N_2-P_3$ ,  $P_3-N_3$  когнитивного потенциала  $P_{300}$ . У лиц с низким уровнем ФПНП выявлены более короткие латентности ранних компонентов и достоверно большие латентные периоды поздних компонентов  $N_2$  и  $P_3$  (рис. 2). Кроме того, была установлена значительная активация левого полушария у лиц с низким уровнем и, наоборот, правого - с высокой ФПНП.

Изучение вызванной активности мозга операторов с разными типологическими свойствами нервной ак-

тивности свидетельствует о разных стратегиях ответной реакции на раздражители. По всей видимости, это может быть следствием различного участия неспецифических систем мозга [1, 4, 5], что имеет типологическую обусловленность и, в свою очередь, находит отражение в количественной и качественной составляющих профессиональной деятельности операторов.



**Рис.2.** Латентные периоды вызванных потенциалов при исследовании когнитивного  $P_{300}$  слуховой модальности в левом (А) и правом (Б) полушарии операторов с высоким  $\square$  и низким  $\square$  уровнем ФПНП; \* - достоверность отличий  $p < 0,05$ .

Таким образом, результаты исследования доказывают, что высоко генетически детерминированным индивидуально-типологическим свойствам основных нервных процессов в профессиональной деятельности операторов мобильной связи отводится важная роль. Операторы с высоким и средним уровнем типологических свойств характеризуются более высокими значениями комплекса психофизиологических функций и успешнее выполняли производственные задания. Лица с низким уровнем характеризуются достоверно низкой устойчивостью внимания и памяти, отличаются более короткими межпиковыми интервалами  $N_1-P_2$ ,  $P_2-N_2$ ,  $N_2-P_3$ ,  $P_3-N_3$  и достоверно большими латентностями компонентов  $N_1$ ,  $P_2$ ,  $N_2$ ,  $P_3$  когнитивных вызванных потенциалов  $P_{300}$ . У них установлены более высокие значения мощности SDNN, LF и HF сердечного ритма, а на реограмме мозга - меньший амплитудно-частотный показатель и высокий дикротический индекс. Характерно, что отчислений из числа операторов мобильной связи с низкими показателями индивидуальных свойств нервной системы в несколько раз было больше, нежели с высокими характеристиками исследуемых типологических свойств. Все это свидетельствует о том, что функциональной подвижности, силе и уравновешенности нервных процессов принадлежит важная роль в обеспечении профессиональной деятельности, функции памяти и внимания, сенсомоторной и вегетативной реактивности операторов мобильной связи и что их необходимо учитывать при разработке системы профессионального психофизиологического отбора операторов данного профиля.

### Выводы:

1. Установлена связь высоко генетически детерминированных индивидуально-типологических свойств высших отделов центральной нервной системы: функциональной подвижности, силы и уравновешенности нервных процессов с вызванной активностью мозга, спектральными характеристиками сердечного ритма, церебральной гемодинамикой, функциями памяти, внимания, сенсомоторной реактивностью и успешностью выполнения профессионального задания операторами.

2. При выполнении задания по переработке слуховой информации выявлены индивидуальные особенности психофизиологического обеспечения операторской деятельности. Операторы с высоким и средним уровнем типологических свойств оказались более способными к переработке информации.

3. Лица с низким уровнем ФПНП, СНП и УНП характеризовались меньшим количеством переработанной информации, низкой реактивностью нервной системы, устойчивостью внимания и запоминания, более короткими межпиковыми интервалами  $N_1-P_2$ ,  $P_2-N_2$ ,  $N_2-P_3$ ,  $P_3-N_3$  и достоверно большими латентными периодами компонентов  $N_1$ ,  $P_2$ ,  $N_2$ ,  $P_3$ , когнитивных вызванных потенциалов  $P_{300}$ ,  $N_1-P_2$ ,  $N_2-P_3$ , слуховых вызванных когнитивных потенциалов  $P_{300}$ . У них установлены более высокие значения мощности SDNN, LF и HF сердечного ритма, а на реоэнцефалограмме наблюдали более низкий амплитудно-частотный показатель и высокий дикротический индекс крупных сосудов мозга.

**ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

1. Алёшина Е.Д., Коберская Н.Н., Дамулин И.В. Когнитивный вызванный потенциал Р<sub>300</sub>: методика, опыт применения, клиническое значение // Журнал неврологии и психиатрии №7. - 2009. - С. 77-84.
1. Aljoshina E.D., Koberskaja N.N., Damulin I.V. Kognitivnyj vyzvannyj potencial R300: metodika, opyt primeneniya, klinicheskoe znachenie // Zhurnal nevrologii i psichiatrii #7. - 2009. - S. 77-84.
2. Баевский Р.М. Введение в донозологическую диагностику / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. - М.: Изд-во «Слово», 2008 - 220 с.
2. Baevskij R.M. Vvedenie v donozologicheskiju diagnostiku / R.M. Baevskij, A.P. Berseneva. - M.: Izd-vo «Slovo», 2008 - 220s.
3. Бехтерева Н.П. Магия мозга и лабиринты жизни. - М.: АТС.: СПб.: Сова, 2007. - 383 с.
3. Behтерева N.P. Magija mozga i labirinty zhizni. - M.: ATS.: SPb.: Sova, 2007. - 383 s.
4. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин, Умрюхин Е.А. Пространственная организация биопотенциалов коры головного мозга и время принятия решения при целенаправленной деятельности человека. //Журн. высш. нервн. деят., 2011. - Т. 61., № 2., С. 180-189.
4. Dzhebrailova T.D., Korobejnikova I.I., Karatygin, Umrjuhin E.A. Prostranstvennaja organizacija biopotencialov kory golovnogogo mozga i vremja prinjatija reshenija pri celenapravlennoj dejatel'nosti cheloveka. //Zhurn. vyssh. nervn. dejat., 2011. - T. 61., # 2., S. 180-189.
5. Гнездицкий В.В. Эндогенные ВП. В кн.: Опыт применения вызванных потенциалов в клинической практике. Под ред. В.В. Гнездицкого, А.М. Шамшиновой. М: АОЗТ «Антидор». - 2001. - № 9, С. 103 - 119.
5. Gnezdickij V.V. Jendogennye VP. V kn.: Opyt primeneniya vyzvannyh potencialov v klinicheskoy praktike. Pod red. V.V. Gnezdickogo, A.M. Shamshinovej. M: AOZT «Antidor». - 2001. - # 9, S. 103 - 119.
6. Иваницкий А.М. Мозговые механизмы оценки сигналов. - М.: Медицина, 1976.- 298 с.
6. Ivanickij A.M. Mozgovye mehanizmy ocenki signalov. - M.: Medicina, 1976.- 298 s.
7. Илюхина В.А. Психофизиология функциональных состояний и познавательной деятельности здорового и больного человека. СПб., 2010. 362 с.
7. Iljuhina V.A. Psihofiziologija funkcional'nyh sostojanij i poznavatel'noj dejatel'nosti zdorovogo i bol'nogo cheloveka. SPb., 2010. 362 s.
8. Ильин Е.П. Психофизиология состояний человека. - СПб.: Питер. 2005. - 412 с.
8. Il'in E.P. Psihofizioogija sostojanij cheloveka. - SPb.: Piter. 2005. - 412 s.
9. Кемпинский А. Психология шизофрении. - С-Пб.: Ювента, 1998. - 224с.
9. Kempinskij A. Psihologija shizofrenii. - S-Pb.: Juventa, 1998. - 224s.
10. Ливанов М.Н. Пространственная организация процессов головного мозга.- М.: Наука, 1972.- 181 с.
10. Livanov M.N. Prostranstvennaja organizacija processov golovnogogo mozga.- M.: Nauka, 1972.- 181 s.
11. Макаrchук М.Ю., Куценко Т.В., Кравченко В.І., Данилова С.А. Психофізіологія: Навчальний посібник / Макаrchук М.Ю. та інші - К.: ООО «Інтерсервіс», 2011. - 329 с.
11. Makarchuk M.Ju., Kucenko T.V., Kravchenko V.I., Danilova S.A. Psihofiziologija: Navchal'nij posibnik / Makarchuk M.Ju. ta inshi - K.: OOO «Interservis», 2011. - 329 s.
12. Макаренко М.В. Основы професійного відбору військових спеціалістів та методики вивчення індивідуальних психофізіологічних відмінностей між людьми / Ін-т фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, Науково-дослідний центр гуманітарних проблем Збройних Сил України. - Київ. 2006. - 395 с.
12. Makarenko M.V. Osnovi profesijnogo vidboru vjjs'kovih specialistiv ta metodiki vivchennja individual'nih psihofiziologichnih vidminnostej mizh ljud'mi / In-t fiziologii im. O.O. Bogomol'cja NAN Ukraïni, Naukovo-doslidnij centr humanitarnih problem Zbrojnih Sil Ukraïni. - Kiïv. 2006. - 395s.
13. Медведев В.И. Адаптация человека / В.И. Медведев. - СПб.: Изд-во Института мозга человека РАН, 2003. - 584 с.
13. Medvedev V.I. Adaptacija cheloveka / V.I. Medvedev. - SPb.: Izd-vo Instituta mozga cheloveka RAN, 2003. - 584 s.
14. Пат. 96496 Державна служба інтелектуальної власності України, МПК А 61В5/16. Спосіб психофізіологічної оцінки функціонального стану слухового аналізатора / Макаренко М.В., Лизогуб В.С., Галка М.С., Юхименко Л.І., Хоменко С.М. - № а 2010 02225; заявл. 01.03.2010; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21.
14. Pat. 96496 Derzhavna sluzhba intelektual'noi vlasnosti Ukraïni, MPK A 61V5/16. Sposib psihofiziologichnoi ocinki funkcional'nogo stanu sluhovogo analizatora / Makarenko M.V., Lizogub V.S., Galka M.S., Juhimenko L.I., Homenko S.M. - # a 2010 02225; zajavl. 01.03.2010; opubl. 10.11.2011, Bjul. # 21.
15. Ронкин М. А. Особенности состояния сосудов мозга при мозговых инфарктах / М. А. Ронкин // Биомед. технол. и радиоэлектрон. - 2004. - №8 - 9. - С. 11 - 16.
15. Ronkin M. A. Osobennosti sostojanija sosudov mozga pri mozgovyh infarktah / M. A. Ronkin // Biomed. tehno. i radiojelektron. - 2004. - #8 - 9. - S. 11 - 16.
16. Русалов М.В. Биологические основы индивидуальнотипологических различий. - М.: Наука, 1979. - 352 с.
16. Rusalov M.V. Biologicheskie osnovy individual'notipologicheskikh razlichij. - M.: Nauka, 1979. - 352 s.
17. Сергеев В.Г. Новые подходы к оценке состояния сосудистой системы по результатам реографических исследований / http://www.xai-medika.com
17. Sergeev V.G. Novye podhody k ocenke sostojanija sosudistoj sistemy po rezul'tatam reograficheskikh issledovanij / http://www.xai-medika.com
18. Симонов П.В. Лекции о работе головного мозга. Потребностно-информационная теория высшей нервной деятельности. - М.: Наука, 2001. - 96 с.
18. Simonov P.V. Lekcii o rabote golovnogogo mozga. Potrebnostno-informacionnaja teorija vysshej nervnoj dejatel'nosti. - M.: Nauka, 2001. - 96 s.
19. Eysenck, H. Personality and the experimental study of education. European Journal of Personality, 1996. - 10, 439.
19. Eysenck, H. Personality and the experimental study of education. European Journal of Personality, 1996. - 10, 439.
20. Faraci F. ML, Heistad D.D. Regulation of cerebral blood vessels by humoral and endothelium-dependent mechanism. Update on humoral regulation of vascular tone // Hypertension. 1991. - Vol. 17, #6. - P. 917-923.
20. Faraci F. ML, Heistad D.D. Regulation of cerebral blood vessels by humoral and endothelium-dependent mechanism. Update on humoral regulation of vascular tone // Hypertension. 1991. - Vol. 17, #6. - P. 917-923.
21. Gray, J. A., Kumari, V., Lawrence, N., & Young, A. M. J. Functions of the dopaminergic innervation of the nucleus accumbens. Psychobiology, 1999. - 27, 235.
21. Gray, J. A., Kumari, V., Lawrence, N., & Young, A. M. J. Functions of the dopaminergic innervation of the nucleus accumbens. Psychobiology, 1999. - 27, 235.
22. Kokoszka A., Holas P., Bielecki A. Revised version of the concept of digesting mental information //Psychiatr. Pol. - 2003. - 37, #4. - P.703-712.
22. Kokoszka A., Holas P., Bielecki A. Revised version of the concept of digesting mental information //Psychiatr. Pol. - 2003. - 37, #4. - P.703-712.
23. Lusher T.F., Richard V., Tschudi M. et al. Endothelial control of vascular tone in large and small coronary arteries // JACC. 1999. Vol. 15, #5.-P. 519-527.
23. Lusher T.F., Richard V., Tschudi M. et al. Endothelial control of vascular tone in large and small coronary arteries // JACC. 1999. Vol. 15, #5.-P. 519-527.
24. Strelau J. Temperament- personality-activity - London: Acad. Press, 1990. - 209 p.
24. Strelau J. Temperament- personality-activity - London: Acad. Press, 1990. - 209 p.

**Lizogub V.S., Makarenko N.V., Yukhimenko L.I., Khomenko S.N., Kozhemyako T.V. The role of the properties of the basic nervous processes and psycho-physiological functions in activity of the operators of cellular connections**

**Abstract.** Functional activity (FANP) power (PNP) and balance (BNP) neural processes, evoked activity and hemodynamics of the brain, memory function and attention, sensorimotor and autonomic reactivity in mobile operators was investigated with using of computer techniques. First in the processing of auditory information was identified individual psychophysiological features ensure operators professional activity. Persons with high and medium level properties of the basic nervous processes were more capable of processing information. Operators of low level of basic nervous processes had fewer redactions, low reactivity of the nervous system, sustained attention and memory, shorter intervals between  $N_1$ - $P_2$ ,  $P_2$ - $N_2$ ,  $N_2$ - $P_3$ ,  $P_3$ - $N_3$  and large latent periods components  $N_1$ ,  $P_2$ ,  $N_2$ ,  $P_3$  evoked cognitive potentials of  $P_{300}$ . They were had higher power values of SDNN, LF and HF heart rate and low amplitude-frequency component, high bisferious index and high values of the tone of the large vessels of the brain.

**Keywords:** operators, processing auditory information, individually-typological properties, caused by brain activity reoencephalogram, memory, attention, heart rhythm.

**Bogdanovskaya N.V., Malikov N.V.**  
**Evaluation of Dynamics of Changes in Different Ways Arginine Metabolism Activity under Adaptation to Physical Stress**

*Bogdanovskaya Nadezhda Vasilyevna, D.Sc. in Biology, Prof.,  
Malikov Nikolay Vasilyevich, D.Sc. in Biology, Prof.  
Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhya, Ukraine*

**Abstract.** A survey of 29 trained and untrained youths aged 18 to 20 years was carried out. It has been shown that the optimal level of adaptation of a trained body to prolonged and intense physical exercise is provided by the activation of not only the constitutive calcium-dependent nitric oxide synthesis, but also by oxidative arginase metabolism of arginine, which yields a range of important low-molecular bioregulators and antioxidants, including urea. Significant reduction in the functionality of the body of trained youths at the end of competition period and as a consequence the manifestation of disadaptation signs correlates with increased oxidative calcium independent nitric oxide synthesis and its non-oxidative synthesis due to reutilization of stable circulating NO metabolites.

**Keywords:** *metabolism, arginine, nitric oxide, physical exercise, adaptation, youths*

**Introduction.** It is proved that nitric oxide plays an important role in the adaptation of the organism to physical exercise in particular through the regulation of the functional state of the cardiovascular system [4, 5, 6]. A number of authors identified the restructuring of the functional status of endothelium and nitric oxide system in humans under the influence of muscular work, which relates primarily to the increase in nitric oxide (NO) synthesis and as a consequence to the severity of vascular vasodilator responses [7-10]. It should also be noted that in almost all studies metered and nondurable physical exercises were exclusively used.

As we have shown earlier, young sportswomen performing prolonged physical work of great intensity and amount in either the mode of training, or in aggravated by psychological stress mode of competition manifested significant changes in nitric oxide synthesis: among the women, at transition from training load up the same one, but in terms of psychological stress the intensity of the oxidative degradation of arginine with the participation of cNOS reduced significantly, as well as arginase pathway of its metabolism by which such important low-molecular bioregulators as urea, polyamines and GABA are synthesized; and conversely the oxidation of arginine by calcium independent iNOS enhanced [1, 2].

**The goal** was to study the characteristics of changes in the exchange of L-arginine including oxidative nitric oxide synthesis in healthy persons under the influence of prolonged exercise of significant amount and intensity. It was important to examine the intensity of nitric oxide synthesis both inducible and constitutional, the intensity of its reutilization (salvage) synthesis through the restoration of stable circulating metabolites – nitrite and nitrate, as well as the intensity of a non-oxidizing degradation of arginine by arginase.

**Methods.** The experiment involved 17 untrained students, young men (control group) and 12 trained young men, handball players (experimental group) aged 18 to 20 years. Youths of the experimental group systematically performed muscular work of large amount and intensity during 11 months. The first three months were training period, over the next 8 months (competition period) training exercises (25 – 30% of the total load of the training period) were carried out in parallel with the competition in accordance with the schedule of a team.

In the study, biochemical parameters that characterize the rate of metabolism of L-arginine by two alternative

pathways of metabolism (non-oxidative arginase way and oxidative NO synthase one) were determined in blood plasma of youths in both groups.

The intensity of non-oxidative metabolism was assessed by determining the activity of arginase and urea amount formed when using this enzyme. The intensity of the oxidative degradation of arginine to synthesize nitric oxide was assessed by the activity of different isoenzymes of NO-synthases – calcium dependent constitutive one, cNOS (it was determined as the total activity of endothelial and neuronal NOS: eNOS + nNOS = cNOS) and calcium independent inducible one (iNOS), as well as the level of stable oxidized metabolites of nitric oxide, namely: nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) and nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) anions.

We also estimated the intensity of nitrate anions salvage for re-synthesis of nitric oxide by determining NADPH-dependent nitrate reductase activity in the blood plasma. All those indicators were determined according to previously described methods [1, 2].

We also calculated relative changes (D,%) in biochemical parameters with respect to certain investigated period, or control according to such a formula:

$$D = 100 \cdot (X_i - X_n) / X_n,$$

where  $X_i$  is the final value of a parameter;  $X_n$  is the initial value of the parameter.

All biochemical parameters were measured in leukocyte enriched plasma of untrained young men of the control group at the beginning of survey and in trained young men of the experimental group three times: at the end of the training period (or beginning of competition period), in the middle and late period of competition period. In the process of the training period (3 months), physical activity was performed in the absence of factors of psychological stress, and within the competitive period (8 months) it was performed in both a stress-free mode, and in stressful conditions of the responsible competitions.

Chosen scheme for determining these biochemical parameters was based on the fact that we tried to evaluate the changes in the activity of different pathways of arginine and nitric oxide synthesis in the late training period (at the peak of physical fitness, achieved during the training sessions), in mid-competition period (after 7 months after the start of training or 4 months after the start of the competitions), and at the end of competition period (within 11 months after the start of training or 8 months after the start of the competitions).

In untrained young men of the control group at baseline of the survey and in trained ones of the experimental group after the training period, in the middle and late period of competition period we determined simultaneously the overall physical work capacity ( $PWC_{170}$ ) by means of sub maximal test  $PWC_{170}$ , and maximal oxygen consumption ( $VO_2max$ ) relative to body weight by Karpman's [3]:

$$PWC_{170} = [N_1 + (N_2 - N_1) \cdot (170 - HR_1) / (HR_2 - HR_1)] / BW,$$

where  $N_1$  is capacity of the first load,  $kgm / min$ ;  $N_2$  is capacity of the second load,  $kgm / min$ ;  $HR_1$  is heart rate at the end of the first load,  $min^{-1}$ ;  $HR_2$  is heart rate at the end of the second load,  $min^{-1}$ ;  $BW$  is body weight,  $kg$ .

$$VO_2max = 1.7 \cdot PWC_{170} \cdot BW + 1240,$$

where  $PWC_{170}$  is relative value of the overall physical work capacity,  $kgm \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ ;  $BW$  is body weight,  $kg$ ; 1.7 and 1240 are constant coefficients.

All results were processed by variational statistics method, using t Student's test. Mean value (M), standard deviation (m) and coefficient of reliability (P) calculations

was performed using Calc (OpenOffice.org), STATISTICA'99 ("StatSoft. Inc").

**Results and their Discussion.** In the investigation we analyzed the dynamics of biochemical and functional parameters of surveyed and trained youths. Table 1 shows the results of a preliminary survey of both the control and experimental youth groups. Examination of the latter group was held at the end of the preparation for the competitive season, at a kind of a peak of their functional readiness, which was confirmed by their sufficiently high values of the general physical working capacity  $PWC_{170}$  and maximal oxygen consumption ( $VO_2max$ ). The young men who trained regularly and intensively for 3 months at that stage manifested values of almost all the studied biochemical parameters significantly higher than those in untrained youths of the same age in control group. This showed the importance of the studied biochemical markers of NO-synthase and arginase pathways of arginine metabolism, as well as oxidative and (by NOS) non-oxidative salvage (by nitrate reductase) synthesis of nitric oxide for youths' adaptation to prolonged and considerable physical exercises [7-10].

Table 1

**Biochemical and functional parameters of the surveyed (control group n = 12) and trained (experimental group n = 17) youths (M ± m)**

Parameters	Control	Trained
$NO_2^-$ , $pmol \cdot mg^{-1}$ of protein	177.1 ± 18.1	323.70 ± 24.70*
$NO_3^-$ , $nmol \cdot mg^{-1}$ of protein	7.74 ± 0.82	1.67 ± 0.20*
Arginase, $nmol \cdot min^{-1} \cdot mg^{-1}$ of protein	1.21 ± 0.16	2.09 ± 0.25*
Urea, $nmol \cdot mg^{-1}$ of protein	56.68 ± 5.40	75.80 ± 6.20*
Constitutive NO-synthase, $pmol \cdot min^{-1} \cdot mg^{-1}$ of protein	40.04 ± 3.24	58.6 ± 7.90*
Inducible NO-synthase, $pmol \cdot min^{-1} \cdot mg^{-1}$ of protein	14.44 ± 4.08	12.3 ± 2.45
Total NO-synthase, $pmol \cdot min^{-1} \cdot mg^{-1}$ of protein	54.48 ± 7.48	70.95 ± 9.85
Nitrate reductase, $nmol \cdot min^{-1} \cdot mg^{-1}$ of protein	3.17 ± 0.15	3.47 ± 0.41
General physical working capacity, $kgm \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$	12.86 ± 0.97	26.64 ± 1.31*
Maximal oxygen consumption, $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$	48.32 ± 1.24	70.24 ± 2.84*

\* –  $P < 0,05$ .

However, analysis of the results made it possible to ascertain the presence of a specific hierarchical organization of arginine exchange and nitric oxide synthesis in the experimental group of surveyed youths at the highest (maximum) level of their functional readiness. So, at the end of the training period with the maximum values of  $PWC_{170}$  (twice higher than in the control) and  $VO_2max$  (statistically significant excess of  $VO_2max$  control values by 50%) the dominant role in providing the necessary content of nitric oxide and as a consequence, the maximum level of functional parameters of trained youths fully adapted to the implementation of a long and significant physical activity is provided by a sufficiently high activity of constitutive nitric oxide synthesis (+46.35% compared with the control) in combination with high levels of arginase activity (+72.73%). In addition, the importance of achieving optimal functional fitness may also have a contribution of nitric oxide re-synthesized from its circulating stable metabolites (nitrite anion content was by 82.78% higher, and nitrate anion content by 78.44% lower than those in the controls), although significant differences in nitrate reductase activity were not recorded. Significantly lower (by 14.82%) values of iNOS in young men compared with the control group also testified in favor of an optimal state of nitric oxide synthesis in young men of the experimental group at the beginning of the training period.

In general, we can say that more expressed constitutive de novo nitric oxide synthesis in trained youths, combined with a relatively moderate increase in salvage pathway, increased intensity of arginase pathway and decreased activity of calcium-independent (by iNOS) NO synthesis were observed against the background of increased values of their overall physical working capacity and aerobic efficiency as compared to control. It is a convincing proof of the important role of nitric oxide synthesized by constitutive way rather than inducible one to ensure an adequate level of functional fitness of the body.

We also evaluated the changes in nitric oxide synthesis in various stages of training and competitive activity of trained youths in the dynamics of adaptation to changes in the nature and extent of external impact on their body in the form of muscle work.

As it is seen from the results presented in Table 2, long-term combination of training and competitive pressures in trained youths of the experimental group resulted in decreased level of their physical work capacity and maximal oxygen consumption by the middle of competition period, which fully confirms the published data on this question. In this connection, significant changes were observed in the system providing the body with nitric oxide.

It has been found that under conditions of prolonged muscular work a dominant role in ensuring the optimal level of the system of nitric oxide synthesis belongs not only to oxidative constitutive synthesis of NO but also to its non-oxidative re-synthesis from stable metabolites.

Thus, in the middle of competition period some plasma parameters reached maximum values: the content of nitrite anion (+16.77%), cNOS activity (+22.30%), and es-

pecially nitrate reductase activity (+112.68%), while on the contrary, content of the nitrate anion (-38.92%) and the activity of arginase (-37.32%) reached the minimum. It is possible that increased activity of cNOS was due to decreased activities of both arginase and iNOS (-15.20%) competing with cNOS for the common substrate – L-arginine.

Table 2

**Changes in the absolute values of the biochemical and functional parameters in trained youths, depending on the duration of regular physical exercises and psychological stress during competitions (M ± m)**

Parameters	Middle of competitive period	End of competitive period
NO <sub>2</sub> , pmol mg <sup>-1</sup> of protein	378.0 ± 46.90	299.2 ± 16.00**
NO <sub>3</sub> , nmol mg <sup>-1</sup> of protein	1.02 ± 0.13**	1.33 ± 0.05**
Arginase, nmol·min <sup>-1</sup> ·mg <sup>-1</sup> of protein	1.31 ± 0.29*	1.89 ± 0.06
Urea, nmol·mg <sup>-1</sup> of protein	57.60 ± 9.60	65.80 ± 2.70
Constitutive NO-synthase, pmol·min <sup>-1</sup> ·mg <sup>-1</sup> of protein	71.67 ± 6.42	37.65 ± 3.00**
Inducible NO-synthase, pmol·min <sup>-1</sup> ·mg <sup>-1</sup> of protein	10.43 ± 1.36	20.20 ± 1.30**
Total NO-synthase, pmol·min <sup>-1</sup> ·mg <sup>-1</sup> of protein	82.1 ± 2.42	57.85 ± 8.03
Nitrate reductase, nmol·min <sup>-1</sup> ·mg <sup>-1</sup> of protein	7.38 ± 0.87***	4.80 ± 0.45**
General physical working capacity, kgm·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	23.77 ± 0.57	19.85 ± 0.61*
Maximal oxygen consumption, ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	63.61 ± 1.20	60.25 ± 1.92**

\* – P < 0,05; \*\* – P < 0,01; \*\*\* – P < 0,001.

It is known that the end of competition period in sportsmen is characterized by a powerful growth of the natural fatigue, decreased physical ability and physical fitness. In accordance with the results presented in Table 2, in trained youths at the final stage of the study we actually showed marked significant decrease in PWC<sub>170</sub> (by 25.49% compared to baseline values) and VO<sub>2</sub>max (-14.22%). At the same time, the need for continued competitive activity and performance of physical activities at the appropriate level requires the mobilization of functional reserves and the formation of new physiological mechanisms of its adequate adaptation to regular muscular work.

As it was shown by the results of our study, adaptive adjustments in the synthesis of nitric oxide in the boundary phase and even above-threshold external influences are reflected in the change in the hierarchy of the individual components. In the survey of youths in the experimental group at the end of competition period, we found significant changes in the intensity of oxidative de novo and non-oxidative "salvage" nitric oxide synthesis. At that time, the main role in the synthesis of nitric oxide was owned by its calcium-independent synthesis (significant increase in iNOS activity from baseline values was 64.23%). Thus, the calcium-dependent synthesis of NO decreased reciprocally (-35.76%).

The results of survey made it possible to identify some significant features in the organization of nitric oxide synthesis in young men aged 18 – 20 during their prolonged training and competitive activities. It has been shown that the transition from the relatively favorable conditions of the training period to the extreme conditions of the competitions was accompanied by a change in the values of the main ways to ensure their body's nitric oxide – from the dominant role of oxidative constitutive de novo NO synthesis from L-arginine and non-oxidative arginase metabolism of the latter with the formation of intermediate low-molecular bioregulators and antioxidants (urea, polyamines, GABA) to the predominance of oxidative calcium-independent inducible nitric oxide de novo synthesis

and its non-oxidative "salvage" synthesis. Thus, we can assume the paradoxical possibility of participation of non-oxidative arginase pathway of arginine degradation (arginine + H<sub>2</sub>O → urea + ornithine → putrescine → GABA → guanidine butyric acid (GBA) → NO or arginine + H<sub>2</sub>O → urea + ornithine → glutamate → GABA → GBA → NO), and not just oxidative NO synthase degradation (arginine + H<sub>2</sub>O → citrulline + NO) in maintaining high levels of nitric oxide synthesis as evidenced by a high content of nitrite anion in the blood plasma of untrained young men. Perhaps it is a necessary and important condition for their effective adaptation to the implementation of large amount of training loads for a long time. Obviously, high arginase activity in trained young men may provide additional nitric oxide formation during the oxidation of different isozymes of GBA along with the classical arginine oxidation by NOS. In addition arginase metabolism of arginine can consistently provide the body with urea as an antioxidant and regulator of NO synthesis, putrescine as a regulator of cell proliferation and antioxidant, GABA as a regulator of mitochondrial pore and inhibitory neurotransmitter in the CNS, which is also very important to adapt to the intense and prolonged physical exercise of a training period in the absence of psychological stress factors. Within the competition period when the effects of these factors are enhanced, the intensity of the non-oxidative exchange of arginine is gradually reduced to the level of untrained young men, that is, from a biochemical point of view there is almost complete body deadaptation at the end of competition period according to non-oxidative exchange of arginine.

The data obtained are not only evidence of the importance of both oxidative and non-oxidative arginine metabolism for adaptation to prolonged physical exercise of large intensity, but also the important role of non-oxidative (constitutive calcium-dependent and calcium-independent inducible ones) and non-oxidative "salvage" pathways of nitric oxide synthesis, which is an essential complement to the existing information on the subject.

## Conclusions

1. The end of training sessions within the training period for young men performing regularly muscular work is characterized by high levels of both oxidative and non-oxidative metabolism of L-arginine on account of both calcium-dependent constitutive NO synthase (synthesis of nitric oxide and citrulline) and non-oxidative metabolism of arginine (synthesis of ornithine and urea). The high portion of nitrite anion content in the total pool of circulating in plasma stable metabolites of nitric oxide corresponds to body adaptation to prolonged and intensive physical exercise.

2. An increase in the degree of adverse effects of intensive training (physical) and competitive (both physical and psychological) stress is accompanied by a pronounced adaptive changes in the hierarchy of constitutive oxidative (decrease) and inducible (increase) de novo nitric oxide synthesis, as well as non-oxidative salvage nitric oxide synthesis (increase) and non-oxidative degradation of L-arginine (decrease).

3. Physical deconditioning of young men at the end of competition period is accompanied by a significant increase in the activity of oxidative calcium-independent de novo synthesis of NO and in a less degree by increasing its non-oxidative synthesis due to salvage of circulating oxidized stable metabolites.

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Bohdanov'ska NV, Sviatodukh HM, Kotsiuruba AV, Korkach IuP, Malikov MV. [Nitric oxide synthesis during long-term adaptation to intensive muscular work in female sportsmen]. *Fiziol Zh.* 2009;55 (3):94-9.
2. Bohdanovskaya NV, Svyatodukh AN, Malykov NV. [Evaluation of the role of vascular endothelium in the physical fitness of female volleyball players during an intense competitive activity]. *Visn Zaporizk Nat Univ Bio.sciences.* 2008;1:40-3.
3. Karpman VL. Testing in sports medicine. Moscow: FIS; 1988.
4. Moybenko OO, Sagach VF, Shapoval LM, Solovyov AI, Bazilyuk OV, Zhukova AV, Tkachenko MM, Marchenko SM. [Role of endothelium and biologically active substances of endothelial origin in the regulation of circulation and the heart activity]. *Fiziol Zh.* 1997;43 (1):2-3.
5. Moïbenko AA, Pavliuchenko VB, Datsenko VV, Maïskii VA. [Role of nitric oxide in the mechanisms of formation of reflex vasomotor responses]. *Usp Fiziol Nauk.* 2005;36 (4):3-12.
6. Sagach VF. The role of nitric oxide in the regulation of blood circulation. Regulatory function in the body. In: Purines and nitrogen monoxide. Minsk: Tehnoprnt;2003. p. 110-3.
7. Bowles DK, Woodman CR, Laughlin MH. Coronary smooth muscle and endothelial adaptations to exercise training. *Exerc Sport Sci Rev.* 2000;28 (2):57-62.
8. Clarkson P, Montgomery HE, Mullen MJ, Donald AE, Powe AJ, Bull T, Jubb M, World M, Deanfield JE. Exercise training enhances endothelial function in young men. *J Am Coll Cardiol.* 1999;33 (5):1379-85. Green DJ, Maiorana A, O'Driscoll G, Taylor R. Effect of exercise training on endothelium-derived nitric oxide function in humans. *J Physiol.* 2004;561 (Pt 1):1-25.
9. Hambrecht R, Wolf A, Gielen S, Linke A, Hofer J, Erbs S, Schoene N, Schuler G. Effect of exercise on coronary endothelial function in patients with coronary artery disease. *N Engl J Med.* 2000;342 (7):454-60.
10. Kingwell BA. Nitric oxide-mediated metabolic regulation during exercise: effects of training in health and cardiovascular disease. *FASEB J.* 2000;14 (12):1685-96.

## Богдановская Н.В., Маликов Н.В. Оценка динамики изменения активности различных путей обмена аргинина при адаптации к физическим нагрузкам

**Аннотация.** Проведено обследование 29 тренированных и нетренированных юношей в возрасте 18-20 лет. Доказано, что оптимальный уровень адаптации их организма к продолжительным и интенсивным физическим нагрузкам обеспечивается превалированием многостадийного недоокисленного аргиназного метаболизма аргинина и его окислительного метаболизма при участии конститутивных кальцийзависимых NO-синтаз (eNOS и nNOS), при которых образуются несколько важных низкомолекулярных биорегуляторов и антиоксидантов (мочевина, полиамины, ГАМК) над одностадийным кальцийнезависимым окислением аргинина, из которого образуется лишь оксид азота. Значительное снижение функциональных возможностей организма тренированных юношей в конце соревновательного периода и, как следствие, проявление признаков дезадаптации, связано с экспрессией активности индуцибельной кальцийнезависимой NO-синтазы, что не компенсирует потребности организма в оксиде азота.

**Ключевые слова:** метаболизм, аргинин, оксид азота, физические упражнения, адаптация, юноши.



**Kovalenko S.O., Kudij L.I., Lutsenko O.I.**  
**Peculiarities of male and female heart rate variability**

*Kovalenko Stanislav Aleksandrovich, Dr. Science in Biology, Prof.,  
Kudij Lyudmila Ivanovna, PhD in Biology, Assoc. Prof.  
Lutsenko Olena Ivanovna, PhD Student,  
Mykhajlo Bosyj Scientific Research Institute of Physiology,  
Cherkasy National University named after Bohdan Khmelnytsky, Cherkasy, Ukraine*

**Abstract.** In 118 healthy men and women parameters of wave structure of heart rate at rest in the lying position, during tilt-test and psychoemotional load were determined. In 32 women the registration was realized three times, namely during follicular phase, ovulation and luteal phase of ovarian-menstrual cycle. It was observed that variability of male and female heart rate at rest in the lying position is substantially different due to greater general power of R-R-interval oscillation spectrum in men. In vertical position and under psychoemotional load the decreasing of general spectrum power in women was greater than in men. Also the power reactivity and its distributions in heart rate low frequency range considerably differ in direction and amplitude. Observed during the repeated measurements female lower reproducibility of the parameters of heart rate wave structure can be explained by changes in female organism that depend on ovarian-menstrual cycle.

**Keywords:** heart rate variability, tilt-test, psychoemotional load.

**Introduction.** It is well known that the heart rhythm is the universal indicator of the organism reaction on the influences of external and internal environment. It contains information about functional human state both under normal and pathologic conditions [9, 12]. Analysis of the heart rate variability can be used in order to estimate vegetative balance, homeostasis self-regulation system. Moreover the high level of heart rate variability also has to be a subject of special analysis for the purpose of elimination of probable heart activity disorders [11, 19].

Papers [4, 5, 8, 10] contains the information about the age and gender changes of some heart rate variability parameters. In Ketel et al [16] investigations, that were realized for randomized group of 149 mean age men and 137 mean age women, was revealed that level of heart rate variability is inversely proportional to age and cardiac rhythm in subjects of both gender. The level of LF is higher in men compared to women. Similar gender and age peculiarities of the wave structure of heart rate were observed in investigations of other researchers, namely, Bai X et al [13] (group of 302 men and 312 women), Aubert et al [12] (653 subjects) and Barrett et al [14] (276 subjects).

Also the significant distinctions exist between reactivity of power of R-R interval length oscillations and arterial pressure in women and in men in case of physical, intellectual and cold loads. It was shown [8] that centralization of mechanism of regulation of cardiovascular system is higher in women while the increasing of the activity of sympathetic chain of vegetative nervous system is more typical for men.

It should be noted that question about gender differences in heart rate variability parameters is not enough studied. Also the manifestation of reactivity of organism characteristics under the different loads is not investigated.

**The aim of the investigation** is the study of the peculiarities of male and female heart rate variability at rest in the lying position, during tilt-test and psychoemotional load.

**Materials and methods.** The 118 men and women between 18 and 23 years of age took part in the investigation. The investigation was realized with adherence of the main bioethics condition of Council of Europe Conven-

tion on Human Rights and Biomedicine (04.04.1997), World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects (1994-2008). In 32 women the registration was realized three times – during follicular phase (I), ovulation (II) and luteal phase (III) of ovarian-menstrual cycle. Determination of cycle phases was realized by using anamnesis, basal body temperature measuring and set of stream ovulation test "Solo" (IND Diagnostic, Inc. Canada).

In the morning (from 8 to 11 hours) after the 15-minutes rest in the lying position the 5-minuties registration of the electrocardiogram and differential impedance rheogram (rheoanalyser PA-5-01, Kyiv Research Institute of the Radio-Metering Equipments) had been realized. Analogous registration was realized for the case of tilt-test (5 minutes) and under psychoemotional load (10 minutes).

Statistical and spectral analysis of the cardiointervalgram was realized by using the software "CASPICO" (a/s of Ukraine №11262). The power of the spectrum oscillation R-R in the standard frequency ranges: 0-0,04 Hz (VLF), 0,04-0,15 Hz (LF), 0,15-0,4 Hz (HF), 0-0,4 Hz (TP) and normalized power in range 0,15-0,4 Hz ( $HF_{norm}$ ) were estimated [10]. In order to the investigation of the wave structure detail peculiarities the median spectrogram in this range were drawn (with the step 0,01 Hz) [3]. Psychoemotional load was simulated by 10-minutes neurodynamic testing in feedback mode according to the M.V. Makarenko technique.

On account of the non-normal distribution of most parameters the median and ranges of top and bottom quartiles were estimated. Scattering probability was determined by Wilcoxon paired comparison criteria.

**Results and discussion.** It should be noted that results of spectral analysis of male and female heart rate at rest in the lying position considerably distinguish. So values of following parameters were higher in men compared to women: LF (781 [426; 1285]  $ms^2$  and 607 [251; 874]  $ms^2$ , respectively), HF (1165 [620; 1908]  $ms^2$  and 795 [342; 1564]  $ms^2$ , respectively), TP (2816 [1784; 4787]  $ms^2$  and 2143 [1099; 4104]  $ms^2$ ) with reliably ( $p < 0,01$ ). There were no significant gender differences in  $HF_{norm}$  and VLF parameters.

In vertical position values of almost all parameters substantially decreased ( $p < 0,001$ ) both in men and women. So VLF became equal  $670 [348; 1453] \text{ ms}^2$  and  $512 [313; 937] \text{ ms}^2$ , respectively, LF –  $932 [487; 1458] \text{ ms}^2$  and  $521 [289; 771] \text{ ms}^2$ , HF –  $266 [128; 577] \text{ ms}^2$  and  $192 [108; 344] \text{ ms}^2$ ,  $\text{HF}_{\text{norm}}$  –  $23,9 [14,3; 35,5] \text{ ms}^2$  and  $28,5 [20,1; 36,6] \text{ ms}^2$ , TP –  $2089 [1115; 3358] \text{ ms}^2$  and  $1286 [778; 2243] \text{ ms}^2$ . Such changes of heart rate variability is related to changing of body position and redistribution of blood to lower extremities. Accordingly the vessel

tone rises in order to provide blood return to heart and the acceleration of heart rhythm by activation of sympathetic nervous system is observed. At the same time the heart rate variability decreases [9, 10].

It is interesting that reactivity of several parameters of heart rate was higher in women ( $p < 0,01$ ) in comparison with men. For example value TP changed on  $-39,98 [-29,19; 45,33] \%$  and  $-25,8 [-37,5; -29,9] \%$  respectively. Amplitude of LF and  $\text{HF}_{\text{norm}}$  changes was lower ( $p < 0,01$ ) in women compared to men (Table. 1).

Table 1

**Reactivity (%) of the parameters of heart rate variability during tilt-test and psychoemotional influence in men and women (median, 25 and 75 percentile)**

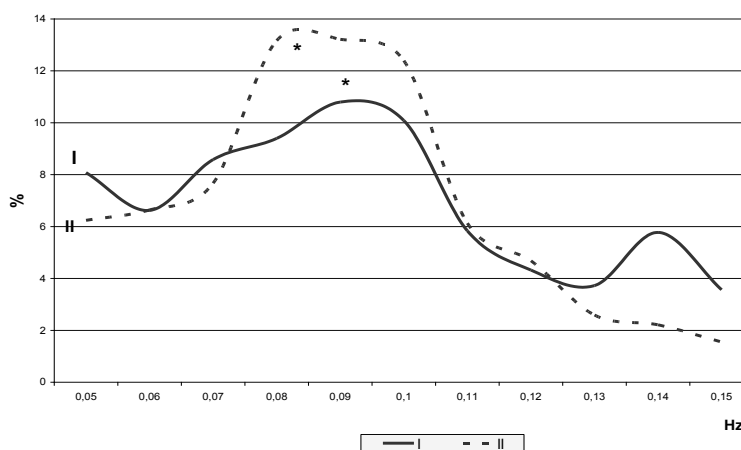
Parameters	Conditions			
	Tilt-test		Psychoemotional load	
	Men	Women	Men	Women
VLF	-10,5 [-22,2; 17,9]	-12,01 [-16,05; -14,58]	2,4 [-10,9; 19,5]	0,06 [-3,9; -22,96]**
LF	19,3 [14,4; 13,4]	-14,16 [15,37; -11,77]**	17,3 [25,9; 2,2]	-24,63 [19,62; -6,46]**
HF	-77,1 [-79,3; -69,7]	-75,83 [-77,99; -68,27]	-54,4 [-56,8; -46,2]	-68,03 [-60,64; -53,48]**
$\text{HF}_{\text{norm}}$	-60,7 [-71,0; -49,4]	-53,10 [-60,46; -49,51]**	-37,0 [-50,3; -25,7]	-37,89 [-51,36; -26,27]
TP	-25,8 [-37,5; -29,9]	-39,98 [-29,19; -45,33]**	-15,0 [-5,3; -19,7]	-28,42 [-12,41; -44,77]**

Note: \*\* -  $p < 0,01$  during comparison parameters of men and women.

Under psychoemotional load also the changes of heart rate parameters both in men and women were observed. So values of following parameters were higher in men compared to women: VLF –  $767 [398; 1472] \text{ ms}^2$  and  $582 [359; 845] \text{ ms}^2$ , LF –  $916 [536; 1314] \text{ ms}^2$  and  $458 [300; 818] \text{ ms}^2$ , HF –  $531 [268; 1027] \text{ ms}^2$  and  $254 [134; 727] \text{ ms}^2$ , TP –  $2394 [1690; 3843] \text{ ms}^2$  and  $1534 [962; 2266] \text{ ms}^2$ . There were no significant gender differences in  $\text{HF}_{\text{norm}}$  parameter –  $37,7 [24,7; 53,4] \%$  and  $38,3 [24,4; 52,2] \%$  respectively. It should be noted that reactivity of heart

rate variability parameters under psychoemotional load maintains the gender differences in TP and LF values typical for tilt-test, in  $\text{HF}_{\text{norm}}$  such differences value vanished and in HF - arised (Table 1).

Attention is drawn to the fact that maximal deviation of the reactivity of heart rate variability parameters under load (tilt-test, neurodynamic) is typical for the factors of frequency range from 0,04-0,15 Hz. As a result the detailed analysis of the distribution of power of heart rate waves by normalized spectrogram was realized.



**Fig. 1.** Normalized median spectrogram of the power of the R-R intervals length oscillations in the range of low frequencies of male and female cardiac rhythm during tilt-test (I – women, II – men; \* -  $p < 0,05$  during comparison parameters of men and women).

It was shown that male and female normalized spectral intensity in low frequency range during tilt-test has significant differences on 0,08 Hz and 0,1 Hz. The latter fact may indicate that the gender peculiarity of spontaneous baroreflex sensitivity and distinction in wave genesis exists.

At the same time both in men and women the considerable individual peculiarities of heart rate wave structure parameters were observed. In order to investigate stability of such peculiarities the correlation analysis was realized. The measurements with time interval near 40 days for men and 28 days for women were carried out (Table 2). It was defined that at rest, during tilt-test and under psy-

choemotional load parameters repeatability was higher in men compared to women. An exception was obtained in case of Spearman correlation coefficient for VLF factor. Such results corresponds with other researchers conclusions that heart rate variability is genetic determinate characteristic of human organism [4, 10]. The lower repeatability of heart rate variability in women can be caused by hormonal changes of organism within ovarian-menstrual cycle [2]. Therefore it is appropriate to analyze the parameters of wave structure of heart rhythm separately in different phases of ovarian-menstrual cycle.

There were no significant differences in heart rate variability at rest in lying position in different phases of ovar-

ian-menstrual cycle. At the same time the higher values of HF<sub>norm</sub> in the phase III in comparison with phase II (65,4 [54,8; 75,0]% and 55,4 [42,6; 68,9]% respectively) and lower aLF (11533 [5449; 23958] ms<sup>2</sup>•Hz<sup>-1</sup> and 17224 [9769; 26508] ms<sup>2</sup>•Hz<sup>-1</sup>, respectively) were observed. Such results indicate that the level of activation of the parasympathetic branch of vegetative nervous system within the folliculin and luteal phases is higher. During the tilt-test the significant changes of the wave structure of the cardiac rhythm were observed with some peculiarities for the different phases of OMC. So the level of VLF didn't change, LF decreased (with p<0,05) from 670 [273; 974] ms<sup>2</sup> to 459 [276; 689] ms<sup>2</sup> in the phase II. With high probability (p<0,001) the decreasing of HF, HF<sub>norm</sub>, TP was observed for all phases. Such changes are typical for such kind of load and connected with dominance of sympathetic chain of vegetative nervous system tone.

Table 2  
Correlation coefficients for repeated measurements of the parameters of spectral analysis of male and female heart rate

Parameters	Conditions					
	In lying position		Tilt-test		Psychoemotional load	
	Men	Women	Men	Women	Men	Women
VLF, mc <sup>2</sup>	0,42	0,50	0,41	0,40	0,46	0,33
LF, mc <sup>2</sup>	0,72	0,06*	0,58	0,06*	0,76	0,47*
HF, mc <sup>2</sup>	0,65	0,41*	0,82	0,35*	0,80	0,09*
HF <sub>norm</sub> , %	0,69	0,15*	0,64	0,33*	0,79	0,72
TP, mc <sup>2</sup>	0,37	0,10*	0,19	0,28*	0,76	0,38*

Note: \*p<0,05 during comparison parameters of men and women

The analysis of the heart rate responsiveness in the case of orthostasis is evidence of the increasing of the power of heart rate low-frequency waves in the luteal phase with the higher probability than for the process of its decreasing in the ovulatory phase. Also in the phase II the significant increasing of the maximum peak in the range 0,04-0,15 Hz (by 60,8%) had been observed.

Under neurodynamic test for different phases of ovarian-menstrual cycle the decreasing of HF, HF<sub>norm</sub>, TP was observed (p<0,001). Such changes are typical for psychoemotional load and can be explained by significant activation of sympathetic chain of vegetative nervous system. In this case reactivity of LF in phase I (18,1 [-31,6; 75,1] %) differs from value in phase II (-17,6 [-51,7; 50,2] %) and III (-23,9 [-64,6; 69,7] %). Decreasing of HF<sub>norm</sub> in phase III was lower as compared with phase II and I (-26,6 [-4,3; -10,6] %, -38,3 [-48,9; -21,2] %, -45,0 [-55,9; -20,6] % respectively).

Therefore under neurodynamic load the significant adaptive changes of vegetative regulation in follicular phase were observed. At the same time the lowest reactiv-

ity and inhibition of the organism functional state are typical for luteal phase of OMC.

Table 3

Reactivity (%) of the parameters of heart rate variability tilt-test in the different phases of the women biological cycle

Parameter	Phase		
	I	II	III
VLF	-15,8[-49,5; 43,5]	-20,4[-57,5; 25,8]	-8,9[-46,3; 64,8]
LF	-1,4[-35,6; 60,8]	-21,7[-59,2; 29,7]	27,6[-35; 71,8] <sup>#</sup>
HF	-73,4[-88,7; -53,5]	-70,8[-85,5; -51,3]	-73,3[-83,4; -45,2]
HF <sub>norm</sub>	-56,5[-65,9; -39,2]	-50,8[-60,6; -34,3]	-49,3[-64,3; -40,9]
TP	-38,7[-59,5; 0,0]	-41,3[-71,2; 7,3]	-35,7[-52,6; 32,5]

Note. \* - p<0,05 in comparison with the parameters of phase I; <sup>#</sup> - p<0,05 between phases II and III

Privci T. et al [20] maintain that analysis of cardiointervals is more useful to the observation of small variations of heart rate variability activity during menstrual cycle than typical parameters such as cardiac rhythm and arterial pressure. However the results of the investigation of heart rate changes during menstrual cycle still remain questionable. It should be noted that phase of ovarian cycle has an effect on heart rate variability in women of childbearing aged both at rest and under psychoemotional load [7]. Accordingly to [5] the increasing of the activity of sympathetic division of vegetative nervous system at rest during luteal phase in comparison with follicular phase was observed by analysis of the parameters of heart rate variability. However in [15] were no distinctions between parameters of wave structure of arterial pressure and cardiac rhythm

It was found [17] that spontaneous baroreflex sensitivity increases during the luteal phase compared with follicular phase (in 10 healthy women).

### Conclusions

1. The value of heart rate variability of male and female heart rate at rest in the lying position is substantially different due to greater general power of R-R-interval oscillation spectrum in men. In vertical position and under psychoemotional load the decreasing of general spectrum power in women was greater than in men. Also the power reactivity and its distributions in heart rate low frequency range considerably differ in direction and amplitude.

2. Observable female lower reproducibility of the parameters of heart rate wave structure may be explained by changes in female organism that depend on ovarian-menstrual cycle.

3. There were no significant differences in heart rate variability at rest in lying position in different phases of ovarian-menstrual cycle; during tilt-test and psychoemotional load the highest changes of parameters of heart rate wave structure correspond to luteal phase.

### REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- Baevskii P.M. // Analysis of heart rate variability in space medicine / P.M. Baevskii // Human Physiology – 2002. – V. 28, № 2. – P. 70-82.
- Variability of heart rate during pubescence and pregnancy / [Tsirkin V.I., Sizova E.N., Kaisina I.G. et al]. – M. Russian Bulletin of Obstetrician-gynecologist, 2010. – P. 127-135.
- Kovalenko S.A. Analysis of the cardiac rhythm variability by the median spectrogram method // Physiol. Mag. – 2005. V.51 №3. – P.92-95.
- Korkushko O.V. Daily rhythms of cardiovascular system: possible mechanisms of age-related changes / O.V. Korkushko, A.V. Pysarchuk, V.B. Shatylo // Journal of Academy of Medical Sciences 2006. – № 3. – P. 540-549.
- Krivoruchenko E.V. Heart rate variability in practice of sports medicine and sports training: literature review / E.V. Krivoruchenko // Sports medicine. – 2006. – №1. – P. 37-45.

6. Mikhailov V.M. Heart rate variability: experience of method practical application. / V.M. Mikhailov. – Ivanovo: Ivanovo State Medical Academy, 2002. – 290 p.
7. Peculiarities of the cardiovascular system functioning during the different phases of menstrual cycle / [Dmitriev D.A., Saperova E.V., Dmitriev A.D., Karpenko Yu.D.] – Russian Physiological Magazine named after I.M. Sechenov. Vol.93, № 3, 2007 - P. 300-305.
8. Peshakov O.V. Peculiarities of control mechanisms of system hemodynamics in different female age ranges: abstract of a thesis for a candidate's degree in medicine / O.V. Peshakov. - Chelyabinsk, 2005. – 20, [1] p.
9. Fleishman A.N. Heart rate variability and sluggish hemodynamics oscillations (non linear phenomena in clinical practice) / A.N. Fleishman. – Novosibirsk: edition of siberian branch russian academy of sciences, 2009. – 185 p.
10. Yabluchanskii N.I. Heart rate variability in assistance of medical practitioner. For true doctors / N.I. Yabluchanskii, A.V. Martynenko. – Kharkov, 2010. – 131 p.
11. A comparison of pharmacologic and spontaneous baroreflex methods in aging and hypertension / M.Milic [et al] // J Hypertens. – 2009. – V.27, №6. – P. 1243-1251.
12. Aubert A.E. Heart rate variability in athletes / Aubert A.E., Seps B., Beckers F. // Sports Med. V.33, № 12, 2003.– P. 889-919.
13. Bai X. Influence of the menstrual cycle on nonlinear properties of heart rate variability in young women./ Bai X, Li J, Zhou L, Li X. // Physiol., 2009. - P 765-74.
14. Barrett C.J. Baroreceptor denervation prevents sympatho-inhibition during angiotensin II – induced hypertension / Barrett C.J., Guild S.J., Ramchandra R., Maipas S.C. // Hypertension, 2005.- 168 p.
15. Grossman P. Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions / Grossman P., Taylor E.W. // Biol Psychol., V.74, №2, 2007. – P. 263-285.
16. Ketel I.J. Microvascular function has no menstrual-cycle-dependent variation in healthy ovulatory women. [Ketel I.J. [at al] / Microcirculation, 2009. – P. 714-724.
17. Lawrence J.E. Vestibul sympathetic reflex during the early follicular and midluteal phases of the menstrual cycle / Lawrence J.E., Ray C.A., Carter J.R.; Physiol Endocrinol Metab, 2008. - P. 1046-1050.
18. McKinley P.S. The impact of menstrual cycle phase on cardiac autonomic regulation. [McKinley P.S. [at al]; Psychophysiology, 2009. – P. 904-1011.
19. Pokrovskii V.M. Alternative View on the Mechanism of Cardiac Rhythmogenesis // Heart, Lung Circ. – 2003. – V.12, Issue 1. – P. 18-24.
20. Princi T. Parametric evaluation of heart rate variability during the menstrual cycle in young women. [Princi T [at al]; Biomed Sci. Instrum, 2005. – P. 340-345.
21. Spontaneous baroreflex sensitivity estimates during graded bicycle exercise: a comparative study / F.Vallais [et al] // Physiol Meas. – 2009. – V.30, №2. – P. 201-213.
22. Stroke volume variability and heart rate power spectrum in relation to posture changes in healthy subjects / J.Siebert [et al] // Med Sci Monit. – 2004. – V.10, №2. – P. 31-37.

**Коваленко С.А., Кудий Л.И., Луценко Е.И. Особенности вариабельности сердечного ритма у мужчин и женщин**

**Аннотация.** Проводили измерения показателей волновой структуры сердечного ритма у 118 здоровых молодых мужчин и женщин в покое лёжа, при ортопробе и психоэмоциональной нагрузке. У 32 женщин регистрации осуществлялись трижды - в фолликулиновую, овуляторную и лютеиновую фазы овариально - менструального цикла. Значения вариативности сердечного ритма у мужчин и женщин в покое лежа существенно отличались за счет большей общей мощности спектра колебаний интервала R-R у мужчин. При переходе тела в вертикальное положение и психоэмоциональной нагрузке снижение общей мощности спектра у женщин было больше чем у мужчин, а реактивность мощности и ее распределение в диапазоне низких частот сердечного ритма существенно отличались как по направлению так и по амплитуде. Определена более низкая воспроизводимость показателей волновой структуры сердечного ритма при повторных измерениях у женщин, по сравнению с мужчинами, что может быть обусловлена изменениями в их организме на фоне овариально - менструального цикла. Так показатели волновой структуры сердечного ритма в покое лежа у женщин в различные фазы овариального цикла в основном не отличалась; при ортопробе и психоэмоциональной нагрузке самые большие их изменения происходили в лютеиновой фазе.

**Ключевые слова:** *вариабельность сердечного ритма, ортопроба, психоэмоциональная нагрузка*

Sychuk A., Radchenko M., Morderer E.

**The increase of phytotoxic action of graminicide fenoxaprop-P-ethyl by NO donor sodium nitroprusside**

Sychuk A., postgraduate student,

Radchenko M., PhD in Biology, Junior Researcher,

Morderer E., Dr. of Science in Biology, Head of the Department of Physiology of Herbicide Action, Institute of plant physiology and genetics of National academy of sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Abstract.** It was established, that pretreatment of oat plants by NO donor sodium nitroprusside (SN) increased their sensitivity to the herbicide fenoxaprop-P-ethyl (FP) action. Received data proved the possibility of increase of herbicide inhibitors of acetyl-coA-carboxylase phytotoxic action due to the impact on NO-signalling system.

**Keywords:** NO, sodium nitroprusside, programmed cell death, graminicides, induced pathogenesis

**Introduction.** Herbicides site of action of which is enzyme acetyl-coA-carboxylase (ACC) are the most effective modern herbicides. Inhibitors of ACC have been combined in the group of graminicides because due to site of action peculiarities, only plants of cereal family are sensible to them [10]. The decrease of the weed control efficiency under the stress conditions and antagonistic interaction with herbicides effective against dicot weeds are essential disadvantages of graminicides [2]. It was established that antagonistic decrease of herbicides phytotoxic action is not related to the decrease of their inhibitory effect to ACC activity [8], so it must be determined by changes in induced pathogenesis process. Therefore when using graminicides for the development of effectiveness prevention methods, it was necessary to uncover the nature of pathogenesis induced by those herbicides.

It was established that development of graminicide's phytotoxic action is mediated by active oxygen forms (AOF) formation [3, 4]. Also it has been shown that herbicide inhibitor of acetyl-coA-carboxylase haloxyfop-R-methyl have been causing internucleosome DNA fragmentation of maize seedlings root merystem [6]. Obtained data has shown that AOF-mediated programmed cell death (PCD) process take part in graminicides induced pathogenesis. It followed that increase of the graminicides phytotoxic action can be achieved by shift of anti-prooxidant balance to the prooxidant processes direction. This hypothesis has been confirmed by the research of graminicides phytotoxic action changes in mixtures with herbicides with prooxidant activity [5]. However, the possibilities of such a way of graminicides phytotoxic action increase are limited by prooxidant herbicides selectivity to the certain species of crops. In this connection, the possibility of increase of graminicides phytotoxic action through the application of nonphytotoxic compound with prooxidant activity is relevant. In the conditions of laboratory experiments, the nonphytotoxic concentration of hydrogen peroxide significantly accelerated the appearance of maize seedlings root apical merystem necrosis [3]. However, the plants treatment with hydrogen peroxide haven't been resulted in essential increase of graminicides phytotoxicity in the vegetative investigation and in the field. Probably it is related with rapid exogenous hydrogen peroxide decomposition by antioxidant enzymes and substantial activity of anti-prooxidant balance support system state (data not published). The influence on NO-synthase signalling system may be an alternative way of prooxidant application for stimulation of graminicides-induced pathogenesis, since it is known, that this system

take part in plant programmed cell death initiation [1, 9; 12].

**Research purpose.** In this regard the aim of our study was to investigate the effect of NO donor sodium nitroprusside (SN) ((Na<sub>2</sub> Fe(NO)(CN)<sub>5</sub>) on graminicide fenoxaprop-P-ethyl (FP) phytotoxic action.

**Materials and methods.** As the object of research, as annual cereal weeds model, oat plants (*Avena sativa* L.) sensitive to FP had been used. Plants were grown in vegetative area of Institute of plant physiology and genetics in plastic pots with capacity 1 L using a mixture of soil and sand in the ratio of 1:3 under natural light. The treatment was carried out in three leaves phase by spraying of SN solution in 2 mM concentration and FP in 5·10<sup>-5</sup> and 10<sup>-4</sup> M concentration. The total volume of solution for spraying was 9 ml. The treatment of NS solution was performed 24 hours prior to FP treatment. The inactivated SN solution kept in light during the day was used to confirm the induction of herbicide's phytotoxicity changes by NO molecule [11].

The phytotoxic action was determined on 21-st day after treatment by the growth inhibition of the aboveground part wet substance weight and by decrease of photosynthetic pigments content in plant leaves. The photosynthetic pigments content was determined by plant material extraction in DMSO [13]. The investigations were carried out independently 4 times, the statistical data processing was performed by Exel.

Table 1.

**Weight of the oats plant aboveground part after herbicide FP, SN and inactivated SN action (g).**

№	Variant experiment	Weight of one plant, g	Phytotoxicity, % to control
1	control	0,243	100
2	FP (5·10 <sup>-5</sup> M)	0,199	18
3	FP (10 <sup>-4</sup> M)	0,055	77
4	FP (5·10 <sup>-5</sup> M)+SN (2mM)	0,119	51
5	FP (10 <sup>-4</sup> M)+ SN (2mM)	0,046	81
6	FP (5·10 <sup>-5</sup> M)+ SN (2mM) (inactivated)	0,176	28
7	FP (10 <sup>-4</sup> M)+ SN (2mM) (inactivated)	0,041	83

**Results and discussion.** The treatment with SN in 2 mM concentration had no effect on oats plant weight. FP in 10<sup>-4</sup> M concentration caused the total plant death. Total leaves necrosis had been observed, and wet substance weight was 77 % lower that control (Table 1). The treatment with SN had no effect on phytotoxic action at this FP concentration. The decreasing of FP concentration to 5·10<sup>-5</sup> M led to respective phytotoxic action decrease: wet

substance weight was 18 % of control, the edges of leaves were partially necrotic on 21-st day after treatment. Stimulating effect of SN pretreatment on phytotoxic action progress with a reduced FP concentration had been distinct. The phytotoxic action increased by 32 % compared with the effect of FP that determined by the degree of plant weight growth inhibition. Inactivated SN did not affect the plant weight growth inhibition by FP significantly. Similar results were obtained in determination of FP phytotoxicity by the photosynthetic pigments content reduction. The content of chlorophyll a under SN pretreatment was 1,5 times less than under herbicide treatment in  $5 \cdot 10^{-5}$  M concentration, while in inactivated SN variant chlorophyll content was not significantly different from FP variant (Table 2).

**Conclusions.** FP phytotoxic action increase on account of NO donor SN pretreatment on condition that SN inactivation causes to loss of this effect, suggests that herbicides inhibitors of acetyl-coA-carboxylase phytotoxicity may be increased by influencing NO-synthase signaling system. It can be assumed that stimulation of graminicides phytotoxic action by NO donor is associated with induction of apoptosis, based on the initiation of PCD by NO-synthase signaling system data [1, 9, 12]. However, it is known that NO can also affect the state of the anti-prooxidant balance, thus depending on the concentration

it can act both as antioxidants and as a pro-oxidant [7]. Consequently, the influence of NO donors on the graminicides phytotoxic effect may be mediated by the interaction of NO-synthase signalling system with ROS. Therefore, for clarification of the mechanism of NO donors influence on the phytotoxic action of herbicides inhibitors of acetyl-CoA carboxylase it is necessary to conduct further investigations.

Table 2.  
**The pigments content (mkg/mlg of wet substance) in the oat leaves after FP and SN treatment on 21-st day.**

№	Variant	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll content (a+b)
1	control	8,40	1,95	10,35
2	FP ( $5 \cdot 10^{-5}$ M)	3,47	0,42	3,89
3	FP ( $10^{-4}$ M)	0,66	0,41	1,07
4	FP ( $5 \cdot 10^{-5}$ M)+SN (2mM)	2,12	0,70	2,82
5	FP ( $10^{-4}$ M)+ SN (2mM)	0,34	0,37	0,72
6	FP ( $5 \cdot 10^{-5}$ M)+ SN (2mM) (inactivated)	2,87	1,17	4,04
7	FP ( $10^{-4}$ M)+ SN (2mM) (inactivated)	0,35	0,34	0,69

**REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

- Dubovskaya L.V., Kolesneva E.V., Knyazev D.M., Volotovskiy I.D. Zashchitnaya rolj oksida azota pri okislitel'nom stresse, indutsyrovanom v rasteniyah tabaka peroksidom vodoroda [The protective role of nitrogen oxide under condition of oxidative stress induced by hydrogen peroxide in tobacco plants] // Fisiologiya rasteniy. – 2007. – T. 54. – S. 847–855.
- Morderer Ye.Yu. Merezhyanskiy Yu. G. Gerbitsydy. T.I. Mechanismy diyi ta praktyka zastosuvannya [The mechanisms of action and applying practice]. K.: Logos, 2009. – 379 s.
- Morderer Ye.Yu., Palanytsya M. P., Rodzevich Ye. P. Doslidzhennya uchasti viljnoradykal'nyh okysnyuval'nyh reaktsiyi u rozvytku fitotoksychnoyi diyi graminitsydiv [The investigation of free radical oxidative reaction participation in graminicides phytotoxic action progress] // Fisiologiya i biohimiya kuljturnykh rasteniy. – 2007. – T. 54. S. 847–855.
- Palanytsya M. P., Trach V. V., Morderer Ye.Yu. Generuvannya aktyvnykh form kysnyu za diyi graminitsydiv i modyfikatoriv yih aktyvnosti [The generation of active oxygen forms after graminicides and their modifiers action] // Fisiologiya i biohimiya kuljturnykh rasteniy. – 2009. – 41, № 4 – S. 328–334.
- Radchenko M. P., Sychuk A. M., Rodzevich Ye. P., Morderer Ye.Yu. Pidvyshchennya vybirnoyi fitotoksychnosti ta stan prooksydantno-antyoksydantnoyi rivnovagy v razi zastosuvannya graminitsydu fenoksaprop-P-etylu v potriyiniyi sumishi z gerbitsydamy synergistom ta antagonistom [Increased selective phytotoxicity and the prooxidant-antioxidant balance in the case of graminicide fenoxaprop-P-ethyl applying in triple mixture with synergist and antagonist] // Fisiologiya i biohimiya kuljturnykh rasteniy. – 2013. – 45, № 4 – S. 306 – 312.
- Sychuk A. M., Radchenko M. P., Morderer Ye.Yu. Zaprogramovana zagybelj klityn u patogenezi, indukovanomu gerbitsydamy – ingibitoramy acetyl-koA- karboksylazy [The programmed cell death in the pathogenesis induced by herbicides – inhibitors of acetyl-CoA carboxylase] // Biologichni studiyi. – 2013. – 2. – S. 101-106.
- Beligni M., Lamattina L. Nitric oxide counteracts cytotoxic processes mediated by reactive oxygen species in plant tissues // Planta. –1999. – Vol. 208. – P. 337–344.
- Bjelk L., Monaco T. Effect of chlorimuron and quizalofop on fatty acid biosynthesis // Weed Sci. – 1992. – V. 40. – P. 1–6.
- Clarke A., Desikan R., Hurst R., Hancock J., Neil S. NO way back: nitric oxide and programmed cell death in Arabidopsis thaliana suspension cultures // Plant J. – 2000. – Vol. 24. – P. 667–677.
- Delye C. Weed resistance to acetyl coenzyme A carboxylase inhibitors: un update // Weed Sci. – 2005. – Vol. 53. – P. 728–746
- Friederich G., Butterworth J. Sodium nitroprusside: twenty years and counting // Anesth. Analg.– 1995.– V.81. – № 1.– P. 152–162.
- Pedroso M., Magalhaes J., Durzan D. Nitric oxide induces cell death in Taxus cells // Plant Sci. – 2000. – Vol. 157. – P.173-180.
- Welburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b as well as total carotenoids with spectrophotometry of different resolution // J. of Plant Physiol. – 1994. – Vol. 144. – № 3. – P. 248-254.

**Сычук А., Радченко М., Мордерер Е.**

**Повышение фитотоксического действия граминицида феноксапроп-Р-этила донором NO нитропруссидом натрия**

**Аннотация.** Установлено, что предварительная обработка растений овса донором NO нитропруссидом натрия (НПН) повышает их чувствительность к действию гербицида феноксапроп-Р-этила (ФП). Полученные данные подтверждают возможность повышения фитотоксического действия гербицидов ингибиторов ацетил-КоА-карбоксилазы за счет влияния на NO-сигнальную систему.

**Ключевые слова:** NO, нитропруссид натрия, программированная гибель клетки, граминициды, индуцированный патогенез.

**Буков Ю.А., Бурбанова О.Н.**

**Показатели механики дыхания в оценке степени пульмонологического риска у женщин пожилого возраста**

*Буков Юрий Александрович, доктор биологических наук, профессор,  
Бурбанова Ольга Николаевна, преподаватель,  
Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Украина*

**Аннотация.** В системе дыхания в течение жизни происходят закономерные изменения, связанные с процессами старения. Происходят морфологические и функциональные изменения во всех отделах дыхательной системы, которая одна из первых обнаруживает инволюционные перестройки. Особенно выражен диапазон изменений регистрируемых показателей механики дыхания: дыхательный ритм учащается, возрастает минутный объем дыхания, изменяются соотношения легочной и альвеолярной вентиляции, значительно увеличивается физиологическое мертвое дыхательное пространство и снижается доля альвеолярной вентиляции в структуре минутного объема дыхания. Такая ситуация способствует активному развитию застойных процессов в бронхах. Проведенные исследования механики дыхания позволили выявить диапазон этих изменений регистрируемых показателей у женщин пожилого возраста. В этой связи, с целью выявления закономерностей, определяющих тот или иной уровень вентиляторных способностей, все женщины были распределены на три группы (с вентиляторными способностями в пределах возрастной нормы, с умеренно сниженными и с резко сниженными вентиляторными способностями). В ходе исследования отмеченные особенности механики дыхания позволили предположить наличие пульмонологического риска у всех обследуемых, степень которого наиболее выражена у женщин с низкими вентиляторными способностями. Следует обратить внимание на показатели легочной вентиляции, которые у всех обследуемых превышали значения физиологической нормы. Очевидно, достаточно высокий уровень вентиляции в этом возрасте следует рассматривать как проявление возрастных структурных и функциональных изменений. Однако паттерн дыхания, характеризующий вентиляцию в целом, несколько отличался у женщин с различными вентиляторными способностями. У женщин первой группы паттерн дыхания в большей степени соответствовал брадипноическому типу. Для женщин 2 и 3 группы паттерн дыхания приобретал черты нормопноического, но с достаточно высокими значениями глубины дыхания. Выявленная высокая вентиляторная реактивность определяется морфологическими изменениями в респираторной структуре легких и так же может рассматриваться как проявление пульмонологического риска.

**Ключевые слова:** женщины пожилого возраста, механика дыхания, пульмонологический риск.

Известно, что в системе дыхания в течение жизни происходят закономерные изменения, связанные с процессами старения. На каждом этапе онтогенетического развития в зависимости от кислородного запроса организма и возможностей его удовлетворения в реальных условиях большая либо меньшая нагрузка падает на то или иное звено системы дыхания. В пожилом возрасте изменения системы дыхания и кислородных режимов организма особенно выражены. Грудная клетка, дыхательные пути и легкие претерпевают структурные и функциональные изменения, дыхательный ритм учащается, возрастает минутный объем дыхания, изменяются соотношения между легочной и альвеолярной вентиляцией, значительно увеличивается физиологическое мертвое дыхательное пространство и снижается доля альвеолярной вентиляции в структуре минутного объема дыхания. Несмотря на увеличение легочной вентиляции, альвеолярная вентиляция снижается, что наряду с уплотнением альвеолярно-капиллярной мембраны, уменьшением диффузионной поверхности альвеол и ухудшением процесса диффузии кислорода через альвеолярно-капиллярные мембраны ведет к увеличению альвеолярно-капиллярного градиента  $pO_2$ , снижению напряжения и содержания кислорода в артериальной крови. В пожилом возрасте отмечается сочетание респираторной, циркуляторной, гемической гипоксии, снижается интенсивность тканевого дыхания, чем и объясняется своеобразие гипоксических состояний в этом возрасте [1]. Все эти изменения приводят к резкому падению приспособительных возможностей организма пожилого человека и могут являться фактором пульмонологического риска. Вместе с тем, этапы пульмонологического риска, уровни предболезни

практически не изучены; нет классификации и критериев оценки изменений этих состояний. В последние годы появились работы, в которых показано, что у части людей значения некоторых показателей функции системы внешнего дыхания и респираторного аппарата значительно отклоняются от статистической нормы, особенно у людей пожилого возраста [2]. При этом никто не подвергает сомнению то, что состояние пульмонологического риска можно определить только с помощью исследования системы внешнего дыхания. В связи с этим целью работы явилось выявление особенностей механики дыхания у женщин пожилого возраста, как фактора пульмонологического риска.

**Материалы и методы исследования.** Было обследовано 45 женщин в возрасте 65-75 лет. Механика дыхания изучалась при помощи прибора «Спиро-Тест РС» с компьютерной обработкой регистрируемых показателей. При этом фиксировали следующие функциональные показатели: объем легочной вентиляции (VE, л/мин), дыхательный объем (VT, мл), частоту дыхательных движений (f, цикл/мин), ЖЕЛ вдоха (ЖЕЛвд, л), форсированную ЖЕЛ (ФЖЕЛ, л), объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ 1, л), пиковую объемную скорость (ПОС, л/с), мгновенную объемную скорость на уровне 25, 50, 75 % ЖЕЛ (МОС 25, МОС 50, МОС 75, л/с), среднюю объемную скорость на уровне 25-75 % ЖЕЛ (СОС25-75, л/с), среднюю объемную скорость на уровне 75-85 % ЖЕЛ (СОС 75-85, л/с), ЖЕЛ выхода (ЖЕЛвд, л), резервный объем вдоха (Ровд, мл), резервный объем выдоха (Ровд, мл), отношение времени выдоха ко времени вдоха (Твд/Твд), ёмкость вдоха (Евд, л). Оценивали уровень дыхания (УД, отн.ед) по соотношению

Ровд/Ровд, проводили пробу Тифно-Вотчала (ОФВ1/ЖЕЛвд, %).

Математическая обработка результатов проводилась с использованием программы STATISTICA V.6.0. Для оценки достоверности отличий использовали t-критерий Стьюдента. С целью выявления взаимосвязей между параметрами применяли многофакторный корреляционный анализ.

**Результаты и их обсуждение.** Анализ результатов исследования позволил выявить значительный диапазон изменений регистрируемых показателей механики дыхания у женщин пожилого возраста. В этой связи, с целью выявления закономерностей, определяющих тот или иной уровень вентиляторных способностей, все женщины были распределены на три группы. К первой группе были отнесены обследуемые с вентиляторными способностями в пределах возрастной нормы (15 человек). Во вторую группу были включены женщины с умеренно сниженными вентиляторными способностями (15 человек) и третью группу составили женщины с резко сниженными вентиляторными способностями (13 человек). Основным критерием распределения обследуемых на группы и необходимым условием правильной оценки функций механики дыхания являлось сопоставление фактических показателей с должными величинами (%Дз) (Таблица 1).

Таблица 1.

**Фактические и должные значения показателей механики дыхания обследуемых групп (X±Sx)**

Показатели	1 группа		2 группа		3 группа	
	X±Sx	%Дз	X±Sx	%Дз	X±Sx	%Дз
ОФВ 1, л/с	2,47±0,13	98,2	2,06±0,08	96,2	1,70±0,10	70,2
ПОС, л/с	5,21±0,42	94,6	4,31±0,27	81,4	3,08±0,32	60,4
МОС 25, л/с	4,67±0,40	91,5	4,11±0,25	88,5	3,08±0,32	63,5
МОС 50, л/с	3,24±0,26	90,0	3,05±0,21	89,4	2,23±0,26	63,9
МОС 75, л/с	1,46±0,13	90,6	1,27±0,13	80,8	1,22±0,22	72,7
ЖЕЛ вд, л	2,78±0,05	75,3	2,087±0,03	67,1	1,65±0,10	52,0
ФЖЕЛ, л	2,93±0,14	98,7	2,34±0,07	81,5	1,96±0,08	72,3

Как следует из представленных результатов, лимитирующим фактором проявления вентиляторных способностей у женщин 1 группы следует считать сниженные сократительные способности инспираторной мускулатуры, на что указывают низкие значения ЖЕЛвд, не превышавшие 75,0% должных величин, (p<0,05). Женщины 2 группы также характеризовались пониженной инспираторной активностью: величины ЖЕЛвд составляли 67,1% должных значений (p<0,05). На сниженные функциональные возможности респираторной мускулатуры указывало также уменьшение величины ПОС примерно на 20,0 % (p<0,05) относительно возрастных норм. Наиболее низкие вентиляторные способности выявлены у женщин 3 группы. Наряду с резким ограничением возможностей для осуществления фазы вдоха у них отмечались изменения в показателях механических свойств аппарата вентиляции, что нашло отражение в уменьшении величин ФЖЕЛ и ОФВ1. Кроме того значения ОФВ1, характеризующая суммарную проходимость дыхательных путей, составляли всего 70,0 % должных значений, что указывало на снижение бронхиальной проходимости, связанное, очевидно, с про-

цессами эмфизированных изменений [5]. Падение скорости воздушного потока отмечено на всех уровнях бронхиальной системы легких. Зарегистрировано снижение бронхиальной проходимости на уровне больших и средних бронхов в среднем на 37,0%, (p<0,05) и величины ПОС на 40,0%, (p<0,05) относительно должных значений. Если скорость воздушного потока в больших и средних бронхах зависит главным образом от сократительных способностей респираторной мускулатуры, то снижение величины бронхиальной проходимости в мелких бронхах определяется только тонусом и общей площадью поперечного сечения дыхательных путей, которые вовлекаются в obstructивный процесс в первую очередь [6].

Таким образом, выявленные особенности механики дыхания позволяют предположить наличие пульмонологического риска у всех обследуемых, степень которого наиболее выражена в 3 группе.

Наиболее детальный анализ состояния механики дыхания у женщин пожилого возраста позволяет провести оценку фактических показателей, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2.

**Показатели механики дыхания с различным уровнем вентиляторных способностей (X±Sx)**

Показатели	Группы испытуемых			Достоверность различий		
	1 группа	2 группа	3 группа	P1-P2	P1-P3	P2-P3
ЖЕЛ вд., л	1,65±0,1	2,78±0,05	2,08±0,03	<0,001	<0,001	<0,001
ФЖЕЛ, л	1,96±0,08	2,93±0,14	2,34±0,07	<0,001	<0,001	<0,001
ОФВ1, л	1,7±0,1	2,47±0,13	2,06±0,008	<0,001	<0,05	<0,05
ОФВ1/ФЖЕЛ %	86,23±3,05	84,2±3,24	88,0±1,72	>0,05	>0,05	>0,05
ПОС, л/с	3,08±0,32	5,21±0,42	4,31±0,23	<0,001	<0,01	>0,05
МОС25, л/с	3,08±0,32	4,67±0,4	4,11±0,25	<0,01	<0,05	>0,005
МОС50, л/с	2,23±0,26	3,24±0,26	3,05±0,21	<0,001	>0,05	>0,05
МОС75, л/с	1,22±0,22	1,46±0,15	1,27±0,13	>0,05	>0,05	>0,05
СОС25-75, л/с	2,19±0,26	2,77±0,2	2,5±0,24	>0,05	>0,05	>0,05
ЖЕЛ выд, л	2,51±0,15	3,94±0,17	2,58±0,11	<0,001	>0,05	<0,001
РО вд, л	1,41±0,13	1,95±0,12	1,51±0,09	<0,01	>0,05	<0,01
VT, л	0,7±0,04	0,95±0,1	0,7±0,02	<0,05	>0,05	<0,05
РО выд, л	0,44±0,11	0,66±0,13	0,36±0,12	>0,05	>0,05	>0,05
Е вд, л	2,12±0,15	2,86±0,08	2,21±0,1	<0,001	>0,05	<0,001
VE, л/мин	12,14±0,7	13,93±1,07	12,64±0,7	>0,05	>0,05	>0,05
Твд/Т вд	1,32±0,03	1,5±0,1	1,46±0,07	>0,05	>0,05	<0,05
ЧД, цикл/мин	17,0±0,85	15,4±0,72	17,7±0,84	>0,05	>0,05	>0,05

Следует обратить внимание на показатели легочной вентиляции, которые у всех обследуемых превышали значения физиологической нормы и находились в пределах 12,0-14,0 л/мин. Очевидно, достаточно высокий уровень вентиляции в этом возрасте следует рассматривать как проявление возрастных структурных и функциональных изменений [2, 4]. Однако паттерн дыхания, характеризующий вентиляцию в целом, несколько отличался у женщин с различными вентиляторными способностями. У женщин 1 группы паттерн дыхания в большей степени соответствовал брадипноическому типу, при этом величина дыхательного объема на 250 мл превышала значения остальных женщин (p<0,01). Для женщин 2 и 3 группы паттерн дыхания приобретал черты нормопноического, но с достаточно высокими значениями глубины дыхания.

Повышенная легочная вентиляция, как известно, приводит к росту энергетических затрат респираторной мускулатуры и при изменениях VE в пределах 25,0 л/мин на каждый литр вентилируемого воздуха расходуется примерно 0,13 ккал [5]. В этой связи возрастание энерготрат в состоянии покоя отражает нару-



шение принципа экономизации функции и может косвенно указывать на снижение резервов и более напряженную работу аппарата дыхания [3]. Очевидно, высокая вентиляторная реактивность в пожилом возрасте определяется морфологическими изменениями в респираторной структуре легких и может рассматриваться как проявление пульмонологического риска. В тоже время сохранение стабильной легочной вентиляции у обследуемых обеспечивалось реципрокными отношениями между частотой дыхания и дыхательным объемом ( $r=-0,47$ ), нивелирующим таким образом изокапнические колебания паттерна дыхания.

Значительная роль в проявлении вентиляторных способностей отводится показателям ЖЕЛвд, РОвд, РОвыд и Евд. Наиболее низкие значения этих величины были зарегистрированы у женщин 2 и 3 группы. Так, ЖЕЛвд в среднем на 37,0%, РОвд на 28,0%, РОвыд на 62,05, ( $p<0,01$ ) были ниже, относительно данных обследуемых 1 группы. Выраженное снижение жизненной ёмкости выдоха и ёмкости вдоха можно отнести к рестриктивным ограничениям, приводящим к изменению механики дыхания. В этом случае роль Евд в экскурсии грудной клетки в большей степени переходит к РОвыд. Следует отметить, что РОвд и РОвыд в значительной степени определяются функциональным влиянием, связанным с координацией дыхательного акта. Так, чем меньше объём резервного выдоха относительно резервного объёма вдоха, тем ниже уровень дыхания. Все группы характеризовались низким уровнем дыхания, особенно обследуемые 2 и 3 группы. При этом создаются условия для усиления элиминации метаболического CO<sub>2</sub> через легкие. Кроме того изменения РОвыд могут быть обусловлены изменением эластической тяги легких, которая, в основном, зависит от продукции сурфактанта на респираторную поверхность [2, 3]. Следовательно, у женщин пожилого возраста рестриктивные изменения усиливают влияние гипоксического стимула в регуляции дыхания, проводящего к росту VE, возникновению дыхательной недостаточности.

Как отмечалось, в обследуемых группах характерным являлось снижение скорости воздушного потока при форсированном выдохе на всех уровнях бронхиальной системы легких. Вместе с тем, выявлены различия в показателях бронхиальной проходимости у

обследуемых с различным уровнем вентиляторных способностей (Рис.1).

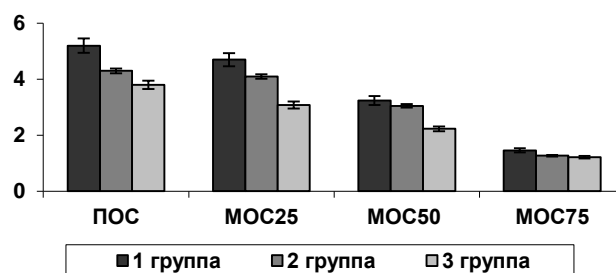


Рис.1 Показатели бронхиальной проходимости у женщин пожилого возраста

Наиболее низкие значения были зарегистрированы у женщин 3 группы. Так, показатели пиковой объёмной скорости воздушного потока, мгновенной скорости на уровне 25,50 % ЖЕЛ были снижены на 30-40 % относительно данных обследуемых 1 и 2 группы.

Обращает на себя внимание низкие значения МОС75 у всех обследуемых. Очевидно, начальный этап возрастных изменений связан с вовлечением в обструктивный процесс мелких дыхательных путей. Далее в деструктивный процесс вовлекается и респираторная мускулатура. Низкие значения ПОС, МОС25 могут свидетельствовать об ограниченных функциональных возможностях экспираторных мышц, лимитирующих скорость воздушного потока в больших и средних бронхах. Следовательно, возрастные изменения охватывают как морфологическую структуру бронхиальной системы легких, так и респираторную мускулатуру.

Значительная информация о состоянии механики дыхания может быть получена при оценке формы кривой зависимости поток-объём максимального вдоха и выдоха. Различают несколько типов петель, характерных для некоторых функциональных состояний механики дыхания. На рисунке 2 представлены в качестве примера три петли объёмной скорости потока и объёма в процессе максимального вдоха и выдоха, соответствующие вентиляторным способностям в пределах возрастной нормы (А), со сниженными вентиляторными способностями (Б) и значительно сниженными вентиляторными способностями (В).

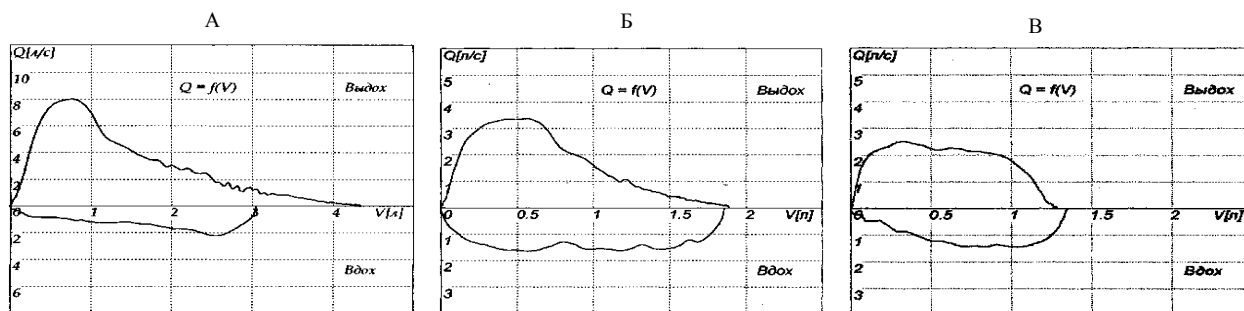


Рис. 2. Кривые зависимости поток-объём максимального вдоха и выдоха у женщин с различным уровнем вентиляторных способностей

На графике различают инспираторную часть петли (вдох) и экспираторную (выдох). Большой диагности-

ческой ценностью обладает экспираторная часть петли, отражающая скорость изменения движения выды-

хаемого воздуха в зависимости от объема легких. Как видно из графика, чем меньше объем легких, тем ниже величина потока, которая в ходе выдоха неуклонно снижается. Максимальная экспираторная объемная скорость потока соответствует вершине кривой. У лиц с вентиляторными способностями в пределах нормы наблюдается резкое снижение графика, характеризующий величину развиваемого мышечного усилия. У женщин с ограниченными вентиляторными способностями, в начале экспираторного маневра отмечается уплощение графика, которое наиболее выражено у обследуемых 3 группы. Наличие плато может свидетельствовать о сниженной эластичности легких, недостаточной сократительной способности респираторной мускулатуры. Отмеченные изменения позволяют сделать заключение о вентиляторных нарушениях рестриктивного типа с умеренно выраженной бронхиальной обструкцией (рис. Б.В).

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Агаджанян Н.А. Экологическая физиология человека // М., 1998. – С.279-245.  
*Agadzhanian N.A. Ekologicheskay fiziologiyi cheloveka // M., 1998. – s.279-245.*
2. Гриппи М.А. Патофизиология легких // М., 1997. 344 с.  
*Grippu M.A. Pathophysiology legkih // M. 1997. 344 s.*
3. Палеев Н.Р. Хронические неспецифические заболевания легких // М., 1985. 420 с.  
*Paleev N.R. Hronicheskie nespecificheskie zabolevaniy legkih // M., 1985. 420 s.*
4. Crapo R.O. The role of reference values in interpreting lung function tests // *Eur. Respir.J.*- 2004. – Vol. 24. - № 3.- P.341-342.
5. Guenette J.A., Witt J.D.,McKezie D.C. Respiratory mechanics during exercise in endurance-trained men and women. *J. Physiol.*, June 15, 2007.- 581(3). – p.1309-1322.
6. Simonova O., Kapranov N., Vasiliev D. PWC-170 test from Russian CF children //*European Respiratory Journal*, V. 16, Supp. 31, August 2000, 122s, P 910.

**Bukov Y.A., Burbanova O.N.**

#### **Performance evaluation of respiratory mechanics in pulmonological degree of risk in older women**

**Abstract.** The respiratory system undergoes regular changes in the aging process of life. There have morphological and functional changes in all parts of the respiratory system. Especially expressed considerable range of changes recorded in indices mechanics of breathing: breathing rhythm quickens, increased minute ventilation to vary the ratio between the lung and alveolar ventilation, significantly increased respiratory physiological dead space and reduced the proportion of the alveolar ventilation in the structure of the minute volume of respiration. This situation contributes to their stagnant processes in the bronchi. The studies of mechanics of breathing and ventilatory function in elderly women revealed various levels of ventilatory capacity. In this regard, in order to identify patterns that define a certain level of ventilatory capacity, all the women were divided into three groups: surveyed with ventilatory abilities within the age norm, with moderately reduced and with sharply reduced ventilatory abilities. The study noted features of respiratory mechanics suggest a pulmonary risk in all subjects, the extent of which is most pronounced in women with low ventilatory capacity. In the parameters of pulmonary ventilation all subjects exceeded the value of the physiological norm. Important is the role in the manifestation of which is given indicators of expiratory vital capacity, inspiratory reserve volume, expiratory reserve volume and inspiratory volume. As is known, increased pulmonary ventilation, resulted in increased energy expenditure of respiratory muscles. In this context the increase in resting energy expenditure reflects the violation of the principle of economizing function and may indirectly indicate a decrease in reserves and more effort of the bronchi. Obviously, identified ventilation high reactivity at rest in elderly women is determined by morphological changes in the lungs and the respiratory structure can also be seen in a manifestation of pulmonary risk. At the same time maintaining a stable pulmonary ventilation was provided in the surveyed reciprocal relationship between respiratory rate and tidal volume, thus, leveling the isocapnic fluctuation pattern of breathing. Important to note indicators of pulmonary ventilation, which in all subjects exceeded the value of the physiological norm. Obviously, a sufficiently high level of ventilation at this age should be regarded as the manifestation of age structural and functional changes. However, breathing pattern characterizing ventilation in general is somewhat different in women with different ventilatory capacity. Women are the first group match the type of breathing pattern - bradypnea. In women of the second and third groups breathing pattern is of the normopnoea type, but with high values of depth of breathing. Also identified features of the mechanics of breathing and the factors contributing to its change, lead to the development of pulmonary risk.

**Keywords:** aged women, respiratory mechanics, pulmonary risk.

**Грабовская Е.Ю.**

## **Коррекция неспецифических адаптационных реакций организма спортсменов при помощи электромагнитных излучений крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ)**

*Грабовская Елена Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент  
Таврический национальный университет имени В. И.Вернадского, г. Симферополь, Украина*

**Аннотация.** Изучено влияние низкоинтенсивных электромагнитных излучений крайне высокой частоты на развитие неспецифических адаптационных реакций организма и функциональное состояние симпатoadреналовой системы спортсменов разных специализаций. Показано, что под влиянием электромагнитных излучений крайне высокой частоты происходит изменение типа неспецифических адаптационных реакций организма, снижается активность симпатoadреналовой системы спортсменов.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение крайне высокой частоты, неспецифические адаптационные реакции организма, катехоламины, симпатoadреналовая система, спортсмены

**Введение.** В последние годы проблема резервных возможностей организма весьма активно обсуждается в физиологии спорта. За последние годы накоплен большой фактический материал по изучению динамики различных биологических констант: крови, внешнего дыхания, фазовой структуры сердечного цикла, периферического кровообращения, нервно-мышечного аппарата, в видах спорта, различающихся энергетической направленностью тренировочного процесса, типом мышечных сокращений, структурой двигательного акта [1].

Многочисленными исследованиями установлено, что в формировании ответа организма на действие раздражителей различной природы и интенсивности принимает участие симпатoadреналовая система (САС). Оба ее звена – центральное гипоталамическое и периферическое адреномедулярное – активно участвуют в формировании адаптационных реакций [2-4]. Наиболее доступным и информативным тестом, адекватно характеризующим функциональную активность САС, является цитохимический анализ катехоламинов (КА) в эритроцитах периферической крови [5]. Установлено, что содержание КА в эритроцитах коррелирует с уровнем адреналина и норадреналина в плазме крови [6]. Другим показателем, адекватно характеризующим состояние организма, является лейкоцитарная формула – интегральный показатель эффективности общих неспецифических адаптационных реакций организма (НАРО) при действии на него неспецифических раздражителей, к которым относятся и физическая нагрузка [7].

Специфические черты современной мышечной тренировки обусловлены систематическим применением значительных по величине нагрузок, приводящих к повышению частоты и интенсивности стрессовых ситуаций, развитию неблагоприятных адаптационных реакций организма, выполнению повторной тренировочной работы на фоне недовосстановления функциональных возможностей, ухудшению самочувствия спортсменов, и как следствие, к снижению спортивных результатов. Поэтому восстановление спортивной работоспособности и нормального функционирования организма является неотъемлемой составной частью системы подготовки спортсменов, а внедрение в тренировочный процесс методов специального повышения работоспособности особенно актуально [8-10]. В состав медико-биологических средств восстановления входят средства, активно вза-

имодействующие на различных звеньях регулирования гомеостаза: рациональное питание, усиление белкового синтеза и оптимальное насыщение организма витаминами, применение биологически активных веществ, а также использование физиотерапевтических средств и др.[11]. В этом плане перспективным может оказаться применение низкоинтенсивных электромагнитных излучений (ЭМИ) крайне высокой частоты (КВЧ). Данные различных авторов говорят о том, что этот физический фактор обладает высокой биологической активностью, изменяет функциональное состояние многих физиологических систем, повышает неспецифическую резистентность, лимитирует развитие стресс-реакции, а также хорошо сочетается с другими методами, не имеет отдаленных, неблагоприятных последствий и абсолютных противопоказаний [12-14]. Однако в литературе практически нет сведений о влиянии ЭМИ КВЧ на развитие неспецифических адаптационных реакций и функциональное состояние симпатoadреналовой системы организма спортсменов. В связи с этим, **целью** исследования явилось изучение влияния ЭМИ КВЧ на изменение неспецифических адаптационных реакций и содержание катехоламинов в эритроцитах крови спортсменов.

**Материалы и методы.** В обследовании принимали участие 47 студентов, которые дали добровольное согласие на участие в эксперименте: 16 футболистов, 15 единоборцев, 16 студентов, не занимающихся спортом. Возраст всех обследуемых 18-23 года, стаж занятий спортом от 3 до 7 лет, квалификация спортсменов – 1 разряд – кандидат в мастера спорта. Все обследуемые систематически тренировались (не менее 8-10 часов в неделю).

Источником ЭМИ КВЧ служили терапевтические генераторы “КВЧ. РАМЕД-ЭКСПЕРТ-01”(ТМ 158.00.00.00), с рабочей длиной волны – 7,1мм; несущей частотой электромагнитных колебаний излучателей – 42194±20 МГц, частотой модуляции 10±0,1 Гц, габаритными размерами излучателя типа «точка» 18x24 мм [15]. Воздействие производилось на биологически активную точку VC17, которая обладает общефункциональным терапевтическим действием на основные системы организма [16]. Излучатель прикреплался на передней средней линии груди, на уровне четвертого межреберья, на горизонтальной линии сосков (чуть выше) или во впадине грудины, на уровне вырезки 5 ребра (обследуемый находился в положении сидя). Воздействие ЭМИ КВЧ осуществ-

лялось ежедневно (не учитывая субботы и воскресенья) с 9 до 11 часов. Продолжительность воздействия – 30 минут. Забор крови проводили в одно и то же время до начала курса КВЧ-воздействия (фоновое значение), а также после 1-го, 5-го и 10-го сеансов КВЧ. Условия взятия материала во всех экспериментах были стандартизированы.

Лейкоцитарная формула определялась в мазках крови, окрашенных по Романовскому, путем подсчета 100 клеток [17]. Затем определялся тип неспецифической адаптационной реакции организма по отношению лимфоцитов (Л) к сегментоядерным нейтрофилам (Нс). В соответствии с критерием определения неспецифических адаптационных реакций по лейкоцитарной формуле у человека, разным типам НАРО соответствует разная величина отношения Л/Нс: стресс-реакция – не более 0,3; реакция тренировки – 0,31-0,5; реакция спокойной активации – 0,51-0,7; реакция повышенной активации – 0,71-0,9; реакция переактивации – более 0,9. Остальные клетки белой крови являются дополнительными признаками реакций, свидетельствуют о физиологичности реакций, степени полноценности, степени напряженности и отношения к общепринятым границам нормы [7]. Для оценки функциональной активности симпатoadrenalовой системы определяли цитохимический показатель содержания (ЦПС) катехоламинов (КА) в эритроцитах (Э) периферической крови по методу [4] на основании дифференцированного подсчета 100 клеточных элементов в соответствии с принципом L. S. Karlow (1955) [18]. Оценка достоверности полученных результатов проводилась с помощью t-критерия Стьюдента.

**Результаты и их обсуждение.** Как показали проведенные исследования, под влиянием ЭМИ КВЧ на биологически активную точку VC 17 у спортсменов разных специализаций и у студентов, не занимающихся спортом, происходит изменение типа НАРО. Так, до КВЧ-воздействия, в группе испытуемых футболистов исходный уровень адаптационных процессов был следующим: у 25% от общего количества обследованных спортсменов выявлена реакция тренировки, у 19% – спокойной активации, у 6% – повышенной активации, у 50% – переактивации. У спортсменов-единоборцев наблюдался аналогичный исходный уровень адаптационных процессов: у 22% от общего количества обследованных спортсменов выявлена реакция тренировки, у 11% – спокойной активации и у 67% – переактивации. Л. Х. Гаркави и Е. Б. Квакина (1998) считают, что адаптационная реакция переактивации свидетельствует об избыточной активности ЦНС, эндокринной системы и системы клеточного иммунитета, а также о том, что скорость расходования энергоотдающих субстратов значительно превышает их воспроизводство и, в конечном итоге, приводит к истощению или блокированию их запасов в организме [7]. У студентов, не занимающихся спортом, исходный уровень адаптационных процессов был следующим: у 12% от общего количества обследованных выявлена реакция стресса, у 19% – реакция тренировки, у 45% – спокойной активации, у 12% – повышенной активации, у 12% – переактивации.

Т.е., у большинства испытуемых (57%) выявлена реакция спокойной и повышенной активации, хотя почти у каждого четвертого испытуемого встречаются и крайние реакции – стресса и переактивации.

После 10 сеансов КВЧ-воздействия в группе футболистов произошло изменение качества НАРО: реакция переактивации зафиксирована у 13% от общего количества испытуемых. Адаптационные реакции тренировки, спокойной и повышенной активации определялись у 6%, 68%, 13% испытуемых соответственно. Реакции тренировки, спокойной и, особенно, повышенной активации носят антистрессорный характер и характеризуются высокой функциональной активностью тимико-лимфатической системы и клеточного иммунитета, эндокринных желез и ЦНС, особенно при повышенной активации [7]. По всей вероятности, можно говорить о том, что метаболизм у большинства спортсменов приобрел анаболический характер, энергетический обмен характеризуется высокими скоростями метаболизма энергоотдающих субстратов при хорошей сбалансированности их расхода и потребления. В группе спортсменов-единоборцев распределение НАРО было несколько другим: реакция переактивации по-прежнему зафиксирована у 33% от общего количества испытуемых. Адаптационные реакции спокойной и повышенной активации определялись у 11% и 56% обследованных спортсменов соответственно (67%). В группе студентов, не занимающихся спортом, после 10 сеансов КВЧ также произошло изменение качества НАРО: реакции стресса и переактивации не обнаруживаются, реакции тренировки зафиксированы у 38% испытуемых, реакции спокойной и повышенной активации – у 62% от общего числа испытуемых. Так же как и в группе футболистов, в данном случае можно говорить о том, что функциональное состояние организма испытуемых характеризуется сбалансированностью энергетических процессов и высокими скоростями метаболизма энергоотдающих субстратов. Таким образом, полученные данные могут свидетельствовать о том, что после 10-кратного воздействия ЭМИ КВЧ на биологически активную точку VC17 у спортсменов повышается резистентность к большому физическим и психоэмоциональным нагрузкам, сопровождающим спортивную деятельность. У студентов, не занимающихся спортом, происходит перераспределение типов НАРО с возрастанием доли благоприятных реакций спокойной и повышенной активации.

Катехоламины, определяемые в эритроцитах цитохимическим способом, выявлялись в виде гранул темно-бурого цвета, разного размера и разного количества [5]. Так, до начала курса КВЧ-воздействия, ЦПС КА в эритроцитах периферической крови футболистов составил  $304,10 \pm 3,54$  усл. ед. После первого и пятого получасового воздействия ЭМИ КВЧ на биологически активную точку VC17 у футболистов ЦПС КА повысился на 8,6% и 9,7% соответственно ( $p \leq 0,001$ ). После 10-кратного КВЧ-воздействия ЦПС КА существенно снижается по сравнению с первым днем воздействия (на 11,2%,  $p \leq 0,001$ ) и становится несколько ниже исходного уровня. Через 5 дней после окончания КВЧ-воздействия величина ЦПС КА в

эритроцитах периферической крови футболистов продолжает снижаться (на 13,6%,  $p \leq 0,001$ ). Таким образом, 10-дневное получасовое воздействие ЭМИ КВЧ на биологически активную точку VC17 у спортсменов-игровиков привело к ограничению активности симпатoadренальной системы. Это проявилось в кратковременном повышении и последующем снижении ЦПС КА в эритроцитах периферической крови. Как считает Е. Н. Чуян и др. (2003), постепенное снижение уровня ЦПС КА под действием ЭМИ КВЧ можно объяснить кумулятивным характером биологического действия этого излучения, и требует многократного повторения для появления эффекта [14].

В группе спортсменов-единоборцев до начала курса КВЧ-воздействия ЦПС КА в эритроцитах периферической крови составил  $210,60 \pm 3,84$  усл. ед. и был существенно ниже уровня данного показателя у футболистов и студентов, не занимающихся спортом. После первого, пятого и десятого получасового воздействия ЭМИ КВЧ на биологически активную точку VC17 у спортсменов-единоборцев ЦПС КА повышается на 2,8%, 11,3% ( $p \leq 0,01$ ) и 12,4% ( $p \leq 0,01$ ) соответственно. К 15 дню исследований уровень ЦПС КА в эритроцитах спортсменов-единоборцев снижается ( $p \leq 0,01$ ), но остается несколько выше исходного уровня. Это может свидетельствовать о том, что у спортсменов-единоборцев под влиянием ЭМИ КВЧ первоначальная активация симпатического отдела ВНС сменяется некоторым снижением ее активности. Однако в данном случае реакции развиваются медленнее, и может потребоваться более длительное КВЧ-воздействие для достижения более выраженного эффекта.

В группе студентов, не занимающихся спортом, до начала курса КВЧ-воздействия ЦПС КА в эритроцитах периферической крови составил  $305,62 \pm 4,18$  усл. ед. После первого и пятого воздействия ЭМИ КВЧ на биологически активную точку VC17 у обследуемых студентов ЦПС КА начал снижаться и к 10-му дню был ниже исходного уровня на 7,5% ( $p \leq 0,05$ ).

На 15 сутки исследований уровень ЦПС КА в эритроцитах остался практически неизменным. Постепенное снижение уровня ЦПС КА под действием ЭМИ КВЧ может говорить об ограничении активности симпатoadренальной системы в организме студентов, не занимающихся спортом.

Полученные данные могут служить доказательством того, что многократное воздействие ЭМИ КВЧ на организм спортсменов различных специализаций и студентов, не занимающихся спортом и не имеющих отклонений в состоянии здоровья, может влиять на функциональную активность симпатoadренальной системы организма и приводит к развитию, в первую очередь, адаптационных реакций спокойной и повышенной активации [7, 14], а также к снижению активности симпатического отдела вегетативной нервной системы.

#### Выводы

1. Во всех трех группах испытуемых под влиянием КВЧ-воздействия произошло изменение исходного уровня НАРО. До курса КВЧ реакция переактивации была выявлена в 50-67% случаев во всех группах обследуемых. После 10 сеансов КВЧ-воздействия, в зависимости от группы испытуемых, реакция переактивации зафиксирована не более чем у 17-33%, реакции тренировки, спокойной и повышенной активации определялись у 67-83% испытуемых.

2. После 10 сеансов КВЧ-воздействия в группах спортсменов и студентов, не занимающихся спортом, наблюдались разнонаправленные изменения ЦПС КА в эритроцитах крови. У футболистов и единоборцев произошло кратковременное повышение с последующим снижением ЦПС КА в эритроцитах периферической крови. У студентов, не занимающихся спортом, уровень ЦПС КА постепенно снижался.

3. Ежедневное получасовое воздействие ЭМИ КВЧ на биологически активную точку VC17 у футболистов и студентов, не занимающихся спортом, привело к снижению активности симпатoadренальной системы. Степень выраженности реакций в различных группах была разной.

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Давиденко Д.Н. Функциональные резервы адаптации организма человека // Социальная физиология. – М.: 1996. – С. 126-135.  
*Davidenko D.N. Funkcionalnie rezervi adaptacii organizma cheloveka [Functional adaptation reserves of the human body] // Socialnaya fiziologiya. – M., 1996, s. 126-135.*
2. Горизонтов П.Д. Гомеостаз. – М.: Медицина, 1981. – 576 с.  
*Gorizontov P.D. Gomeostaz [Homeostasis]. – M., Medicina, 1981, 576 s.*
3. Гриневич В.В. и др. Иерархические взаимоотношения между органами гипоталамо-гипофизарно-адренальной системы (ГГАС) при воспалении // Успехи физиол. наук. – 1999. – Т.30, №4. – С. 50-66.  
*Grinevich V.V. i dr. Ierarxicheskie vzaimootnosheniya mejdu organami gipotalamo-gipofizarno-adrenalovoy sistemi (GGAS) pri vospalenii [Hierarchical relationships between the hypothalamic-pituitary-adrenal system (SAS) in inflammation] // Uspexi fiziol. Nauk, 1999, T.30, №4, s. 50-66.*
4. Пшенникова М.Г. Феномен стресса. Эмоциональный стресс и его роль в патологии // Пат. физиол. – 2001. – №2 – С. 26-30.  
*Pshennikova M.G. Phenomen stressa. Emocionalnyy stress i ego rol v patologii [The phenomenon of stress. Emotional stress and its role in the pathology] // Pat. Fiziol., 2001, №2, s. 26-30.*
5. Мардарь А. И., Кладиенко Д. П. Цитохимический способ выявления катехоламинов в эритроцитах // Лаб. дело. – М.: Медицина, 1986. – №10. – С. 586-588.  
*Mardar A. I., Kladienko D. P. Citoximicheskiy sposob viyavleniya katecholaminov v eritrocitax [Cytochemical method for detecting catecholamines in erythrocytes] // Lab. Delo, M., Medicina, 1986, №10, s. 586-588.*
6. Малыгина В. И. Симпатoadренальная система крыс при адаптации к гипокинезии: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук: спец. 03.00.13. «Физиология человека и животных». – Кишинев, 1989. – 17 с.  
*Maligina V. I. Simpatoadrenalovaya sistema kris pri adaptacii k gipokinezii [Sympathetic nervous system in rats during adaptation to hypokinesia]: avtoref. dis. na soiskanie uchenoy stepeni kand. biol. nauk: spec. 03.00.13 "fiziologiya cheloveka i jivotnix", Kichinev, 1989, 17 s.*

7. Гаркави Л. Х., Квакуина Е. Б., Кузьменко Т. С. Антистрессорные реакции и активационная терапия. – М.: ИМЕДИС, 1998. – 656 с.
- Garkavi L. X., Kvakina E. B., Kuzmenko T. S. *Antistressornie reakcii i aktivacionnaya terapiya* [Antistress reaction and activation therapy]. М., 1998, 656 s.
8. Платонов В. Н. Теория и методика спортивной тренировки – К.: Вища школа, 1984. – 348 с.
- Platonov V. N. *Teoriya i metodika sportivnoy trenirovki* [The theory and methodology of sports training]. К., Vischa shkola, 1984, 348 s.
9. Платонов В. Н. Общая теория подготовки спортсменов в олимпийском спорте. – К.: Олимпийская литература, 1997. – 584 с.
- Platonov V. N. *Obschaya teoriya podgotovki sportmenov v olimpiyskom sporte* [The general theory of training athletes in Olympic sports]. К., Olimpiyskaya literature, 1997, 584 s.
10. Мищенко В. С. Функциональные возможности спортсменов. – К.: Здоровья, 1990. – 200 с.
- Michenko V. S. *Phunkcionalnie vozmojnosti sportmenov* [Functionality athletes]. К., Zdorovye, 1990, 200 s.
11. Васильев В. Н. Утомление и восстановление сил. – М.: Знание, 1984. – С. 64.
- Vasilyev V. N. *Utomlenie i vosstanovlenie sil* [Fatigue and recuperation]. М., Znanie, 1984, s. 64.
12. Бецкий О. В., Девятков Н. Д., Кислов В. В. Миллиметровые волны низкой интенсивности в медицине и биологии // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – №12. – С. 3-15.
- Beckiy O. V., Deviatkov N. D., Kislov V. V. *Millimetrovie volni nizkoy intensivnosti v medicine i biologii* [Low-intensity millimeter waves in medicine and biology] // *Zarubeznaya radioelektronika*, 1996, №12, s. 3-15.
13. Казаринов К. Д. Биологические эффекты КВЧ-излучения низкой интенсивности // Итоги науки и техники. Серия Биофизика. – 1990. – Т. 27. – С. 1-104.
- Kazarinov K. D. *Biologicheskie effekti KVCh-izlucheniya nizkoy intensivnosti* [The biological effects of EHF-radiation of low intensity] // *Itoги nauki i tekhniki. Seriya Biofizika*, 1990, T. 27, s. 1-104.
14. Чуян Е. Н. и др. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ – Симферополь: ЧП Эльиньо, 2003. – 448 с.
- Chuyan E. N. I dr. *Fiziologicheskie mexanizmi biologicheskix effektiv nizkointensivnogo EMI KVCh* [Physiological mechanisms of the biological effects of low-intensity UHF EMF]. Simferopol, 2003, 448 s.
15. Пилипенко О.В. и др. Биорезонансная информационно-пунктурная терапия с использованием электромагнитных волн. – Днепропетровск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2007. – 248 с.
- Pilipenko O. V. *Biorezonansnaya informacionno-punktturnaya terapiya s ispolzovaniem elektromagnitnix voln* [Bioresonance information-puncture therapy with the use of electromagnetic waves]. Dnepropetrovsk, 2007, 248 s.
16. Собоцкий В. В. Клиническая рефлексотерапия. – К.: Здоровья, 1995. – 256 с.
- Sobeckiy V. V. *Klinicheskaya refleksoterapiya* [Clinical reflexology]. К., Zdorovye, 1995, 256 s.
17. Ронин В. С., Старобинец Р. М., Утевский Н. Д. Руководство к практическим занятиям по методам клинических лабораторных исследований. – М.: Медицина, 1977. – 335с.
- Ronin V. S., Starobinec R. M., Utevskiy N. D. *Rukovodstvo k prakticheskim zaniatiyam po metodam klinicheskix laboratornix issledovaniy* [Guide to practical training in the methods of clinical laboratory tests]. М., Medicina, 1977, 335 s.
18. Kaplow L.S. A histochemical procedure for localizing and evaluation leukocyte alkaline phosphatase activiti in smears of blood and marrow // *Blood* – 1955. – №10. – P. 1023-1029.

#### **Grabovskaya E. Correction of non-specific adaptation reactions of athletes by means of ultra-high frequency electromagnetic field (UHF EMF)**

**Abstract.** The effect of ultra-high frequency electromagnetic field (UHF EMF) on the development of adaptive reactions of the body and the functional state of the sympathetic nervous system of athletes of different specializations. It is shown that in all three groups of subjects under the influence of UHF EMF has changed the initial level of adaptive reactions of the body, and to the course of UHF reaction reactivation was detected in 50-67 % of cases in all groups surveyed. After 10 sessions of UHF-therapy, depending on the group of subjects, the reaction reactivation fixed in no more than 17-33%, reaction training, calm and increased activation were detected in 67-83% of subjects. Also, after 10 sessions of UHF-therapy in groups of athletes and students who are not involved in sports, opposite changes were observed cytochemical indicator of catecholamines in erythrocytes. Do football players and wrestlers was a transient increase followed by a decrease cytochemical indicator of catecholamines in peripheral blood erythrocytes. Students who are not involved in sports, the level of catecholamines cytochemical index gradually decreased. The daily half-hour effects of UHF EMF on biologically active point VC17 the subjects of all three groups, has led to a decrease in sympathetic nervous system activity. The degree of severity of reactions in different groups of athletes was different.

**Keywords:** ultra-high frequency electromagnetic field, non-specific adaptation reactions of the organism, catecholamines, sympathoadrenal system, athletes.

**Корж А.П.**

## **Жизнеобеспеченность популяций как основа формирования емкости среды их обитания**

*Корж Александр Павлович, кандидат биол. наук, доцент  
Запорожский национальный университет, г. Запорожье, Украина*

**Аннотация.** Рассмотрено понятие жизнеобеспеченности как возможности полноценной реализации организмом (или другими биосистемами) своих жизненных функций. Качественную характеристику системы взаимодействия "организм – окружающая среда" предложено определять через ее жизнеобеспеченность; количественное выражение данного понятия реализуется через емкость среды.

**Ключевые слова:** жизнеобеспеченность, организм, емкость среды, взаимодействие, благополучие видов.

**Введение.** Взаимодействие организма со средой его обитания с давних времен привлекало внимание многих специалистов. Одним из классических примеров может быть происхождение адаптаций, которые трактуются очень не однозначно: адаптация или абатпация? [2]. Влияние среды на организм конечно же является очевидным. Однако активность самих организмов [25], как преобразующая среду [3, 37], так и нишеобразующая [38], свидетельствует о взаимном влиянии организмов и среды их обитания.

Некоторые аспекты данного взаимодействия рассматриваются теперь в качестве аксиом или разнообразных законов. В то же время, говорить о наличии унифицирующей данное взаимодействие теории пока преждевременно. Важность же подобных теоретических обобщений обуславливается в первую очередь практической необходимостью управления состоянием как отдельных популяций, так и экосистем в целом, что оказывается невозможным без соответствующих изменений среды их существования.

На наш взгляд, одной из причин отсутствия глубоких экологических обобщений является преобладание редукционистских настроений в биологии в целом. Речь идет не об уровнях жизни, на которых осуществляется ее изучение, а о методических подходах к этому вопросу. Экология как наука направлена на изучение в первую очередь экосистемного уровня организации жизни, а так же затрагивает популяционный и организменный [2]. Таким образом, редукционизм малоприменим в экологических построениях априори.

В соответствии с Ю.М. Плюсниним [25], современное естествознание опирается на гносеологическую триаду: универсализм – индуктивизм – редукционизм. Это потребовало однозначности как описания любого объекта, так и интерпретации полученных фактов, повторности экспериментов и возможности их проверки. В результате, была сформирована достаточно простая картина мира, укладываемая в ряд законов.

В то же время, современное состояние проблемы взаимодействия человеческого общества и биосферы показывает неприменимость подобного подхода к общебиосферным проблемам. Мы не имеем возможности постановки экспериментов (тем более – с повторностями) на биосфере и давать однозначные интерпретации полученных фактов становится все труднее. Ярким примером можно считать проблему глобальных изменений климата, которая уже давно не имеет однозначности в своем объяснении.

Следует отметить, что подобные проблемы неприменимости гносеологической триады проявляются все

в большей повседневной практике. Это касается в первую очередь вопросов рационального природопользования и сохранения биологического разнообразия. Утрата не только отдельных экосистем (как произошло со всей степной зоной), но и отдельных видов практически не может быть компенсирована никакими действиями человека. Это еще раз подчеркивает уникальность и неповторимость данных проблем и, как следствие, подходов, необходимых для их решения [1].

В то же время, существуют некоторые общие закономерности, которые позволяют унифицировать подходы к устранению существующих противоречий. Одним из условий реализации данного подхода является отказ от однозначности описания, четкой конкретизации (выражении в однозначно оцененных параметрах) изучаемых процессов, а так же переход к вероятностным оценкам наблюдаемых явлений.

Целью статьи является оценка значимости жизнеобеспеченности организмов для формирования емкости их среды обитания.

**Общество как модель естественных процессов.** Уже классическим считается противопоставление человека с его деятельностью естественным процессам, происходящим в природной среде. Человек считается как бы внешним фактором по отношению к любой экосистеме, что исходно противопоставляет эти две категории как "искусственное" и "естественное". Н.Н. Моисеев [22] по этому поводу замечает, что подобное противопоставление естественного, как происходящего в природе, искусственному, как созданному человеком, идет еще со времен древних греков, а может и более ранних мыслителей.

В то же время, в соответствии со взглядами В.И. Вернадского [3], наша деятельность не противостоит, а наоборот – является частью деятельности всего живого вещества, что накладывает на нас особую ответственность за сохранение потенциальной возможности существования биосферы и в дальнейшем. Может нам необходимо последовать совету Н.Н. Моисеева [22] и перейти к изучению "искусственного" и "естественного" с единых позиций развертывания организационных форм материального мира?

Считается, что основным направлением дальнейшего развития естествознания должна стать его гуманизация, которая предусматривает внедрение "человеческого фактора" в естественные науки [25]. В то же время, следует отметить, что многие понятия и представления проникли в естествознание уже после того, как были сформированы в человеческом обществе. Особенно пестрит подобными примерами физи-

ка – сила тока, работа, напряжение, мощность и многие другие определения явно носят антропоморфный характер.

Не обошел стороной данный процесс и биологию. Так, понятие "вид" было введено Аристотелем в биологию из логики [9]. Слово паразит в греческом и латыни обозначало человека, живущего за чужой счет. Именно в таком виде оно в дальнейшем перешло в старинную медицину, обозначая любой организм, живущий внутри другого организма и питающегося за его счет [7]. Еще одним примером может быть наука этология – в XVII столетии этологами называли актеров, изображавших человеческие характеры, а в XVIII – под ней понимали науку об этике [5]. Так же, идеи об ограниченности ресурсов для существования и невозможность победить бедность, развиваемые экономистом Мальтусом, натолкнули Ч. Дарвина на представления о борьбе за существование, а понятие естественного отбора является по сути калькой с искусственного [34, 35].

По мнению Р. Левонтина [36], современная наука невозможна без соответствующего языка, наполненного метафорами. Поэтому подобный процесс перехода понятий из социальной жизни в научную среду и наоборот является неизбежным.

Человеческое общество в этом случае выступает некоей моделью для развития соответствующих научных представлений об общебиологических закономерностях. При этом прослеживаются своеобразные аналогии, еще раз подчеркивающие общность механизмов существования природных и социальных явлений.

**Понятие жизнеобеспеченности организмов.** На наш взгляд, для объяснения отношений в системе "организм – среда обитания" достаточно уместным является привлечение такого термина как жизнеобеспеченность. Он широко используется в экономике [17, 19, 24], культурологии [33, 39] безопасности жизнедеятельности [11 и др.], медицине [10 и др.]. В последнее время данный термин начал применяться в сельском хозяйстве [26, 27] и даже в экологии [6, 18, 23, 28 и др.].

Наиболее четко экологические характеристики данного термина рассмотрены у Н.Ф. Реймерса [29], в соответствии с которым сбой в действии принципа Ле Шателье – Брауна, искажения в процессе биогеоценной миграции атомов в связи с изменением глобальной биоты, нарушения во многих других фундаментальных закономерностях функционирования экосистем планеты указывают на то, что хроническая деструкция планетарных систем жизнеобеспечения приняла угрожающие для существования людей масштабы.

Одной из трактовок термина "жизнеобеспечение" является совокупность мероприятий, необходимых для создания условий сохранения жизни, здоровья и работоспособности людей в определенных обстоятельствах [21]. Конечно же, для биосистем в подобном толковании данный термин является неприменимым.

На наш взгляд, наибольшие противоречия в использовании этого понятия касаются медицинского (в том числе, и ветеринарного), а также экологического

направлений. В медицинском понимании жизнеобеспеченность предполагает значимость отдельных органов и систем органов для обеспечения жизнеспособности организма, либо аппаратов (препаратов), контролирующих данные функции. В сельском хозяйстве добавляется еще такой аспект как ресурсообеспеченность, предусматривающий получение организмом необходимых кормовых компонентов и т.д. Во всех этих случаях данный термин используется для обозначения подсистем, участвующих в обеспечении жизнеспособности системы (организма) в целом.

Экологический аспект использования термина "жизнеобеспеченность" предусматривает абсолютно другой смысл. Это касается именно взаимодействия организма со средой его обитания и способностью последней обеспечить жизненные потребности первого. В этом случае, речь идет о возможности целым обеспечением его компонента всем необходимым для жизнедеятельности.

В обоих случаях термин используется преимущественно по отношению к организму, но в первом случае оценивается значимость доорганизменных структур, а во втором – надорганизменных. По всей видимости, оба подхода страдают односторонностью в толковании данного понятия. На наш взгляд, понятие жизнеобеспеченность состоит из двух элементов: жизнеспособности, как внутренней обеспеченности организма (или популяции) жизненными силами, и ресурсообеспеченности, как внешней обеспеченности организма условиями для своего существования. В такой же трактовке он может использоваться и для экосистем – с одной стороны, живые элементы экосистем должны обладать соответствующей жизнеспособностью, а с другой, никакая экосистема не может обходиться без жизненно важных ресурсов.

Под жизнеобеспеченностью, на наш взгляд, следует понимать возможность полноценной реализации организмом (или другими биосистемами) своих жизненных функций. То есть, полноценная жизнеобеспеченность требует оптимальных условий существования, в которых возможна реализация всех жизненных проявлений организма. Часто наблюдаемое в природе состояние переживания соответствует минимальной жизнеобеспеченности, за которой следует смерть данной биосистемы. Утрата возможности нормального размножения, являющегося наиболее требовательным к условиям существования [2], служит первым признаком ухудшения жизнеобеспеченности организмов.

Таким образом, система взаимодействия "организм – окружающая среда" имеет качественную характеристику, которая может быть названа жизнеобеспеченностью. Значительно сложнее определить количественные показатели данных взаимодействий. Ранее было показано, что высокая плодовитость видов свидетельствует в первую очередь о высокой истребительной нагрузке и особых преимуществ в других условиях не дает [31]. Поэтому рождаемость, как и смертность, сами по себе не могут говорить о жизнеобеспеченности соответствующих организмов. Более того, наличие К- и г-стратегий не позволяет использовать большинство показателей как организмов, так и



популяций в качестве оценки жизнеобеспеченности биологических систем. Одним из ярких примеров может быть проблема минимальной жизнеспособной популяции, для которых не существуют единые общеприменимые значения [8].

На наш взгляд, количественное выражение отношений организма со средой обитания наиболее полно реализуется через комплексный показатель, учитывающий лимитирующие воздействия определяющих экологических факторов. Этим показателем может быть емкость среды, обеспечивающая возможность полноценного существования определенного количества организмов или их совокупностей. В основе формирования емкости среды опирается на законы Либиха, Шелфода и др., но не сводится только к ним. Для любого вида емкость среды является результирующей всех возможных влияний на популяцию, включая механизм обратной связи, обусловленный влиянием самой популяции на среду обитания [12]. Существующая емкость оказывает своеобразное давление на соответствующую группу организмов, которое может определенным образом ограничивать ее разные жизненные проявления.

**Жизнеобеспеченность искусственных и естественных популяций.** Содержание в лабораторных условиях таких культур как дрозофилы (*Drosophila melanogaster*) и дафнии (*Ceriodaphnia affinis*, *Daphnia magna*) показывает отличия в формировании жизнеобеспеченности искусственных и естественных популяций. Полный контроль со стороны человека позволяет формировать жизнеобеспеченность с максимальным учетом потребностей животных, обеспечивая наивысшую емкость среды. По большому счету, сельское хозяйство опирается именно на данные механизмы формирования жизнеобеспеченности разводимых видов.

Ранее нами было предложено разделять воздействия экологических факторов на первичные (качественные) и вторичные (количественные), отличающиеся по специфике воздействия на популяцию [13]. Для дафний к первичным факторам в искусственных условиях следует отнести уровень кислорода в воде (так же температуру и некоторые другие); освещение и кормление следует признать вторичными. Для дрозофилы первичным фактором выступает температура, а тип кормового субстрата – вторичным.

По всей видимости, исследованные воздействия экологических факторов вызывают разные типы ответной реакции, выделенные Г. Селье [30]. Ответ на изменение вторичных факторов (в первую очередь, кормового субстрата) подходит под синтоксическую реакцию, направленную на поиск путей сосуществования со стрессором. Воздействия первичных факторов (критических температур, уровня кислорода и т.д.) вызывают кататоксическую реакцию, при которой организм все силы направляет на противостояние губительному воздействию стрессора [16].

В естественных условиях обитания, в отличие от лабораторных, для данных животных (как и многих других) климат может выступать определяющим все

жизненные проявления. Конечно, так же важным является питание; добавляются хищники, враги и т.д., но в целом, емкость среды дрозофил определяется экологическими характеристиками их пищевой специализации [15].

Антропогенные воздействия на природу приводят к преобразованию в первую очередь стадий размножения, что вызывает нарушение репродуктивных функций популяций соответствующих видов. Именно из-за этого охранные мероприятия далеко не всегда дают ожидаемый эффект, а все большее количество видов переходит в разряд исчезающих [4].

Динамика численности любого вида (или группы особей) в конкретных условиях будет непосредственно зависеть от жизнеобеспеченности, а колебаться в рамках имеющейся емкости среды. Что рациональное природопользование, что охрана природы должны учитывать данные экологические предпосылки благополучия видов.

Без соответствующей жизнеобеспеченности, проявляющейся в рамках конкретной емкости среды, сохранение любых природных объектов не представляется возможным. Повышение продуктивности эксплуатируемых элементов биосферы требует соответствующего увеличения их жизнеобеспеченности до возможности осуществления всех жизненных процессов и расширения емкости среды. Прекрасный пример данного подхода дает сельское хозяйство, расширяющее свою деятельность за счет емкости среды естественных экосистем.

Зоокультура охотничьих видов (как основной путь интенсификации охотничьего хозяйства), опирающаяся на современные разработки сельхозпроизводства, позволяет поднимать плотность животных на значительно больший уровень в сравнении с естественными биотопами, формируя искусственную жизнеобеспеченность. В то же время нужно понимать, что данные структуры не обладают механизмами поддержания гомеостаза и полностью зависят от регулирующего влияния человека. Достижение подобного состояния в естественных условиях оказывается в принципе невозможным.

Одним из ярких примеров может быть охотничий фазан (*Phasianus colchicus* L.), являющийся сегодня наиболее массовым объектом искусственного дичеразведения в мире – ежегодно для последующей интродукции в естественную среду его выращивается более 70 млн особей [32]. В то же время, состояние популяции охотничьего фазана в Украине свидетельствует о серьезных проблемах фазановодства в стране в целом [14].

На наш взгляд, проблемы жизнеобеспеченности фазана коренным образом отличаются в искусственных условиях и в естественной среде. В условиях фермы человек контролирует воздействие отдельных факторов, из которых определяющее воздействие могут оказывать условия содержания, особенности кормления и т.д. В естественной среде лимитирующее воздействие оказывают абсолютно другие факторы, в частности – погодные, хищники, браконьерство и прочее.

Некоторые специалисты придерживаются мнения, что достаточно выпустить определенное количество животных в природу, а в дальнейшем они самостоятельно должны достичь высокой численности. При этом, несмотря на большое количество выпущенных в природу фазанов, с ним этого не произошло [20]. На наш взгляд, главной причиной невысокой плотности данной птицы в условиях естественной среды обитания является ее низкая жизнеобеспеченность. Это касается невозможности популяцией фазана реализовать свои репродуктивные способности – отсутствуют необходимые места для размножения, из-за химизации сельскохозяйственных полей возрастает смертность молодняка и т.д. Конечно же, не последнее значение имеет воздействие на популяцию фазана хищников и браконьеров. Во всем мире данное ограничение снимается за счет искусственного дичеразведения, подменяющего процесс естественного воспроизводства дичи [4].

Так же и в Украине достичь высокой плотности охотничьего фазана в угодьях можно только в случае постоянных выпусков большого количества птиц в природу. Никогда популяция фазана самостоятельно не достигнет подобного уровня, несмотря на ограничения охоты и использование биотехнических мероприятий. Более того, если прекратить подобные интродукции, численность птиц может упасть ниже сегодняшней. Это еще раз подчеркивает важность учета в практической деятельности таких понятий как жизнеобеспеченность и емкость среды.

В практической деятельности необходимо так же учитывать последствия, вызванные искусственным

изменением жизнеобеспеченности отдельных видов. В случае контроля численности так называемых "вредных" видов мы, зачастую, получаем противоположные результаты. В первую очередь это касается появления устойчивых к пестицидам форм. Достаточно часто неконтролируемыми и непредвиденными процессами являются синантропизация и урбанизация фауны.

В любом случае, воздействие на емкость среды соответствующих видов способствует активизации микроэволюционных процессов, отвечающим правилу Ле-Шателье – Брауна. При этом данные процессы оказываются не только плохо контролируемые человеком, но и идущими преимущественно вразрез с нашими пожеланиями. Антропогенное воздействие приобретает преимущественно форму г-отбора, способствуя повышению биотического потенциала соответствующих видов. Эти процессы имеют для человека преимущественно негативное значение.

**Вывод.** Таким образом, в системе взаимодействия "организм – окружающая среда", жизнеобеспеченность предусматривает возможность полноценной реализации организмом (или другими биосистемами) своих жизненных функций. Количественное выражение данного понятия реализуется через емкость среды, обеспечивающей возможность полноценного существования определенного количества организмов или их совокупностей в имеющихся условиях. Воздействия человека на емкость среды и, как следствие, жизнеобеспеченность организмов, позволяет управлять численностью соответствующих видов, что может способствовать микроэволюционным процессам.

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Акімов І.А., Корж О.П. Зміна екологічної парадигми як передумова охорони природи // Екологія та ноосферологія. – 2012. – Т. 23, № 1 – 2. – С. 5-9.
2. Бигон М., Харпер Дж., Таусенд К. Экология особи, популяции и сообщества. – М.: Мир, 1989. – Т.1. – 667 с.
3. Вернадский В.И. Живое вещество. – М.: Наука, 1978. – 258 с.
4. Габузов О.С. Основы искусственного дичеразведения и разведения редких видов животных // Автореф. дис. ...докт-ра биол. наук. – М., 1992. – 44 с.
5. Гороховская Е.А. Этология: рождение научной дисциплины. – С-Пб.: Алтейя, 2001. – 224 с.
6. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С., Рейф И.Е. Перед главным вызовом цивилизации. Взгляд из России. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 224 с.
7. Догель В.А. Курс общей паразитологии. – Л.: Государственное учебно-педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР, 1947. – 356 с.
8. Жизнеспособность популяций: Природоохранные аспекты / Под ред. М. Сулея. – М.: Мир, 1989. – 224 с.
9. Завадский К.М. Вид и видообразование. – Л.: Наука, 1968. – 405 с.
10. Зюганов В.В., Бойко О.Г. Перші підтвердження астроцитарної гіпотези старіння ссавців // Вісник ОНУ. – 2011. – Т. 16, Вип. 6. – С. 65-75.
11. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка. Детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учеб. Пособие. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2000. – 124 с.
12. Корж О.П. Флуктуація емоності середовища як універсальний механізм регуляції чисельності популяції // Питання біоіндикації та екології – Запоріжжя, 2001. – Т. 6, № 1. – С. 72-79.
13. Dogel V. A. Course of general parasitology. – L.: State education and pedagogical publishing of the Ministry of Education of the RSFSR, 1947. – 356 p.
14. Zavadsky K.M. Species and speciation. – L.: Nauka, 1968. – 405 p.
15. Zhyuganov V.V., Boyko O.G. The first confirmation of astrocytic hypothesis of aging mammals // Bulletin of the ONU. – 2011. – T. 16, № 6. – P. 65-75.
16. Kozlytin A.M., Yakovlev B.N. Technogenic emergencies. Forecasting of and assessment. Determinate quantification methods dangers technosphere: Training Manual. – Saratov: Saratov. state. Sc. University Press, 2000. – 124 p.
17. Korzh O.P. Fluctuations tank environment as a universal mechanism for the regulation of population size // Problems of bi-

- indications and environmental. – Zaporizhzhya, 2001. – Т. 6, № 1. – P. 72 – 79.
13. Корж О.П. Вплив деяких екологічних факторів на можливість підтримання зоокультури тест-об'єкту *Ceriodaphnia affinis* (Cladocera, Crustacea) // Вестник зоології, – 2011. – Т. 45, № 3. – С. 241-250.
  - Korzh O.P. Effect of some environmental factors on the sustainability zookultury test object Ceriodaphnia affinis (Cladocera, Crustacea) // Journal of Zoology, – 2011. – Т. 45, № 3. – P. 241-250.*
  14. Корж О.П., Фролов Д.О. Зоокультура мисливського фазана в Україні // Вісник ЗНУ. – 2011. № 1. – С. 53-61.
  - Korzh A.P., Frolov D.A. Zookultura pheasant hunting in Ukraine // Vestnic ZNU. – 2011. N. 1. – P. 53-61.*
  15. Корж А.П. Синантропизация дрозофил / Актуальные проблемы естественных и математических наук // Материалы международной заочной научно-практической конференции. – Новосибирск: СибАК, 2013. – С. 74-78.
  - Korzh A.P. Sinantropizacija Drosophila / Actual problems of science and mathematics // International extramural scientific and practical conference. – Novosibirsk: SybAK, 2013. – P.74-78.*
  16. Корж А.П. Стрессовые воздействия на лабораторные культуры // Фундаментальные и прикладные проблемы стресса: материалы III Международной научно-практической конференции, Витебск, 16–17 апреля 2013 г. – Витебск: ВГУ, 2013. – С. 234-236.
  - Korzh A.P. Stresses on laboratory cultures // Fundamental and applied problems of stress: Materials III International scientific and practical conference, Vitebsk, 16-17 April 2013 g. – Vitebsk: VHU, 2013. – P. 234-236.*
  17. Корсак К. Нооэкономика (4-а хвиля) – шлях сталого розвитку людства у XXI столітті // Економіст. – 2011. – № 1. – С. 20-23.
  - Korsak K. Nooekonomika (4th wave) - the path of sustainable human development in the twenty-first century // Economist. – 2011. № 1. – P. 20-23.*
  18. Кучерявий В.П. Екологія. – Львів: Світ, 2001. – 480 с.
  - Kutheryaviy V. P. Ecology. – Lviv: Svit, 2001. – 480 p.*
  19. Литовка О.П., Дедов Л.А., Павлов К.В., Федоров М.М. Экологический фактор регулюючих впливів в системі регіональної економіки // Научные ведомости. – 2006. – № 5 (25), Вып. 1. – С. 211-225.
  - Lithovka O.P., Dedov L.A., Pavlov K.V., Fedorov M.M. Environmental factor regulating interventions in the regional economy // Scientific statements. – 2006. № 5 (25), Vol. 1. – P. 211-225.*
  20. Литус И.Е. Аклиматизация фазанов на Украине // Автореф. дис. ... кандидата биол. наук. – К., 1973. – 24 с.
  - Lytus I.E. Acclimatization pheasants in Ukraine // Abstract. Thesis. Candidate... Biol. Science. – K., 1973. – 24 p.*
  21. Лукашевич О.Д. Словарь-справочник терминов и определений по основам экологии: учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2008. – 220 с.
  - Lukashevich O.D. Glossary of Terms and Definitions on the basics of ecology: a training manual. – Tomsk: Izd. Vol. state. arhyt. – builds. University Press, 2008. – 220 p.*
  22. Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. – М.: Молодая гвардия, 1990. – 351 с.
  - Moiseev N.N. The man and the noosphere. – M.: Young Guard, 1990. – 351 p.*
  23. Павлов Д.С., Букварева Е.Н. Биоразнообразие, экосистемные функции и жизнеобеспечение человечества // Вестник РАН. – 2007. – Т. 77, № 11. – С. 974-986.
  - Pavlov D.S., Bukvareva E.N. Biodiversity, ecosystem functions and humanity life support // Herald of the RAS. – 2007. T. 77, № 11. – P. 974-986.*
  24. Павлов К.В., Федоров М.М. Основные принципы формирования экологического потенциала как фактора жизнеобеспеченности природно-антропогенных систем // Экономічний вісник Донбасу. – 2010. – № 1 (19). – С. 159-167.
  - Pavlov K.V., Fedorov M.M. Basic principles of ecological potential as a factor in the livelihoods of natural and human systems // Journal of Economic Donbass. – 2010. № 1 (19). – P. 159-167.*
  25. Плюснин Ю.М. Проблема биосоциальной эволюции. – Новосибирск: Наука, 1990. – 240 с.
  - Plusnin Y.M. The problem of bio-social evolution. – Novosibirsk: Nauka, 1990. – 240 p.*
  26. Польова О.Л. Концептуальні підходи до структуризації використання біологічного потенціалу тварин: ефективність та енергоощадність // Інноваційна економіка. – 2010. № 3. – С. 49-52.
  - Polyova O.L. Conceptual approaches to structuring the potential use of biological animals Efficiency and Energy-saving // Innovative Economy. – 2010. № 3. – P. 49-52.*
  27. Тайсаева В.Т. Энергоэффективные технологии жизнеобеспечения с солнечными системами теплоснабжения // Электронное научное издание "Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление". – 2011. – Т. 7, № 1 (10). – С. 18-29. / www.rypravlenie.ru
  - Taysaeva V.T. Energy-efficient technologies with life-support systems, solar heating // Electronic scientific journal "Sustainable innovation development: the design and management". – 2011. T. 7, № 1 (10). – P. 18-29. / www.rypravlenie.ru*
  28. Рафиков А.А., Кеншимов А.К. Механизмы устойчивого водопользования в бассейне Аральского моря // Центральная Азия на пути к устойчивому развитию. – Алматы, 2002. – С. 98-106.
  - Rafykov A.A., Kenshymov A.K. Mechanisms for sustainable water management in the Aral Sea Basin // Central Asia on the way to sustainable development. – Almaty, 2002. – P. 98-106.*
  29. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Россия Молодая, 1994. – 367 с.
  - Reimers N.F. Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses). – M.: Russia Young, 1994. – 367 p.*
  30. Селье Г. Стресс без дистресса. – М.: Прогресс, 1979. – 122 с.
  - Selye H. Stress without distress. – M.: Progress, 1979. – 122 p.*
  31. Смирнов В.С. О механизмах, регулирующих численность естественных популяций животных // Экологические основы адаптации животных. Труды Московского общества испытателей природы. – М.: Наука, 1967. – Т. XXV. – С. 13-32.
  - Smirnov V.S. On the mechanisms that regulate the number of natural populations of animals // Ecological bases of adaptation of animals. Proceedings of the Moscow Society of Naturalists. – M.: Nauka, 1967. T. XXV. – P. 13-32.*
  32. Флинт В.Е., Габузов О.С. Дичефермы и зоопитомники в СССР (некоторые итоги и перспективы) // Дичефермы и зоопитомники. Сборник научных трудов ЦНИЛ Главохоты РСФСР. – М.: Из-во ЦНИЛ Главохоты РСФСР, 1991. – С.5-23.
  - Flynt V.E., Gabuzov O.S. Dichefermy and zoopitomniki in the USSR (some results and prospects) // Dichefermy and zoopitomnik. Collection of scientific papers CNIL Glavohoty RSFSR. – M.: From the Central Research Laboratory of the RSFSR Glavohoty, 1991. – P. 5-23.*
  33. Alekseeva E.K. Rural ethnocultural landscape of lamunkhinsky evens // Science, Technology Science and Higher Education. – 2012. – Vol. I. – С. 474-478.

34. Darwin C.R. On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. – London: John Murray, 1859. – 534 p.
35. Darwin C.R., Wallace A.R. On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection // Journal of the Proceedings of the Linnean Society of London. Zoology. – 1858. – №3. – P. 45-62.
36. Lewontin R.C. The Triple Helix. Gene, Organism and Environment. – Cambridge: Mass. Harvard University Press, 2000. – 136 p.
37. Lovelock J.E. Gaia a new look at life on earth. – Oxford: University Press, 2000. – 252 p.
38. Odling-Smee F.J., Laland K.N., Feldman M.W. Comments on Niche Construction: The Neglected Process in Evolution. – Princeton: Princeton University Press, 2003. – 468 p.
39. Yelizarov M.V. The state within the social and cultural space of contemporary society // Science, Technology Science and Higher Education. – 2012. – Vol. I. – C. 596-601.

**Korzh A.P. Sustaining the livelihoods of populations as a basis of the carrying capacity formation of their living environment**

**Abstract.** Human society is a certain model for the development of the corresponding scientific understanding of the general biological laws. For an explanation of the relationship in the system "organism – environment" term "survivability", widely used in various fields of science is quite appropriate to be involved. The term "life-support", in our opinion, should be understood as a full realization of the organism (or other biological systems) of its vital functions. The loss of a normal reproduction, which is the most demanding to the conditions of existence, is the first sign of the deterioration in the livelihoods of organisms. The quantitative expression of the relationship of the organism with the environment is the mostly realized through a comprehensive index that takes into account a limiting determine impact of environmental factors. Such indicator may be a carrying capacity, which provides the possibility for the existence of organisms or their aggregates of full value. The existing capacity has a peculiar pressure on the relevant group of organisms, which may in some way limit its different manifestations of life. Anthropogenic impact on the environment leads to the transformation first of all the breeding habitats, which causes the break of reproductive functions of the species populations. As a result security measures the not always give the desired effect, and an increasing number of species goes into the category of endangered. Population dynamics of any kind (or groups of individuals) under specific conditions will directly depend on the livelihoods and fluctuate within the available capacity of the environment. Without the proper livelihoods, manifested by a particular container environment, the preservation of any natural objects is not possible. Increasing the productivity of the exploited elements of the biosphere requires a corresponding increase of their livelihoods to the possibility of all life processes realization and to expanding of the medium capacity. Impact on the carrying capacity of the species helps to activate microevolution processes that comply with the rule of Le Chatelier – Brown. At the same time, these processes are not only poorly controlled by man, but mostly going counter to our wishes. Human impacts predominantly acquire the form of r-selection, helping to improve the biotic potential of the species. These processes are mostly negative for the people.

**Keywords:** *sustaining the livelihoods, organism, carrying capacity, interaction, well-being of species.*

Савина К.Д.

## Постуральные реакции кожного кровотока у спортсменов

Савина Ксения Дмитриевна, аспирант кафедры спортивных игр и гимнастики  
Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Украина

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ функционального состояния регуляторных систем микроциркуляции в коже у спортсменов специализирующихся в беговых видах легкой атлетики до и после вестибулярных раздражений. Исследовано 10 высококвалифицированных легкоатлетов специализирующихся в беге на средние и длинные дистанции и 40 женщин, не занимающихся спортом. Показано, что вестибулярное раздражение достоверно вызывает изменения процессов микроциркуляции в коже, проявляющиеся не только в изменении величины перфузии, но и спектра компонентов механизмов регуляции. Получено, что высокочастотные дыхательные и пульсовые колебания у спортсменов занимали значительно меньшую долю в общем спектре и составили 9,8% и 8,3% соответственно, что указывает на оптимальный приток и отток периферической крови. Структура осцилляций кожного кровотока после вестибулярных раздражений у спортсменов, связана с повышением вклада дыхательного компонента с 9,8% до 11,4%, что обусловлено изменением динамики венозного давления при легкой механической активности, присасывающим действием «дыхательного насоса».

**Ключевые слова:** спортсмены, микроциркуляция в коже, ЛДФ-метрия, вестибулярное раздражение, дыхательные и пульсовые колебания

**Введение.** Известно, что гравитационные взаимодействия определяют формирование основных компонентов двигательного анализатора, в определенной степени лимитировали развитие сердечно-сосудистой, дыхательной, выделительной и других систем организма, обслуживающих двигательный аппарат человека [5]. Поэтому при любом движении, воспринимаемом либо пассивно, либо активно, вестибулярный анализатор вступает в активное взаимодействие со всеми системами организма, вызывая вестибулярные реакции [7].

**Краткий обзор публикаций по теме.** Накоплен достаточный материал по вестибуловегетативным, вестибулосоматическим, глазодвигательным (нистагмометрическим) и другим реакциям [2]. Созданы методики, позволяющие оценить вестибулярную устойчивость по показателям сердечно-сосудистой системы, системы дыхания, ориентировки в пространстве, силы [3;9]. Однако, несмотря на большое количество исследований, особенно посвященным вестибуловегетативным реакциям, совершенно не изученным остаётся реактивность кровеносных сосудов кожи на вестибулярное раздражение. Научный интерес к этому вопросу связан, еще и с тем, что современные способы регистрации и обработки параметров кожного кровотока даёт возможность определить роль различных механизмов в регуляции тканевой гемодинамики [6;8]. Изменения в системе микроциркуляции крови коррелируют со сдвигами в центральной гемодинамике, что позволяет использовать показатели микроциркуляции в качестве критериев в общей оценке вестибуловегетативной устойчивости, что в свою очередь отражает уровень здоровья.

**Цель.** Целью исследования являлось выявление особенностей процессов модуляции кожного кровотока у спортсменов в условиях вестибулярных раздражений.

**Материалы и методы.** В исследовании принимали участие женщины в возрасте от 19 до 23 года, не занимающихся спортом (n=40). Также в исследовании принимали участие высококвалифицированные (мастера спорта, мастера спорта международного класса в беге на средние и длинные дистанции) спортсменки (n=10). Общее количество обследуемых 50 человек.

Фаза месячного цикла не учитывалась. Для регистрации показателей микроциркуляции в коже, до и после вестибулярных раздражений, использовали метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), основанный на оптическом зондировании тканей монохроматическим излучением и анализе частотного спектра, отраженного от движущихся эритроцитов сигнала. ЛДФ осуществляли лазерным анализатором кровотока «ЛАКК-02» во втором исполнении (НПП «Лазма», Россия). В качестве вестибулярных раздражений применяли вращения в кресле Барани, по методу Воячека (10 оборотов за 20 секунд, голова под углом 30° вниз с закрытыми глазами). Исследование проводили в дневное время суток, испытуемые во время исследования находились в положении сидя. Головка оптического зонда (датчика) фиксировалась на наружной поверхности левого предплечья на 4 см выше шиловидных отростков. По мнению некоторых авторов [8], указанная зона является зоной Захарьина-Геда сердца, бедна артерио-венулярными анастомозами, поэтому в большей степени отражает кровоток в нутритивном русле и в меньшей степени подвержена влияниям внешней среды, и в связи с этим применяется для исследований микроциркуляции. Расчёт показателей базального кровотока проводился в два этапа.

Показатели тканевого кровотока оценивали до и после вестибулярных раздражений. На первом этапе следующие показатели:

M (перф.ед.) – показатель микроциркуляции, характеризующий общую (капиллярную и внекапиллярную) усредненную стационарную перфузию микрососудов за время исследования;

СКО ( $\sigma$ , перф.ед.) – среднее квадратичное отклонение амплитуды колебаний кровотока во всех частотных диапазонах от среднего M, отражающее переменность тканевого кровотока;

$K_v$  (%) – коэффициент вариации, который вычисляли по формуле:  $K_v = \text{СКО} / M \cdot 100\%$ .

Расчет показателей M; СКО и  $K_v$  даёт общую оценку процессам микроциркуляции крови до и после вестибулярных раздражений.

На втором этапе проводился анализ функционирования механизмов микроциркуляции, который был получен при обработке ЛДФ - грамм кровотока при

исследовании ритмических компонентов колебаний перфузии крови. Анализ амплитудно-частотного спектра отраженного сигнала проводили с использованием математического аппарата вейвлет-преобразования, который в настоящее время находит широкое применение для анализа сигналов физиологической природы, позволяет оценивать изолированно вклад каждого звена механизмов, принимающих участие в модуляции микрокровотока. Среди звеньев регуляции выделяют «пассивные» и «активные» факторы, которые в полосе частот от 0,0095 до 1,6 Гц формируют пять не перекрывающихся частотных диапазонов: 0,0095–0,02 Гц – диапазон эндотелиальной активности (VLF), 0,02–0,05 Гц – диапазон нейрогенной (симпатической адренергической) активности (LF<sub>н</sub>), 0,06–0,15 Гц – диапазон миогенной (гладкомышечной) активности (LF<sub>м</sub>), 0,15–0,4 Гц – диапазон респираторного ритма (HF), 0,8–1,6 Гц диапазон кардиального ритма (CF). Регистрируемый в ЛДФ-грамме колебательный процесс является результатом наложения колебаний, обусловленных одновременным функционированием «активных» и «пассивных» факторов [4]. Определялся вклад каждой компоненты амплитудно-частотных характеристик колебаний кожного кровотока. Статистическая обработка материала проводилась путем вычисления среднего значения ( $\bar{x}$ ), и ошибки средней арифметической ( $S\bar{x}$ ). Оценка достоверности различий проводилась с использованием t-критерия Стьюдента.

**Результаты и их обсуждение.** Проведённые исследования показали, что показатель перфузии М в покое, до вестибулярных раздражений, колебался в пределах от 2,61 до 5,23 перф.ед и составил в среднем  $3,53 \pm 0,61$  перф.ед. (табл.1). В современной научной литературе указывается, что величина параметра перфузии М зависит от концентрации эритроцитов и скорости их движения, а также от индивидуально-типологических особенностей состояния микроциркуляции [4;6;8]. Так, в исследованиях Чуян Е.Н. с соавторами, при измерении уровня перфузии у женщин, не занимающихся спортом, получены три типа микроциркуляции в коже: аperiodический, монотонный с низкой перфузией и монотонный с высокой перфузией. Полученные типы зависели от величин перфузии, флкса и коэффициента вариации (табл.2). Необходимо отметить, что приоритетными в определении типа микроциркуляции были величины флкса и особенно коэффициента вариации. Коэффициент вариации у спортсменок достоверно не отличался по отношению к женщинам не занимающимся спортом аperiodического типа. Это дало нам возможность отнести высококвалифицированных легкоатлетов к лицам с аperiodическим типом ЛДФ-граммы, так как величина коэффициента вариации соответствовала  $18,47 \pm 2,30\%$ . Интересно отметить, что в покое величина перфузии кожного кровотока у спортсменок была достоверно ниже, чем у женщин, не занимающихся спортом. Об-

наруженное нами явление более низкой перфузии кожного кровотока у спортсменок вписывается в положения классической спортивной физиологии об экономичности многих физиологических функций в покое у спортсменок [12].

Таблица 1.  
**Показатели микроциркуляции в коже у спортсменок до и после вестибулярных раздражений**

Спортсменки	До вестибулярных раздражений			После вестибулярных раздражений		
	М	$\delta$	$K_v$	М	$\delta$	$K_v$
С-ко	3,24	0,54	16,77	3,71	0,48	12,86
Б-рь	2,61	0,82	31,53	1,81	0,66	36,46
Бл-рь	2,79	0,46	16,36	2,43	0,69	28,28
Д-ва	5,23	0,68	12,98	4,49	0,42	8,43
Ш-ва	3,64	0,71	19,54	3,09	0,49	15,71
Ш-ко	3,75	0,58	15,42	3,07	0,82	26,71
С-на	4,99	0,56	11,32	4,03	0,61	14,86
К-ва	2,22	0,58	26,01	2,28	0,48	20,91
К-ва	3,58	0,56	15,62	3,07	0,38	12,23
С-ко	3,27	0,64	19,14	2,56	0,58	22,72
$\bar{x}$	<b>3,53</b>	<b>0,61</b>	<b>18,47</b>	<b>3,05</b>	<b>0,56</b>	<b>20,01</b>
$S\bar{x}$	<b>0,34</b>	<b>0,04</b>	<b>2,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,05</b>	<b>3,19</b>

Таким образом, для кожного кровотока у женщин занимающихся бегом на средние и длинные дистанции характерна низкая перфузия и вариабельность показателей кровенаполнения, что вероятно связано с участием как центральных, так и региональных, и локальных механизмов регуляции кровотока. После вестибулярных раздражений показатель перфузии М кожного кровотока у спортсменок достоверно не изменился (табл.1), что связано с процессами вестибuloгетативной устойчивости не смотря на «угрозу» потери равновесия. Получено, что также не изменился достоверно коэффициент вариации  $K_v$ . Это свидетельствует о стабильности различных механизмов регуляции величины перфузии в условиях вестибулярного раздражения.

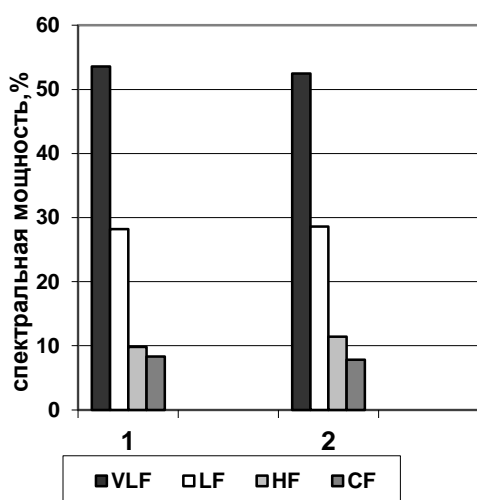
Представляет научный интерес роль каждого звена механизмов, принимающих участие в модуляции микрокровотока. Обработка ЛДФ - грамм кровотока при исследовании ритмических компонентов колебаний перфузии крови и анализ амплитудно-частотного спектра отраженного сигнала позволил нам, определить механизмы регуляции кровотока в коже. Известно, что для женщин с аperiodическим типом ЛДФ-грамм самый существенный вклад в общую мощность спектра вносит VLF-компонент [6], обусловленный функционированием эндотелия, а именно выбросом вазодилатора NO. На сегодняшний день существуют данные о связи экспрессии гена eNOS (ген эндотелиальной NO-синтазы) и способностью выполнять, тяжелую физическую работу [1;11]. Это и определяет важность изучения вазодилаторного звена регуляции кровотока, как генетически детерминированного, что важно для вопросов отбора и ориентации тренировочного процесса спортсменок.

Таблица 2.

Показатели микроциркуляции в коже у женщин не занимающихся спортом и высококвалифицированных легкоатлеток

Типы микроциркуляции (n=50)	Показатели микроциркуляции		
	Перфузия М, перф.ед.	Флакс. δ, перф.ед.	Коэффициент вариации Kv, %
Апериодический тип, (n=13) женщины, не занимающиеся спортом	6,28±0,52	0,97±0,09	16,55±3,09
(n=10) высококвалифицированные легкоатлетки	<b>3,53±0,61; p1&lt;0,01</b>	<b>0,61±0,04; p2&lt;0,05</b>	<b>18,47±2,30</b>
Монотонный тип с низкой перфузией (n=14) женщины, не занимающиеся спортом	6,53±0,28	0,23±0,03	3,5±0,38
Монотонный тип с высокой перфузией (n=13) женщины, не занимающиеся спортом	18,69±0,83	0,53±0,04	3,53±0,34

**Примечания:** p1 - достоверность отличий по отношению к женщинам не занимающимся спортом монотонного типа с высокой перфузией; p2 - достоверность отличий по отношению к женщинам не занимающимся спортом монотонного типа с низкой перфузией;



**Рис.1.** Вклад в общую мощность спектра основных ритмов ЛДФ-грамм аperiодического типа у спортсменок (1- в покое, 2- после вестибулярных раздражений)

Также весомым вкладом в общую мощность спектра является LF-компонента, обусловленного миогенной активностью вазомоторов и нейрогенными симпатно-адренергическими влияниями на миоциты артериол и артериолярных участков артериовенулярных анастомозов (рис.1). Этот тип, по данным литературы, характеризуется высокой сбалансированностью регуляторных механизмов.

Анализ спектра основных ритмов ЛДФ-грамм аperiодического типа у спортсменок показал существенный вклад VLF-компоненты, который составил 53,6%, что свидетельствует о значительной модуляции потока крови со стороны эндотелиального функционирования. Вклад вазомоторных колебаний в регуляции кожного кровотока у спортсменок составил 28,2%. Высокочастотные дыхательные и пульсовые колебания у спортсменок занимали значительно меньшую долю в общем спектре и составили 9,8% и 8,3% соответственно, что указывает на оптимальный приток и отток периферической крови.

Анализ полученных данных о структуре осцилляций кожного кровотока после вестибулярных раздражений у спортсменок, позволил определить повышение вклада дыхательного компонента с 9,8% до

11,4%, что обусловлено изменением динамики венозного давления при легочной механической активности, присасывающим действием «дыхательного насоса».

Таким образом, выявлены особенности кожного кровотока спортсменок в покое, а также особенности реакции микроциркуляторного русла при вестибулярных раздражениях заключающиеся в снижении перфузии и модуляции спектра осцилляций кожного кровотока. В перспективе необходимы исследования, подтверждающие генетическую детерминацию осцилляций кожного кровотока, связанных с экспрессией и полиморфизмов генов регулирующих адаптационные перестройки регуляций микрокровотока в тканях в связи со спортивной деятельностью.

#### Выводы

1. Обнаружено отсутствие достоверной связи между показателями микроциркуляции кожного кровотока спортсменок и женщин, не занимающихся спортом аperiодического типа, что позволило нам отнести занимающихся спортом к лицам с аperiодическим типом ЛДФ-грамм.
2. У высококвалифицированных спортсменок специализирующихся в беге на средние и длинные дистанции выявлен аperiодический тип ЛДФ-грамм с более низкими значениями перфузии (3,53 перф.ед.), относительно высокими параметрами коэффициента вариации (18,47%), что свидетельствует о преобладании активных факторов модуляции кровотока с одной стороны и экономизации с другой.
3. Обнаружены достоверные отличия параметров кожного кровотока спортсменок: при  $p \leq 0,01$  по отношению к женщинам не занимающимся спортом монотонного типа с низкой перфузией; при  $p \leq 0,05$  по отношению к женщинам не занимающимся спортом монотонного типа с высокой перфузией.
4. Выявлены особенности механизмов регуляции кожного кровотока у спортсменок, заключающиеся в значительном вкладе пульсового (вклад в общий спектр 8,3%) и веноулярного звена (вклад в общий спектр 9,8%), за счёт снижения роли вазомоторных механизмов (вклад в общий спектр 28,2%) при сохранении преобладания эндотелиального функционирования (вклад в общий спектр 53,6%) характерного для аperiодического типа ЛДФ-грамм.
5. Определено, что после вестибулярных раздражения у спортсменок не происходит достоверное изменение перфузии кожного кровотока и коэффициента вариации. Однако происходит модификация спектра осцилляций кровотока за счёт увеличения вклада веноулярного звена (с 9,8% до 11,4%). Полученные данные

свидетельствует о вестибуловегетативной устойчивости спортсменок в связи с «угрозой» потери равновесия, что позволяет разработать нормативные показатели для проведения диагностики тканевого кровото-

ка при постуральных пробах, а также свидетельствует о значительном потенциале резервных возможностей занимающихся бегом на выносливость.

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Астратенкова И.В. Полиморфизм гена эндотелиальной NO-синтазы и физическая активность. Генетические, психофизические и педагогические технологии подготовки спортсменов: сб. научных трудов / И.В. Астратенкова // – СПб., 2006. – С. 62-83.  
*Astratenkova I.V. Polimorfizm gena endotelialnoi NO-sintazy i fizicheskuyu aktivnost [Polymorphism gene endothelial NO-synthesis and physical activity] // Genetic, psychophysical and pedagogical technologies of preparation of sportsmen: Collection of scientific labors – SPb., 2006. – P. 62-83.*
2. Бабияк В.И. Некоторые сведения о взаимодействии вестибулярного и зрительного анализаторов на уровне глазодвигательного аппарата / В.И. Бабияк // Профессиональный психофизиологический отбор военных специалистов: Сб. науч. трудов. - Л.: 1969. - С. 24-27.  
*Babiyk V.I. Nekotjryue svedeniy o vzaimodestviykh vestibulyrnogo i zritel'nogo analizatorov [Some information about co-operation of vestibular and visual analyzers] Professional psychophysiology selection of soldiery specialists: Collection of scientific labors - L.: 1969. - P. 24-27.*
3. Болобан В. Контроль устойчивости равновесия тела спортсмена методом стабилорафии / Виктор Болобан, Татьяна Мистулова // Физическое воспитание студентов творческих специальностей / ХГАДИ (ХХПИ) – Харьков, 2003. – №2. - с.24-33  
*Boloban V. Kontrol ystochivosti ravnovesiy tela sportsmena metodom stabilografii [Control of stability of equilibrium of body of sportsman by the of stabilografs method] // Physical education of students creative specialties HGADI (HHPI) – Harkov, 2003. – №2. - с.24-33*
4. Бранько В.В. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии / В.В. Бранько, Э.А. Богданова, Л.С. Камшилина, В.И. Маколкин, В.В. Сидоров // Пособие для врачей, М., 1999, - 48с.  
*Branko V.V. Metod lazernoi doplerovskoi fluometriy v kardiologii [Method lasers doplers fluometr in cardiology] // Bookmanual for doctors, M., 1999, - 48p.*
5. Кашуба В.А. К вопросу о влиянии гравитационных взаимодействий на формирование геометрии масс тела человека в онтогенезе / В.А. Кашуба // Физическое воспитание студентов творческих специальностей / ХХПИ. – Харьков, 2001. - № 1. – С.26-30.  
*Kashyba V.A. K voprosy o vliyunii gravitacionnykh vzaimodestviy na formirovanie geometrii mass tela cheloveka v ontogeneze*
6. Козлов В.И. Лазерная доплеровская флоуметрия и анализ коллективных процессов в системе микроциркуляции / В.И. Козлов, Л.В. Корси, В.Г. Соколов // Физиология человека. -1998.-Т.24.-№6.-С.112  
*Kozlov V.I. Lazernay doplerovskay fluometriy i analiz kollektivnyh procesov v sisteme mikrociirkulycii [Fluometr lasers doplers and analysis of collective processes in the system of microcirculation] // Human Physiology..-1998.-T.24.-№6.-P.112*
7. Хечинашвили С.Н. Вестибулярная функция / С.Н. Хечинашвили. Тбилисский институт усовершенствования врачей. - Тбилиси, 1953. – 331с.  
*Hechinashvili S. N. Vestibylyrnay fyunkciy [Vestibular function] Tbilisi institute of improvement of doctors. - Tbilisi, 1953. - 331с.*
8. Чуйн Е.Н. Индивидуально-типологические особенности показателей микроциркуляции / Е.Н. Чуйн, Н.С. Трибрат, М.Н. Ананченко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Т. 21(60). Симферополь. - 2008. - № 3. - С. 190-203.  
*Chuyin E.N. Individyalno-tipologicheskie osobenosti pokazatelei mikrociirkulycii Individual-tipologic features of indexes of microcirculation] // Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. T. 21(60). Simferopol. - 2008. - № 3. - P. 190-203.*
9. Bretz K. Postural control and movement coordination skill / К. Bretz, R. Kasse // Second Word Congress of Biomechanics. Amsterdam, - 1994. - P. 99.
10. Kvandal P. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, ion-tophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostanglazines / P. Kvandal, A. Stefanovska, M. Veber // Microvasc Res 2003; 65: P.160-171.
11. Tsukada T. Evidence of association of the eNOS gene polymorphism with plasma NO metabolite levels in humans. / T. Tsukada, K. Yokoyama, T. Arai [et al.] // Biochem. Biophys. Res. Commun. – 1998. - V.245., N1. - P. 190-193.
12. Wilmore J.H. Physiology of sport and exercise / J.H. Wilmore, D.L. Costill / - Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2004.- 726 p.

#### Savina K.D. Postural reactions of blood circulation in skin at sportswomen

**Abstract.** The comparative analysis of the functional being of the regulator systems of microgemodynamics is conducted in a skin at the sportswomen of specialized in the running types of track-and-field before and after vestibular irritations. 10 highly skilled athletes of specialized in at run on middle and long distances are explored. It is shown, that the vestibular irritation for certain causes the changes of processes of microgemodynamics in a skin, showing up not only in the change of size of perfusion but also spectrum of components of mechanisms of adjusting. It is got, that high-frequency respiratory and pulse vibrations at sportswomen occupied considerably a less stake in a general spectrum and were 9,8% and 8,3% accordingly, that specifies on an optimum influx outflow of peripheral blood. Structure of vibrations of skin blood stream after the vestibular irritations at sportswomen, consists of increase of deposit of respiratory component from 9,8% to 11,4%, that is conditioned by the change of dynamics of vein pressure at pulmonary mechanical activity, attracting action of «respiratory pump».

**Keywords:** athletes, microcirculation in the skin, the LDF-metry, vestibular irritation, breathing and pulse oscillation



## CHEMISTRY

**Брем В.В., Буга С.П., Дмитренко І.В.**  
**Вплив кремнію (IV) й алюмінію (III) оксидів на розчинність водню**  
**в фторидно-оксидних розплавах**

*Брем Володимир Вікторович, кандидат хімічних наук, доцент, декан хіміко-технологічного факультету,  
 Буга Світлана Петрівна, старший викладач,  
 Дмитренко Інна Вікторівна, асистент,  
 Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна*

**Анотація.** Одним з найбільш істотних факторів, які визначають міцність сталей, є вміст у них розчиненого водню. При будь-якому методі одержання сталі, вона однозначно залежить від газонасичення шлакового покриву, тобто в остаточному підсумку від складу газової фази над системою шлак – метал. Крім цього необхідно відшукати залежність між складом фторидно-оксидного флюсу й складом газової фази. Цим визначається розчинність водню в розплаві, а також скласти відповідні діаграми. Кінцевим результатом повинне бути одержання рівнянь, які дозволяють б розраховувати розчинність водню у фторидно-оксидних розплавах заданого складу. Концентрація розчиненого водню на відмінну від окисних розплавів повинна залежати вже не тільки від складу розплаву, але й від співвідношення рівноважних значень  $P_{H_2O}$  і  $P_{HF}$ . Для фторидно-оксидного флюсу кожного заданого складу відповідає цілком певна величина співвідношення  $P_{H_2O} : P_{HF}$ . Це означає, що для використання рівняння, яке поєднує концентрацію розчиненого водню й концентрації компонентів флюсу необхідно ще мати дані про рівноважну склад газової фази над ним. Тобто потрібне термодинамічне дослідження процесу пірогідролізу фторидів. Проведено загальний термодинамічний аналіз можливих взаємодій найбільш типових і перспективно ймовірних компонентів флюсів ЕШП із парами води в інтервалі температур від 1400 до 1800 °С. Це дозволило виявити термодинамічні більше ймовірні реакції. Такими виявилися реакція пірогідролізу фтористого кальцію й найбільше що сильно впливають на її рівновагу реакції ошлакування оксиду кальцію оксидами кремнію і алюмінію. Залежності рівноважних складу газової фази ( $H_2O + HF$ ) від концентрації оксиду кальцію були побудовані для двох серій складів з постійними вмістами  $SiO_2$  й  $Al_2O_3$ . На підставі розгляду цих діаграм визначені склади флюсів [1], що забезпечують найменші рівноважні концентрації фтористого водню в газовій фазі над розплавом. У припущенні того, що зсув рівноваги реакції розчинення водню вправо буде меншим при менших рівноважних значеннях  $P_{HF}$ , визначені склади флюсів віднесені до оптимального з погляду заповнення їх наводеності. Запропоновано процес поглинання водню описувати реакцією  $CaF_{(ун)} + H_2O_{(газ)} = CaO_{(ун)} + 2HF_{(ун)}$  і у зв'язку із цим розглядати фторидно-оксидні розплави як іонні системи, що містять поряд з аніонами  $F^-$  в  $O^{2-}$  і катіонами металів, іон  $H^+$ . При цьому однозначного вибору між схемами  $H^+ + F^- = HF$  й  $H^+ + O^{2-} = OH^-$  не робиться. Для знаходження вмісту розчиненого водню в фторидно-оксидних розплавах можна застосувати теорія іонних розчинів з довільним числом катіонів і аніонів у її уточненій варіанті [1]. Гідроксильну форму існування водню в таких шлаках можна представити як систему із трьома типами аніонів:  $F^-$ ,  $O^{2-}$  і  $OH^-$  на відмінну від окисних розплавів де існує система із двома типами аніонів:  $O^{2-}$  і  $OH^-$ . Отримано рівняння для розрахунку розчинності водню в розплавах  $CaF_2 - CaO - SiO_2$ ,  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3$  і  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3 - SiO_2$ . Вони виражають залежність іонної частки іонів  $H^+$  від  $P_{H_2O}$  у рівноважній газовій фазі над розплавами й від складу розплаву. Значення  $P_{H_2O}$  можуть бути взяті із представлених у роботі графіків [1]. Коригувальні коефіцієнти рівнянь повинні визначатися за експериментальним даними про розчинність води в розплавах.

**Ключові слова:** водень, флюс, розплав, розчинність, газова фаза, склад.

**Вступ.** Одним з найбільш істотних факторів, які визначають міцність сталей, є вміст у них розчиненого водню. При будь-якому методі одержання сталі, вона однозначно залежить від газонасичення шлакового покриву, тобто в остаточному підсумку, від складу газової фази над системою шлак – метал. Тому пошуки шляхів зменшення схильності до флокенування завжди зводилися до вибору раціонального режиму водню, у стадії сталеплавильного перепау, насамперед стосовно шлаків. Вивчення взаємодії оксидних розплавів з газовою фазою, що має місце в традиційних процесах сталеваріння, має вже порівняно багаторічну історію й значні позитивні результати. Що ж стосується вивчення взаємодії з газовою фазою фторидно-оксидних розплавів, те його можна вважати такими, що знаходяться лише в початковій стадії.

**Метою** дійсної роботи була видача вихідних фізико-хімічних даних для вибору раціонального режиму водню стосовно фторидно-оксидних розплавів електрошлакового перепау. Завдання зводилося до відшукування залежностей між складом флюсу й складом газової фази, що визначають розчинність водню, і складанню відповідних діаграм. Кінцевим результатом повинне бути одержання рівнянь, які дозволяють б розраховувати розчинність водню у фторидно-оксидних розплавах заданого складу.

**Проведення розрахунків та результати обговорення.** На перших етапах роботи для вирішення поставлених питань треба було провести загальний термодинамічний аналіз можливих взаємодій найбільш типових і перспективно ймовірних компонентів флюсів ЕШП із парами води в інтервалі температур від

1400 до 1800 °С. Це дозволило виявити термодинамічні більше ймовірні реакції, щодо яких можливо проводити кількісні розрахунки. Такими виявилися реакції пірогідролізу фтористого кальцію й найбільше що сильно впливають на її рівновагу реакції ошлакування оксиду кальцію оксидами кремнію і алюмінію. Залежності рівноважних складу газової фази ( $\text{H}_2\text{O} + \text{HF}$ ) від концентрації оксиду кальцію були побудовані для двох серій складів з постійними вмістами  $\text{SiO}_2$  й  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . На підставі розгляду цих діаграм визначені склади флюсів, що забезпечують найменші рівноважні концентрації фтористого водню в газовій фазі над розплавом. У припущенні того, що зсув рівноваги реакції розчинення водню вправо буде меншим при менших рівноважних значеннях  $P_{\text{HF}}$ , визначені склади флюсів віднесені до оптимального з погляду запобігання їх наводеності. Однак це допущення має потребу в експериментальній перевірці.

Для одержання розрахункових рівнянь по розчинності водню виявилось можливим скористатися теорією іонних розчинів, що має уже практичне застосування стосовно оксидних розплавів. При цьому на підставі зіставлення змін енергії Гібса для різних реакцій представилося недоцільним виходити з повної аналогії між оксидними й фторидно-оксидними іонними системами.

Пропонуючи схему взаємодії пари води із фторидами кальцію й задаючи трохи незвичайну форму розчиненого водню, у вигляді  $\text{HF}$ , ми ґрунтувалися на тому, що при розрахунку рівноваги в складній системі можна розглядати кожен з можливих у ній реакцій. Термодинамічний метод дослідження не вимагає уточнення форми існування водню в розплаві. Він дозволяє, зокрема, звести розрахунок відносної концентрації іонів  $\text{H}^+$  з наступним перерахуванням на розчинність  $\text{HF}$  або  $\text{H}_2\text{O}$ . Помітимо при цьому, що складання схеми взаємодії й проведення розрахунку щодо реакції взаємодії  $\text{H}_2$  з розплавом представляється надзвичайно складним. Оскільки взаємодія молекулярного водню із флюсом не може бути виражено звичайним рівнянням, а вимагає обліку дестехіометризації розплаву, що обумовлена протіканням окислювально-відновних процесів у ньому за рахунок наявності сильно відновних умов.

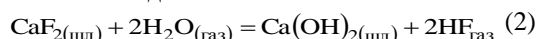
Істотна відмінність поведінки фторидно-оксидного флюсу від поведінки оксидних шлаків повинне бути пов'язане з відмінністю складу газової фази над кожним з них. Концентрація розчиненого водню в першій з них повинна залежати вже не тільки від складу розплаву, але й від співвідношення рівноважних значень  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  і  $P_{\text{HF}}$ . Якщо при насиченні будь-яких оксидних розплавів парами води створюються умови, при яких  $P_{\text{H}_2\text{O}} = 1$  атм і розрахункове значення в результаті цього спрощується [1, 2], то фторидно-оксидному флюсу кожного заданого складу відповідає цілком певна величина співвідношення  $P_{\text{H}_2\text{O}} : P_{\text{HF}}$ . Це означає, що для використання рівняння, яке поєднує концентрацію розчиненого водню й концентрації компонентів флюсу необхідно ще мати дані про рівноважну склад газової фази над ним. Тоб-

то потрібне термодинамічне дослідження процесу пірогідролізу фторидів.

Для знаходження вмісту розчиненого водню в оксидних розплавах успішно застосовується теорія іонних розчинів з довільним числом катіонів і аніонів у її уточненій варіанті [1]. В умовах окисної атмосфери передбачається гідроксильна форма існування водню в шлаках і тому оксидний розплав розглядається як система із двома типами аніонів:  $\text{O}^{2-}$  і  $\text{OH}^-$ . Взаємодія оксидного розплаву з парами води прийняте [3] описувати рівнянням



За аналогією, фторидно-оксидний розплав з розчиненим у ньому воднем варто було б представити як систему із трьома типами аніонів:  $\text{F}^-$ ,  $\text{O}^{2-}$  і  $\text{OH}^-$ . Тоді запис взаємодії розплаву з парами води повинна була б мати вигляд



Однак зіставлення термодинамічних характеристик продуктів цієї реакції показує, що якщо фтористий водень стійкий і при температурах вище 2500 К, то гідроксид кальцію вже при температурах порядку 600 К втрачає воду й перестає існувати як хімічна сполука. Стосовно оксидних розплавів реакція (1) є єдиною мислимою, у випадку ж фторидно-оксидних систем реакції (2) з повною підставою можна протиставити, наприклад, реакцію



Ідея подібного трактування взаємодії зв'язана з тим, зокрема, що при експериментальному вивченню розчинності води у флюсах ЕШП водень, який виділяється із проб при 800 – 900 °С майже повністю зв'язаний у формі  $\text{HF}$ . Причому з підвищенням температури частка фтористого водню наближається до 100%. Іншим аргументом може бути експериментально встановлений факт збігу форми виділення водню зі зразків шлаків з формами його розчинення: зі шлаків витриманих в атмосфері  $\text{H}_2\text{O}$  виділяється вода, а зі шлаків витриманих в атмосфері чистого  $\text{H}_2$  виділяється водень [2].

У випадку взаємодії фторидно-оксидних систем з парами води повинні приводити в першу чергу не до розчинення її, а до протікання процесу пірогідролізу, які посилюються наявністю компонентів, що шлакують. Про що свідчать більш негативні  $\Delta G_T^0$  значення реакцій



На міжфазній границі, очевидно, і відбувається розчинення  $\text{HF}$ , що там створюється.

Це тим більше ймовірно, що при температурах вище 1600 °С термодинамічна стійкість фтористого водню стає більшою чим в  $\text{H}_2\text{O}$ .

З цієї точки зору, наприклад, найпростіша фторидно-оксидна система  $\text{CaF} - \text{CaO}$ , виходячи з рівняння реакції (3), може бути представлена як система, що містить два види катіонів ( $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{H}^+$ ) і два види

аніонів ( $F^-$  і  $O^{2-}$ ). Тут необхідно вказати, що подібна схема не затверджує однозначно якусь нову форму існування водню в розплаві, як це може здатися на перший погляд. Розглянута система іонів може взаємодіяти як за схемою  $H^+ + F^- = HF$ , так і за схемою  $H^+ + O^{2-} = OH^-$ . При цьому принципова можливість реакції (2) не заперечується й заміна її взаємодії (3) зв'язується лише з більшою термодинамічною ймовірністю останньої. Із точки зору умов термодинамічної рівноваги в складних системах вибір тієї або іншої часткової реакції для визначення хімічного потенціалу даного компонента ніякої ролі не грає.

В основі методики розрахунку термодинамічних властивостей компонентів складних іонних розчинах лежать принципи, що викладені в роботі [1].

Стосовно до іонної системи, яка має місце в розплавах  $CaF_2 - CaO - SiO_2$  вихідні дані можна записати в такий спосіб

$$k = 3 \begin{cases} \text{катіони} & Ca^{2+} & Si^{4+} & H^+ \\ i & 1 & 2 & 3 \\ \text{іонні долі} & x_1 & x_2 & x_3 \end{cases}$$

$$l = 2 \begin{cases} \text{аніони} & F^- & O^{2-} \\ i & 1 & 2 \\ \text{іонні долі} & y_1 & y_2 \end{cases} \quad \xi = \frac{1+y_2}{2x_1+4x_2+x_3}$$

де  $x_1 + x_2 + x_3 = 1$  й  $y_1 + y_2 = 1$ . (7)

При записі умови рівноваги можливі допущення за рахунок малої величини  $x_3$ :  $x_1 + x_2 \approx 1$ , у добутках іонних часток  $x_3 \approx 0$ . У кінцевому вигляді розрахункове рівняння для іонної частки розчиненого водню ( $x_3$ ), за умови зневаги членами з добутками катіонних або аніонних часток, тут буде мати вигляд

$$-\lg x_3 = -\frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + \frac{a+by_2+cx+dx_1y_1+ex_1^2+fy_2^2}{2-x} \quad (8)$$

де коефіцієнти  $a, b, c, d, e, f$  мають ще більш складний вигляд. Рівноважні значення  $P_{H_2O}$  над цією системою можуть бути взяті з табл. 3.2 – 3.6 [1].

Якщо мати на увазі знаходження коефіцієнтів рівняння (8) за експериментальним значенням розчинності водню, то в спрощеному варіанті його доцільно переписати з меншим числом невідомих

$$-\lg x_3 = -\frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + \frac{a+by_2+cx_1}{2-x_1} \quad (9)$$

У цьому випадку коефіцієнти  $a, b, c$  будуть коректувати внесену погрішність.

Вихідні дані для іонної системи, що має місце в розплавах  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3$ , будуть наступними:

$$k = 3 \begin{cases} \text{катіони} & Ca^{2+} & Al^{3+} & H^+ \\ i & & & \\ \text{іонні долі} & 1 & 2 & 3 \\ & x_1 & x_2 & x_3 \end{cases}$$

$$l = 2 \begin{cases} \text{аніони} & F^- & O^{2-} \\ i & 1 & 2 \\ \text{іонні долі} & y_1 & y_2 \end{cases} \quad \xi = \frac{1+y_2}{2x_1+3x_2+x_3}$$

Структура її аналогічна структурі системи (7) аналогічні й всі можливі допущення. Відмінність зовні-

шнього вигляду розрахункових рівнянь обумовлено лише відмінністю значень  $\zeta$ .

$$\lg x_3 = -\frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + \frac{a+by_2+cx_1+dx_1y_2+ex_1^2+fy_2^2}{3-x_1} \quad (11)$$

або

$$-\lg x_3 = -\frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + \frac{a+by_2+cx_1}{3-x_1} \quad (12)$$

Рівноважні значення  $P_{H_2O}$  над цією системою можуть бути взяті з табл. 3.7 – 3.11 [1].

Вихідні дані для іонної системи, що має місце в розплавах  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3 - SiO_2$ , будуть наступними:

$$k = 4 \begin{cases} \text{катіони} & Ca^{2+} & Al^{3+} & Si^{4+} & H^+ \\ i & 1 & 2 & 3 & 3 \\ \text{іонні долі} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{cases}$$

$$l = 2 \begin{cases} \text{аніони} & F^- & O^{2-} \\ i & 1 & 2 \\ \text{іонні долі} & y_1 & y_2 \end{cases} \quad \xi = \frac{1+y_2}{2x_1+3x_2+4x_3+x_4}$$

У цьому випадку рівняння, яке записане навіть без обліку членів, що мають добутки катіонних або аніонних часток, повинні містити понад десять коефіцієнтів визначених за експериментальним даними. Тому доцільніше буде використати спрощений варіант його, що включає коригувальні коефіцієнти

$$-\lg x_4 = -\frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + \frac{a+by_2+cx_1+dx_2}{4-2x_1-x_2} \quad (14)$$

Оцінні розрахунки рівноважного складу газової фази над розплавами даної системи показали, що при співвідношенні кількостей оксидів кремнію й алюмінію рівному 2:1 і при концентраціях  $CaO$  не менше 20 мас. % парціальний тиск фтористого водню практично близький до нуля. Прийняття  $P_{H_2O} \approx 1$  атм. дозволить значно полегшити розрахунки розчинності водню по рівнянню (14).

Слід відзначити, що в практичних розрахунках, приймаючи  $P = 1$  атм. аналогічно можна істотно спростити й використання рівнянь (9) і (12). Це можливо робити для тих складів, над якими при оптимальних температурних умовах забезпечуються мінімальні парціальні тиски  $P_{HF}$ . При експериментальному вивченні розчинності води, у таких розплавах створюючи тиск пари рівними одній атмосфері, можна одержувати умови досить близькі до рівноважного з погляду протікання реакції пірогідролізу (4) – (6). Припускаючи наявність тісного взаємозв'язку останніх з реакцією поглинання води розплавом (3) можна розраховувати, що й ця взаємодія буде дуже близькою до рівноваги.

Флюси ЕШП у загальному випадку є багатокомпонентним і обмеження обліку їхнього складу сполуками  $CaF_2$ ,  $CaO$ ,  $Al_2O_3$  і  $SiO_2$  було б неправильним. У той же час можна передбачати, що рівняння розчинності водню, скажемо, у восьми або дев'ятох компонентному розплаві, навіть при записі його через коригувальні коефіцієнти (тобто максимальними спрощенням), повинне бути дуже складним. Для цього буде необхідно нагромадження величезного експе-

риментального матеріалу для знаходження значень коефіцієнтів.

Зіставлення рівнянь (9), (12) і (14) показує, що вони мають однаковий вигляд залежності  $\lg x_{H^+}$  від  $\lg P_{H_2O}$  і  $\lg y_2$ , однак, для кожної з розглянутих іонних систем прийнятий порядок нумерації не дозволяє використати експериментальний матеріал по найпростіших системах для одержання рівняння застосовного до систем більше складним. У той же час для багатоконпонентних оксидних розплавів таке загальне рівняння існує [2].

Якщо спробувати представити усе раніше розглянуті фторидно-оксидні розплави як окремі випадки загальної системи, то буде потрібно ввести трохи незвичайну, на перший погляд, нумерацію катіонів, а саме – першим вважати катіон  $H^+$ . Але тільки в цьому випадку незалежно від складності системи рівняння для розрахунку розчинності водню буде розписуватися завжди однаково, відносно  $x_1$ .

Для того щоб чітко представити вид загального рівняння, перепишемо заново вихідні дані по раніше розглянутих системах, не повторюючи незмінні дані по аніонах, і відповідні їм розрахункові формули з коригувальними коефіцієнтами.

У системі  $CaF_2 - CaO$  будемо мати:

$$\begin{cases} \text{катіони} & H^+ & Ca^{2+} & \xi = \frac{1+y_2}{2x_2} \\ i & 1 & 2 & \\ \text{іонні долі} & x_1 & x_2 & \end{cases} \quad (15)$$

$$-\lg x_1 = -\frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + a_o + \frac{a_1 y_2 + a_2 x_2}{2x_2} \quad (16)$$

У цьому рівнянні, якби мова йшла тільки про дану бінарну систему, варто було б ввести спрощення, зв'язане з  $x_2 \approx 1$ .

У системі  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3$  замість (10) і (12) будемо мати:

$$\begin{cases} \text{катіони} & H^+ & Ca^{2+} & Al^{3+} & Si^{4+} & Mg^{2+} & Fe^{2+} & Fe^{3+} & Mn^{2+} & Cr^{3+} \\ i & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \text{іонні долі} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 & x_8 & x_9 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{катіони} & F^- & O^{2-} \\ i & 1 & 2 \\ \text{іонні долі} & y_1 & y_2 \end{cases} \quad \xi = \frac{1+y_2}{2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 2x_5 + 2x_6 + 3x_7 + 2x_8 + 3x_9}$$

$$-\lg = -\frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + a_o + \frac{a_1 y_2 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_5 + a_6 x_6 + a_7 x_7 + a_8 x_8 + a_9 x_9}{2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 2x_5 + 2x_6 + 3x_7 + 2x_8 + 3x_9} \quad (24)$$

При необхідності, у принципі, можна врахувати вплив ще яких-небудь компонентів на розчинність водню. Для цього досить у вихідні дані (24) вписати відповідні катіони під номером 10, 11 і т.д. чи дозволять всі зроблені допущення оцінити їхній вплив, чи знадобиться це на практиці – питання інше.

Наявність десяти коефіцієнтів, які підлягають, попередньому визначенню на основі експериментальних

$$\begin{cases} \text{катіони} & H^+ & Ca^{2+} & Al^{3+} & \xi = \frac{1+y_2}{2x_2 + 3x_3} \\ i & 1 & 2 & 3 & \\ \text{іонні долі} & x_1 & x_2 & x_3 & \end{cases} \quad (17)$$

$$-\lg x_1 = -\frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + a_o + \frac{a_1 y_2 + a_2 x_2 + a_3 x_3}{2x_2 + 3x_3} \quad (18)$$

Можливе спрощення, пов'язане з  $x_2 + x_3 \approx 1$  тут не робиться.

У системі  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3 - SiO_2$  замість (13) і (14):

$$\begin{cases} \text{катіони} & H^+ & Ca^{2+} & Al^{3+} & Si^{4+} & \xi = \frac{1+y_2}{2x_2 + 3x_3 + 4x_4} \\ i & 1 & 2 & 3 & 4 & \\ \text{іонні долі} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & \end{cases} \quad (19)$$

$$-\lg x_1 = -\frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + a_o + \frac{a_1 y_2 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4}{2x_2 + 3x_3 + 4x_4} \quad (20)$$

Систему  $CaF_2 - CaO - SiO_2$  зараз варто вже вважати як окремий випадок попередньої більш складної системи. При цьому замість (7) і (9) одержимо, виправлені (19) і (20) для випадку  $x_3 = 0$

$$\begin{cases} \text{катіони} & H^+ & Ca^{2+} & Si^{4+} \\ i & 1 & 2 & 4 \\ \text{іонні долі} & x_1 & x_2 & x_4 \end{cases} \quad (21)$$

$$-\lg x_1 = -\frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + a_o + \frac{a_1 y_2 + a_2 x_2 + a_4 x_4}{2x_2 + 4x_4} \quad (22)$$

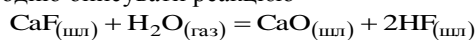
На підставі зіставлення рівнянь (16), (18), (20) для фторидно-оксидної системи  $CaF_2 - CaF - Al_2O_3 - SiO_2 - MgO - FeO - Fe_2O_3 - MnO - Cr_2O_3$ , що включає основні можливі компоненти флюсів, можемо записати наступні вихідні дані й наступне загальне рівняння з коригувальними коефіцієнтами:

(23)

досліджень робить рівняння (24) громіздким, а одержання чисельних значень коефіцієнтів при іонних частках являє собою складне завдання.

Значне полегшення при розрахунках за допомогою рівняння (24) може бути досягнуте в умовах одержання експериментальних даних з рівноважними  $P_{H_2O}$  наближаються до 1 атм, тобто при дослідженні флюсів оптимальних складів.

**Висновки.** Здійснено додаток іонної теорії розчинів з довільним числом катіонів і аніонів до фторидно-оксидних розплавів. Запропоновано процес поглинання водню описувати реакцією



і у зв'язку із цим розглядати оксидно-фторидні розплави як іонні системи, що містять поряд з аніонами  $F^-$  в  $O^{2-}$  і катіонами металів, іон  $H^+$ . При цьому однозначного вибору між схемами  $H^+ + F^- = HF$  й  $H^+ + O^{2-} = OH^-$  не робиться.

Отримано рівняння для розрахунку розчинності водню в розплавах  $CaF_2 - CaO - SiO_2$ ,  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3$  і  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3 - SiO_2$ .

Вони виражають залежність іонної частки іонів  $H^+$  від  $P_{H_2O}$  у рівноважній газовій фазі над розплавами й від складу розплаву. Значення  $P_{H_2O}$  можуть бути взяті із представлених у роботі графіків [1]. Коригувальні коефіцієнти рівнянь повинні визначатися за експериментальними даними про розчинність води в розплавах.

#### ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Брем В.В. Розчинність водню у фторидно-оксидних розплавах: монографія / В.В. Брем, В.Я. Кожухар. – Одеса: Екологія, 2008. – 124 с.  
*Brem V.V. Rozchinnist vodnyu u ftoridno-oksidnih rozplavah: monografiya [The solubility of hydrogen in fluoride-oxide melts: monograph] / V.V. Brem, V. J. Kozhukhar. – Odessa: Ecology, 2008. – 124 p.*
2. Брем В.В. Фізико-хімічні властивості наплавлених флюсів: монографія / В.В. Брем, В.Я. Кожухар, Ю.М. Спугатов. – Одеса: Екологія, 2005. – 108 с.  
*Brem V.V. Fiziko-himichni vlastivosti naplavlenih flyusiv: monografiya [Physico-chemical properties of deposited*
3. Водород в процессах электрошлакового переплава сталей: монографія / [И.А. Новохатский, В.Я. Кожухар, О.Н. Романов, В.В. Брем.] – Одеса: Астропринт, 1997. – 212 с.  
*Vodorod v protsessah elektroshtakovogo pereplava staley: monografiya [Hydrogen in the process of electroslag remelting of steels: monograph] / [I.A. Novohatsky, V.J. Kozhukhar, O.N. Romanov, V.V. Brem.] – Odessa: Astroprint, 1997. – 212 p.*

**Brem V.V., Buga S.P., Dmitrenko I.V.**

#### **Influence of oxides of silicon and aluminum on the solubility of hydrogen fluoride-oxide melts**

**Abstract.** One of the most significant factors that determine the strength of steels, is the content of dissolved hydrogen. Using any method of production of steel, it definitely depends on the permeability of the slag cover, that is, ultimately, on the composition of the gas phase over the system slag – metal. In addition you need to find a correlation between the composition of the fluoride oxide flux and composition of the gas phase. This factor determines the solubility of hydrogen in the melt. The final result should be the obtaining of the equations that would count the solubility of hydrogen in fluoride-oxide melts of given composition. The concentration of dissolved hydrogen in difference from oxide melts should depend not only on the composition of the melt, but also on a relation of equilibrium values of  $P_{H_2O}$  and  $P_{HF}$ . For fluoride-oxide flux of each specified composition corresponds a definite value ratio  $P_{H_2O} : P_{HF}$ . This means that for use the equation combines the concentration of the dissolved hydrogen and concentration of the components of the flux is necessary to have data on equilibrium composition of the gas phase over it. It is necessary to make thermodynamic investigation of the process of the pyrohydrolysis of the fluoride. A general thermodynamic analysis of the possible interactions of the most typical and promising likely components of the fluxes ESR with water vapor at temperatures ranging from 1400 to 1800 °C was made. This allowed to determine the most likely thermodynamic reactions. This was the reaction of the pyrohydrolysis of the calcium fluoride and more over were determined equilibrium reactions that affect on the slagging of oxide calcium oxides of silicon and aluminium. Dependences of equilibrium compositions of gas phase ( $H_2O + HF$ ) from the concentration of calcium oxide were built for two series of compounds with permanent contents of  $SiO_2$  and  $Al_2O_3$ . On the basis of consideration of these diagrams were defined the compositions fluxes [1], that provide the lowest equilibrium concentrations of hydrogen fluoride in the gas phase over the melt. Under the assumption that a shift in the equilibrium reactions of dissolution of hydrogen to the right will be smaller at lower equilibrium values of  $P_{HF}$ , certain formulations of fluxes classified as optimum from the point of view of preventing their наводорожености. The process of hydrogen absorption is described by reaction  $CaF_{(шл)} + H_2O_{(газ)} = CaO_{(шл)} + 2HF_{(шл)}$  and in this regard, to consider fluoride-oxide melts like ion systems that contain with the anions  $F^-$  in  $O^{2-}$  and cations in metals, ion  $H^+$ . The unambiguous choice between schemas  $H^+ + F^- = HF$  and  $H^+ + O^{2-} = OH^-$  is not done. To find the content of dissolved hydrogen in the fluoride-oxide melts you can apply the theory of ionic solutions with arbitrary number of cations and anions in its upgraded version [1]. Hydroxyl form of the existence of hydrogen in such slags can be represented as a system with three types of anions:  $F^-$ ,  $O^{2-}$  and  $OH^-$  unlike oxide melts where there is a system with two types of anions:  $O^{2-}$  and  $OH^-$ . Obtained equations for the calculation of solubility of hydrogen in the melts  $CaF_2 - CaO - SiO_2$ ,  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3$  and  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3 - SiO_2$ . They express the dependence of the ion share of ions  $H^+$  from  $P_{H_2O}$  in the equilibrium gas phase over the melts from composition of the melt. Values  $P_{H_2O}$  can be taken from the presented in the work [1] graphs. Corrective coefficients of the equations must be determined from the experimental data on the water solubility in the melts.

**Keywords:** hydrogen, flux, melt, solubility, gas phase, composition.

**Брем В.В., Буга С.П., Дмитренко И.В.**

#### **Влияние оксидов кремния и алюминия на растворимость водорода в фторидно-оксидных расплавах**

**Аннотация.** Одним из наиболее существенных факторов, которые определяют прочность сталей, является содержание в них растворенного водорода. При любом методе получения стали, прочность однозначно зависит от газопроницаемости шлакового покрова, то есть в конечном итоге от состава газовой фазы над системой шлак – металл. Кроме этого необходимо отыскать зависимость между составом фторидно-оксидного флюса и составом газовой фазы. Этим составом определяется

растворимость водорода в расплаве, а также можно составить соответствующие диаграммы. Конечным результатом должно быть получение уравнений, которые позволяли бы рассчитывать растворимость водорода в фторидно-оксидных расплавах заданного состава. Концентрация растворенного водорода в отличие от окисных расплавов должна зависеть уже не только от состава расплава, но и от соотношения равновесных значений  $P_{H_2O}$  и  $P_{HF}$ . Для фторидно-оксидного флюса каждого заданного состава соответствует вполне определенная величина соотношения  $P_{H_2O} : P_{HF}$ . Это означает, что для использования уравнения, которое объединяет концентрацию растворенного водорода и концентрации компонентов флюса необходимо еще иметь данные о равновесном составе газовой фазы над ним. То есть необходимо термодинамическое исследование процесса пирогидролитического фторидов. Проведен общий термодинамический анализ возможных взаимодействий наиболее типичных и перспективно вероятных компонентов флюсов ЭШП с парами воды в интервале температур от 1400 до 1800 °С. Это позволило определить термодинамические наиболее вероятные реакции. Такой оказалась реакция пирогидролитического кальция и более того определены равновесие реакции, которые влияют на ошлакования оксида кальция оксидами кремния и алюминия. Зависимости равновесных составов газовой фазы ( $H_2O + HF$ ) от концентрации оксида кальция были построены для двух серий составов с постоянными содержаниями  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$ . На основании рассмотрения этих диаграмм определены составы флюсов [1], что обеспечивают наименьшие равновесные концентрации фтористого водорода в газовой фазе над расплавом. В предположении того, что сдвиг равновесия реакции растворения водорода вправо будет меньшим при меньших равновесных значениях  $P_{HF}$ , определенные составы флюсов отнесены к оптимальным с точки зрения предотвращения их наводороженности. Предложен процесс поглощения водорода описывать реакцией  $CaF_{(шл)} + H_2O_{(газ)} = CaO_{(шл)} + 2HF_{(шл)}$  и в связи с этим рассматривать фторидно-оксидные расплавы как ионные системы, которые содержат рядом с анионами  $F^-$  в  $O^{2-}$  и катионами металлов, ион  $H^+$ . При этом однозначного выбора между схемами  $H^+ + F^- = HF$  и  $H^+ + O^{2-} = OH^-$  не делается. Для нахождения содержания растворенного водорода в фторидно-оксидных расплавах можно применить теорию ионных растворов с произвольным числом катионов и анионов в ее уточненном варианте [1]. Гидроксильную форму существования водорода в таких шлаках можно представить как систему с тремя типами анионов:  $F^-$ ,  $O^{2-}$  и  $OH^-$  в отличие от окисных расплавов где существует система с двумя типами анионов:  $O^{2-}$  и  $OH^-$ . Получены уравнения для расчетов растворимости водорода в расплавах  $CaF_2 - CaO - SiO_2$ ,  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3$  и  $CaF_2 - CaO - Al_2O_3 - SiO_2$ . Они выражают зависимость ионной доли ионов  $H^+$  от  $P_{H_2O}$  в равновесной газовой фазе над расплавами и от состава расплава. Значения  $P_{H_2O}$  могут быть взяты из представленных в работе [1] графиков. Корректирующие коэффициенты уравнений должны определяться по экспериментальным данным о растворимости воды в расплавах.

**Ключевые слова:** водород, флюс, расплав, растворимость, газовая фаза, состав.

## ECOLOGY

Varyvoda Ye.A.

### Strengthening emergencies governance system through environmental assessment implementation (case study of Ukraine)

Varyvoda Yevgeniya Aleksandrovna, candidate of geographic sciences, associate professor, Department of occupational safety and environmental protection National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkov, Ukraine

**Abstract.** The legislative background and methodological approaches for ecological safety provision with application of environmental assessment procedure in the field of governance of emergencies are studied. The directions related to the efficiency increasing of environmental assessment implementation to the mechanism of state governance in civil protection are determined.

**Keywords:** environmental assessment, emergencies, ecological safety, state governance, civil protection.

**Introduction.** Character of the newest challenges and threats to the safety of the environment associated with the synergistic effects of natural, technological and environmental emergencies (EE); by the increase of probability of origin of one type of dangers, that stipulates the acceleration of display other; by the far of sources of technogenic risk. The issue of preventing and mitigating the environmental impacts of emergencies still exists in connection not only with increasing their number, but also increase the extent of destruction of natural geosystems, transboundary nature of the impact, increasing social and economic losses. In practice, the main reasons for 67% of man-made emergencies, registered in database systems, reporting on major accidents (Major Accidents Reporting System – MARS) were low productive inefficiency and safety management systems, environmental security [6].

Numerous emergencies, that inflict all greater harm to the environment through the catastrophic aging of capital assets and sickly development of the systems of reacting, defense and warning of natural and technogenic emergencies [16]. Also the extent of the consequences of the negative impact of emergencies on the ecological state of environmental components proves extremely inefficient use of preventive measures. Therefore, at present, there is a problem improving the management mechanism of ecological security in emergency situations, which requires the state to implement a unified system of continuous integration of environmental factors in the prevention and elimination of emergency situations.

Basic principles for solving environmental problems in emergency situations at the international level were identified Stockholm Declaration of the year 1972 [2]. Provided for therein principles for determining and prevention of damage to the environment, a mutual not causing environmental damage have been further developed and confirmed in the international legal practice with regard to environmental protection.

At present, it is necessary to elect among modern arsenal of scientific and practical tools to ensure environmental safety of that activity to assess compliance with environmental requirements at a particular stage of its implementation, starting from the stage of prevention of emergency situations and finishing the elimination phase of its direct and adverse effects. As such a tool may be the environmental assessment (EA), which is defined as a process

of systematic analysis and evaluation of environmental impacts of the planned activities, stakeholder consultation and consideration of the results of this analysis and advice in the planning, design, approval and implementation of this activity [17]. The analogue of the international system of environmental assessment in the Ukraine is a strategic environmental assessment, ecological expertise and evaluation of environmental impact (OVOS). These procedures aimed at preventing negative consequences for the environment and to establish whether planned or ongoing activities and norms of legislation on environmental protection, rational use and reproduction of natural resources and environmental safety.

The relevance of the research question of the place of environmental assessment procedures in the system of state emergency management is not only of scientific interest but also of practical importance. Since the Ukraine gained huge positive experience of environmental assessment, evaluation of environmental impact on activities that are highly hazardous, but the practice of these procedures in the field of prevention and liquidation of emergency situations is limited.

**Recent research and publications analysis.** The scientific and theoretical background of the article is based on scientific papers by B. Danylyshin, S. Doroguntsov, O. Ralychuk, G. Rudko, A. Fedorishcheva, Ye. Khlobystov, V. Shevchuk devoted to the questions of legal, policy and institutional framework of ecological safety provision.

Elaboration of theoretical basis of environmental policy-making process for ecological safety insurance in accordance to sustainable development goals is studied in scientific works by V. Andreytsev, N. Andrusevich, G. Baluk, A. Hetman, N. Kobetska, V. Lozanskiy, Y. Shemshuchenko, M. Shulga. Methodological and practical aspects of environmental assessment process are examined in researches by I. Abramov, Y. Adamenko, A. Chadwick, A. Cherp, J. Glasson, N. Lee, B. Sadler, R. Therivel and others.

Despite the importance of the research and their significant contribution to the solution of environmental, economic and legal aspects of the regulation of emergencies, today is the issue of underdeveloped legal and scientific methodology for assessment of environmental impacts at different stages of the life cycle of an emergency.

**Paper objective.** The aim of the paper is to provide an overview of the existing regulatory and methodological arrangements for environmental assessment implementation in the field of state governance of civil protection.

**Materials and methods.** This article looks at the legal, regulatory and methodological framework developed for environmental assessment implementation for prevention and mitigation of environmental impact of emergencies. It concentrates on determining of the existing prerequisites for strengthening of the state governance system of emergencies by means of EA. The laws, regulations and environmental assessment procedures were reviewed along with the actual practice in applying of these. Also proposed changes in the above were also considered.

#### **Results and discussion.**

Today in the Ukraine developed a conceptual approach and active legislative process in preventive detection of environmental hazards, assessing potential risks and mitigate the destructive impact on prevention and response results emergencies. In order to prevent emergencies during the year 2012 implemented measures to improve the regulatory support of central and local executive bodies, covering all areas of activity to ensure safe human existence. On the one hand this is due to the integration of independent Ukraine in the European community, and on the other – using the development of the Ukrainian scientists in the assessment of anthropogenic impact on the environment [1; 15].

However, the current system of governance in the field of civil protection has certain problems associated with the place and role of environmental regulations and/or regulatory acts in the legal system for emergency situations, weak interagency integration authorities to ensure the implementation of state policy in the field of technogenic and ecological safety; limited conditions for practical implementation of the activities of analysis, evaluation and prediction of environmental impacts of emergencies, the weakness of the existing economic incentives measures to prevent environmental impacts and to eliminate the onset emergencies, the imperfection of the legal principles of management and control for ensuring environmental safety in the prevention of emergency situations.

To date, the provisions of the regulation on the implementation of environmental assessment procedures in the field of prevention and emergency response by using different hierarchy, form, manner and subject to regulation, sectoral focus of legislative and normative legal acts.

The provisions relating to the general principles, state regulation, conditions, organization, powers and procedure in the field of environmental assessment application including emergencies' prevention and liquidation of consequences are determined in the Constitution of Ukraine, the Code of civil protection of Ukraine, the Laws of Ukraine "On protecting the natural environment", "On ecological expertise", "On the fundamental principles (strategy) of Ukraine's state environmental policy for the period until 2020", "On the objects of increased dangerous", "On zone of environmental emergency situation", "On regulation of city-planning Activity" [4-5; 8-13].

Examination of the mentioned above legal acts allow to conclude that despite of wide legal regulations for environmental assessment there are some crucial gaps in the

field of its implementation in the practice of prevention and liquidation of emergencies' consequences. It is necessary to undertake particular measures for laws' enforcement assisting e.g. studying, analysis and generalization of international and national practice of application of the provisions of the legislation on environmental assessment to the emergencies governance; scientific justification, elaboration and acceptance of the unified guidelines for environmental assessment following emergencies; elaboration and validation of conforming regulations providing cross-cutting integration of environmental assessment to the field of emergencies' governance; establishment of the complex of administrative, regulatory, organizational procuring for promotion of environmental assessment application as an emergency assessment tool to enable competent authorities prevent the actual or potential adverse environmental impact.

So, to the present there isn't necessity to form a new branch of law concerning to environmental assessment since legal norms of EA adequately and comprehensively represented in environmental legislation and are dominant in the field of ecological safety of environment. But state mechanism of its implementation for prevention and elimination of emergencies consequences need to be enhanced and environmental assessment certainly has a crucial role in sustainable development policy corresponding to the internationally recognized standards of ecological safety.

Existing research and practice approaches to assessing the impact on the environment (strategic environmental assessment, ecological expertise, assessment of environmental impact) based on the ideology of prevention of negative impact on the stage of planning and design business. They act as a preventive consideration of environmental factors and prevention of potential environmental impacts of planned or ongoing activities in the absence of threats caused normal functioning of natural and man-made ecosystems. Today in the Ukraine there is no normative document regulating the procedure for the assessment of environmental impacts on emergency. However, each of the above approaches can be implemented in various stages of regulation emergencies. Consider introducing prerequisites for the strategic environmental assessment, evaluation of environmental impact and ecological expertise as a tool integrating environmental factors emergencies.

The key idea of the strategic environmental assessment (SEA) is to assess the potential negative technogenic environmental consequences of planned actions within a certain strategic documents (laws, policies, plans, programs) in order to prevent environmental degradation.

At the regulatory level, strategic environmental assessment procedure is governed by the Protocol on strategic environmental assessment [14], developed in the framework of the provisions of the «Convention on the assessment of the environmental impact in a transboundary context», which is a testament to the direction of strategic environmental assessment to address environmental issues at the international level.

Based on the research topic, the scope of the strategic environmental assessment subject, such as the "State Environmental Program in the emergency response to the military unit A0829 (Lozovaja town of the Kharkov region) in the years 2011-2013" [3], but unfortunately



methodology for strategic environmental assessment has not been implemented for of the state program.

To enable effective use of strategic environmental assessment methodology at the level of strategic actions for the Prevention of adverse effects of emergencies on the environment recommended further detailed development of scientific and practical foundations of national strategic environmental assessment methodology, analysis of international practice implementing strategic environmental assessment in the regulatory system emergencies, testing existing approaches to strategic environmental assessment in the management of technological-ecological safety in specific case studies.

Potential of estimation of influence is on an environment (OVOS) in the Ukraine is the maximum possible capacity of environmental protection and environmental concerns in the implementation of design solutions, which certainly is very important to comply with man-made environmental safety. The content, principles and procedures for assessing the impact on the environment are regulated by state regulatory document DBN A.2.2.-1-2003 «Structure and Content of assessment of the impacts on the environment (OVOS) in the design and construction of enterprises, buildings and structures» [7].

In the absence of a separate regulatory document on the development of impact assessment of environmental emergencies practice this type of activity, despite its urgent need, is very limited. Therefore, an important task is the development of the instrument and guidelines on the composition and content of the impacts of emergencies on the environment, taking into account the different stages of the life cycle of an emergency.

Appropriate guidelines should include: purpose, objectives, procedure implementation and training materials, a framework for the initial data required for impact assessment of environmental emergencies, taking into account the issue of public interest in carrying out this procedure, the issue of transboundary impacts of emergencies, general methodological principles of the reporting materials and so on.

For example, to assess the environmental impact at the stage of emergency response should be the assessment of acceptability and feasibility in terms of environmental safety package of measures, which include search and rescue and other urgent works carried out in the event of emergency situations of technogenic and natural character, and aimed at the termination of the hazards on the environment, saving lives and health of people, as well as location of the zones of emergency situations of technogenic and natural character. But the question remains open how to correctly assess the potential and real impact on the environment at the onset and implementation stages of the emergency.

One of the key tools to maintain the ecological security in terms of activities to prevent and eliminate the negative effects of the emergencies are environmental expertise, which is defined as a form of research and practice-based intersectoral ecological research, analysis and evaluation of the preparatory projects, projects and other materials or objects, implementation and which may have an adverse effect or impact on the environment, and aims to prepare Statement of planned or ongoing activities and norms of legislation on environmental protection, rational use and

reproduction of natural resources and environmental safety.

According to the Law of the Ukraine «On ecological expertise» [8] objects of ecological expertise are draft laws and other legal acts, records from the introduction of new technology, techniques, materials, substances, products, genetically modified organisms that might lead to a breach of environmental regulations negative impact on the environment.

Environmental impact assessment may be subject to environmental situations that have developed in some areas and regions, as well as existing facilities and systems that have a significant negative impact on the environment. Thus, in terms of current legislation, namely environmental impact assessment procedure should assess impacts of emergencies on the environment.

Today in the Ukraine there is a legal and regulatory framework and specific methodology for environmental impact assessment technogenic emergency situations, but the practice of this type of activity is very limited. This is largely due to the fact that the Ukrainian system of environmental assessment is almost no differentiated approach to objects of different complexity and different scales of environmental impact. List of objects rather significant environmental impact assessment is quite impressive and includes a variety of projects – from project plans, programs and projects to the laws of any planned economic activity, environmental situations, a priori creates methodological problems for the implementation of quality procedures for environmental impact assessment.

The real potential of these procedures is the ability to provide the highest possible environmental, environmental interests in the implementation of design solutions, which certainly is important to comply with the requirements and standards of technogenic and ecological security. However, the greatest efficiency of their application will be exactly at the design stage, so there is a need to develop its own methodology for rapid environmental assessment, taking into account the phase of emergencies, especially the national system of control in emergency situations, the specificity of the rescue operations, the existing legal background.

**Conclusions of the research.** Based on the above material in the Ukraine there is regulatory and a methodological ground that legislatively determines the need for impact assessment procedure emergencies on the environment. But despite the legally established and practical evidence of the necessity of this type of activity, there was no single methodological approach to preventing and mitigating the environmental impacts of the emergency. As a result, there are significant differences in the manner of the analysis and identification of potential sources of environmental hazards in case of emergencies, in identifying the potential hazardous effects and areas of impact on the environment, modeling and scale of negative impacts, forecast changes in the environment according to the list of identified impacts, risk of cumulative environmental damage, the development and adoption of legal acts and administrative decisions on measures to ensure the prevention or restriction of hazardous actions needed to comply with environmental safety. This significantly reduces the effectiveness of combating environmental emergency situations and the negative impact on the pro-

tection of population and territories from emergency situations.

The challenge is to create a single regulatory document, such as, “Assessment of impacts of emergencies on the environment”, which will be the basis for the implementation of practices to prevent and eliminate violations of the elements of the environment for the onset emergencies.

Analyzing the difficulties that hinder the implementation of the task are the following: limited environmental priorities in the practice of emergency situations, the complexity of relationships and poor predictability in terms of adverse events in the system “nature – society – technosphere”, limited comprehensive research on impacts of environmental emergencies, limited proper coordination and coherence between institutional agencies responsible for the safety of the environment, the lack of uniform definitions and standardized methods of environmental components due to pollution emergencies, lack of uniform criteria for assessing the state of the environment before the emergency situations, during and after emergencies. But there are certain achievements, which include: the availability of legal acts that at the legislative level determine the need for methodological apparatus of

the impacts of emergencies, experience of practical implementation evaluation of environmental impact and environmental assessment of high-risk and potentially dangerous objects, active target international support activities to prevent environmental impacts of emergencies.

After analyzing the achievements and challenges facing towards environmental safety, outline the range of issues that require further action – is the improvement of the legal framework of cooperation and responsibility in implementing environmental assessment emergencies between key institutions concerned, the development and approval of the methodological apparatus implementation of the impacts of emergencies on the environment, study best practices and case studies handed kind of research and practical activities, enhanced international cooperation, increase the range of research in the field of the impacts of emergencies on the environment and others.

A number of outstanding issues on the assessment and restoration of environmental quality components that occur before, during and after emergency situations require the introduction of a clear mechanism for state governance of the environmental safety of the system of civil protection.

#### REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Адаменко Я.О. Оценка воздействий техногенно опасных объектов на окружающую среду: научно-теоретические основы, практическая реализация : автореф. дис. на соискание уч. степени доктора техн. наук : спец. 21.06.01 “Экологическая безопасность” / Я.О. Адаменко. – Ивано-Франковск, 2006. – 35 с.  
*Adamenko Ya.O. Otsenka vozdeystviy tekhnogenno opasnykh obyektov na okruzhayushchuyu sredu: nauchno-teoreticheskiye osnovy, prakticheskaya realizatsiya [Assessment of environmental impact of man-made hazard objects: scientific and theoretical fundamentals, practical realization] : avtoref. dis. na soiskaniye uch. stepeni doktora tekhn. nauk : spets. 21.06.01 “Ekologicheskaya bezopasnost” / Ya.O. Adamenko. – Ivano-Frankovsk, 2006. – 35 s.*
2. Андруевич А. Справочник действующих международных договоров Украины в сфере охраны окружающей среды / А. Андруевич, Н. Андруевич, З. Козак. – Львов, 2009. – 203 с.  
*Andrusevich A. Spravochnik deystvuyushchikh mezhdunarodnykh dogovorov Ukrainy v sfere okhrany okruzhayushchey sredy [Reference book of the acting international agreements of Ukraine in the field of environmental protection] / A. Andrusevich, N. Andrusevich, Z. Kozak. – Lvov, 2009. – 203 s.*
3. Государственная целевая экологическая программа ликвидации последствий чрезвычайной ситуации на территории военной части А0829 (г. Лозовая Харьковской области) на 2011-2013 года [Электронный ресурс] : постановление Кабинета Министров Украины от 9 марта 2011 г. № 237. – Режим доступа: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/237-2011>  
*Gosudarstvennaya tselevaya ekologicheskaya programma likvidatsii posledstviy chrezvychaynoy situatsii na territorii voyennoy chasti A0829 (g. Lozovaya Kharykovskoy oblasti) na 2011-2013 goda [State Environmental Program in the emergency response to the military unit A0829 (Lozovaya town of the Kharkov region) in the years 2011-2013] : postanovleniye Kabineta Ministrov Ukrainy ot 9 marta 2011 g. № 237. – Rezhim dostupa: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/237-2011>*
4. Кодекс гражданской защиты Украины : кодекс Украины от 2 октября 2012 года № 5403 – VI // Ведомости Верховной Рады Украины. – 2013. – № 34-35. – Ст. 458.  
*Kodeks grazhdanskoj zashchity Ukrainy [The Code of civil protection of Ukraine] : kodeks Ukrainy ot 2 oktyabrya 2012 goda № 5403 – VI // Vedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 2013. – № 34-35. – St. 458.*
5. Конституция Украины : закон Украины от 28 июня 1996 № 254к/96 – ВР // Ведомости Верховной Рады Украины. – 1996. – № 30. – Ст. 141.  
*Konstitutsiya Ukrainy [the Constitution of Ukraine]: zakon Ukrainy ot 28 iyunya 1996 № 254k/96 – VR // Vedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 1996. – № 30. – St. 141.*
6. Menshikov V.A. Global Aerospace Monitoring and Disaster Management / V.A. Menshikov, A.N. Perminov, Y.M. Urlichich. – Vienna; New York : SpringerWienNew York, 2012. – 328 p.  
*Menshikov V.A. Global Aerospace Monitoring and Disaster Management / V.A. Menshikov, A.N. Perminov, Y.M. Urlichich. – Vienna; New York : SpringerWienNew York, 2012. – 328 p.*
7. Относительно утверждения ГСН А. 2.2.-1-2003 “Состав и содержание материалов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании и строительстве предприятий, зданий и сооружений. Основные положения проектирования” : приказ Госкома по строительству и архитектуре от 15.12.2003 г. № 214 // Информ. Бюл. Госстроя. – 2003. – № 12. – С. 17-25.  
*Otmositelno utverzhdeniya GSN A. 2.2.-1-2003 “Sostav i sodержание materialov otsenki vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu (OVOS) pri proyektirovaniy i stroitelystve predpriyatiy, zdaniy i sooruzheniy. Osnovnyye polozheniya proyektirovaniya” [Concerning to confirmation of Structure and Content of assessment of impacts on the environment in the design and construction of enterprises, buildings and structures”]: prikaz Goskoma po stroitelystvu i arkhitekture ot 15.12.2003 g. № 214 // Inform. Byul. Gosstroya. – 2003. – № 12. – S. 17-25.*
8. Об экологической экспертизе : закон Украины от 9 февраля 1995 № 45/95 – ВР // Ведомости Верховной Рады Украины. – 1995. – № 8. – Ст. 55.

- Ob ekologicheskoy ekspertize [On ecological expertise]: zakon Ukrainy ot 9 fevralya 1995 № 45/95 – VR // Vedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 1995. – № 8. – St. 55.*
9. Про зону чрезвычайной экологической ситуации : закон Украины от 13 июля 2000 года № 1908 – III // Вedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 2000. – № 42. – Ст. 348.
- Pro zonu chrezvychnoy ekologicheskoy situatsii [On zone of environmental emergency situation] : zakon Ukrainy ot 13 iyulya 2000 goda № 1908 – III // Vedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 2000. – № 42. – St. 348.*
10. Про объекты повышенной опасности : закон Украины от 18 января 2001 года № 2245 – III // Вedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 2001. – № 15. – Ст. 73.
- Pro obyektu povyshennoy opasnosti [On the objects of increased dangerous] : zakon Ukrainy ot 18 yanvarya 2001 goda № 2245 – III // Vedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 2001. – № 15. – St. 73.*
11. Про фундаментальные основы (стратегию) государственной экологической политики Украины на период до 2020 года : закон Украины от 21 декабря 2010 года № 2818-IV // Вedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 2011. – № 26. – Ст. 218.
- Pro fundamentalnyne osnovy (strategiyu) gosudarstvennoy ekologicheskoy politiki Ukrainy na period do 2020 goda [On the fundamental principles (strategy) of Ukraine's state environmental policy for the period until 2020]: zakon Ukrainy ot 21 dekabrya 2010 goda № 2818-IV // Vedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 2011. – № 26. – St. 218.*
12. Про охрану окружающей природной среды : закон Украины от 25 июня 1991 года № 1264 – XII // Вedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 1991. – № 41. – Ст. 546.
- Pro okhranu okruzhayushchey prirodnoy sredy [On protecting the natural environment] : zakon Ukrainy ot 25 iyunya 1991 goda № 1264 – XII // Vedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 1991. – № 41. – St. 546.*
13. Про регулирование градостроительной деятельности : закон Украины от 17 февраля 2011 года № 3038 – VI // Вedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 2011. – № 34. – Ст. 343.
- Pro regulirovaniye gradostroitel'noy deyatelnosti [On regulation of city-planning activity]: zakon Ukrainy ot 17 fevralya 2011 goda № 3038 – VI // Vedomosti Verkhovnoy Rady Ukrainy. – 2011. – № 34. – St. 343.*
14. Протокол по стратегической экологической оценке к Конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте : ЕСЕ/МР.ЕІА /2003/3/ ООН. – Офиц. изд. – Нью-Йорк, Женева : ООН изд-во, 2003. – 48 с.
- Protokol po strategicheskoy ekologicheskoy otsenke k Konventsii ob otsenke vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredyu v transgranichnom kontekste [Protocol on strategic environmental assessment to Convention of environmental impact assessment in transboundary context]: ECE/MP.EIA /2003/3/OON. – Ofits. izd. – New-York, Zheneva : OON izd-vo, 2003. – 48 s.*
15. Солуха Б.В. Оценка воздействия объектов строительства на окружающую среду согласно ДБН А.2.2.-1-95 / Б.В. Солуха. – К. : Знання, 2000. – 112 с.
- Solukha B.V. Otsenka vozdeystviya obyektov stroitelstva na okruzhayushchuyu sredyu sogsasno DBN A.2.2.-1-95 [Assessment of environmental impact of constructions according to DBN A.2.2.-1-95] / B.V. Solukha. – K. : Znannya, 2000. – 112 s.*
16. Хлобыстов Е.В. Методические подходы к оценке последствий чрезвычайных ситуаций : сравнительный анализ украинской и международной практик / Е.В. Хлобыстов, Л.В. Жарова, С.М. Волошин // Механизм регулирования экономики. – 2009. – № 4, Т. 1. – С. 24-33.
- Khlobystov Ye.V. Metodicheskiye podkhody k otsenke posledstviy chrezvychnykh situatsiy : sravnitel'nyy analiz ukrainskoy i mezhdunarodnoy praktik [Methodological approaches to emergencies' consequences assessment: comparative analysis of Ukrainian and international practice]/ Ye.V. Khlobystov, L.V. Zharova, S.M. Voloshin // Mekhanizm regulirovaniya ekonomiki. – 2009. – № 4, T. 1. – S. 24-33.*
17. Экологическая оценка и экологическая экспертиза / [О.М. Черп, В.Н. Винниченко, М.В. Хотулева и др.]; под ред. О.М. Черпа. – М. : Соц.-эколог. союз, 2001. – 312 с.
- Ekologicheskaya otsenka i ekologicheskaya ekspertiza [Environmental assessment and ecological expertise] / [O.M. Cherp, V.N. Vinnichenko, M.V. Khotuleva i dr.] ; pod red. O.M. Cherpa. – M. : Sots.-ekolog. soyuz, 2001. – 312 s.*

#### **Варивода Е.А. Усовершенствование системы управления чрезвычайными ситуациями посредством применения экологической оценки (ситуативный пример Украины)**

**Аннотация.** В статье рассмотрены нормативно-правовые и методологические предпосылки применения экологической оценки для усовершенствования государственной системы управления чрезвычайными ситуациями (ЧС). В Украине на законодательном уровне определена необходимость имплементации экологической оценки в сфере предупреждения и ликвидации последствий ЧС, однако практика данного вида деятельности ограничена. Существующие методологические подходы экологической оценки (стратегическая экологическая оценка (СЭО), оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), экологическая экспертиза) выполняют функцию превентивного учета экологических факторов и предупреждения возможных экологических последствий запланированной или осуществляемой деятельности при условии отсутствия угроз нарушения нормального функционирования природных и антропогенных экосистем. Вследствие отсутствия единого межведомственного нормативного документа, регламентирующего проведение экологической оценки в сфере регулирования чрезвычайных ситуаций – СЭО, ОВОС и экологическая экспертиза могут применяться на различных этапах жизненного цикла ЧС. К вопросам, которые требуют дальнейшего решения, относится – усовершенствование нормативно-правовой базы в области реализации экологической оценки ЧС; разработка и согласование методологического аппарата оценки воздействия ЧС на окружающую среду; изучение передового международного опыта и ситуативных примеров касемо данного вида научно-практической деятельности; активизация международного сотрудничества в области предупреждения и минимизации трансграничных воздействий ЧС; увеличение спектра научных исследований и др. Существующий механизм государственного управления в области гражданской защиты требует усовершенствования путем преобразования экологической оценки в действенный инструмент политики устойчивого развития, отвечающий международным стандартам экологической безопасности.

**Ключевые слова:** экологическая оценка, чрезвычайные ситуации, экологическая безопасность, государственное управление.

Ковалёв А.А., Варивода А.В.

## Исследование миграции тяжёлых и редких металлов из золошлаковых отвалов тепловых электростанций

Ковалев Александр Александрович, преподаватель  
 Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, Украина  
 Варивода Алексей Витальевич, директор  
 ООО Межрегиональный центр нефтегазовых технологий, г. Харьков, Украина

**Аннотация.** Статья посвящена решению проблемы повышения экологической безопасности в районах размещения золоотвалов тепловых электростанций, путём изучения миграции соединений тяжелых металлов из объёма золошлаковых отвалов тепловых электростанций в прилегающие почвы. Для этого были выполнены анализы образцов золошлака и почвы вблизи золошлаковых отвалов Змиевской и Запорожской тепловых электростанций. На основе полученных данных сделана оценка и установлена закономерность миграции соединений тяжелых металлов из тела золоотвала в прилегающие грунты, согласно которой снижение концентрации тяжёлых металлов происходит обратнопропорционально расстоянию от источника загрязнения и прямопропорционально их исходной концентрации. Установленная закономерность распределения концентраций тяжелых металлов в почвах позволит разработать современные, эффективные методы экологически безопасной эксплуатации золошлаковых отвалов тепловых электростанций.

**Ключевые слова:** золоотвал, миграция, тяжёлые и редкие металлы, закономерность.

К настоящему времени в отвалах тепловых электростанций (ТЭС) Украины накоплено 358,8 млн т золошлаковых отходов (ЗШО) на общей площади более 3170 га. Среднегодовой выход ЗШО достиг 14 млн т и в связи с ухудшением качества топлива имеет тенденцию к росту. Это создает технологические и экологические проблемы: увеличиваются производственные затраты и стоимость природоохранных мероприятий на ТЭС [1-2].

Состав и строение ЗШО определяются рядом факторов, важнейшими среди которых являются: условия образования (добыча и обогащение угля, сжигание угля и т.д.); состав сырьевого месторождения; физико-химические процессы климатического воздействия на отвалы.

ЗШО интенсивно окисляются, выщелачиваются и разрушаются, что приводит к изменению их минералогического и вещественного составов, выносу соединений тяжёлых и редких металлов (ТМ) и образованию ореолов рассеяния вокруг отвалов [3]. В приповерхностной зоне отвалов ЗШО под воздействием атмосферного кислорода, осадков, фильтрационных полей и др. факторов происходит интенсивное растворение и миграция ионов ТМ. При этом могут образовываться обедненные и обогащенные металлами участки с восстановленными и окисленными формами их нахождения.

Разработка современных эффективных методов экологически безопасной эксплуатации золошлаковых отвалов не возможна без изучения состава и путей миграции в почве присутствующих в них микропримесей, представляющих собой, в основном, растворимые соединения ТМ.

Для изучения миграции тяжелых металлов из шламоотвалов Змиевской и Запорожской ТЭС в почвенную среду были проведены анализы образцов золошлака и прилегающих почв. Пробы ЗШО двух участков отвала отбирали на расстоянии 100 м от границы к его середине. Также проводился отбор проб почвы на расстоянии 0,5, 1, 3, 5, 10, 20 и 30 м от внешней границы отвала. Анализ миграции тяжелых металлов проводили путём сопоставления их содержания в золошлаках и в почве возле отвалов, сравни-

вая полученные данные с фоновыми. Фоновые значения концентраций тяжёлых металлов определялись путем отбора и анализа проб почвы через определенное расстояние от отвала (до 50 м) до установления постоянного значения их концентрации (рис. 1, таблица 1).

Анализ показал, что для исследуемых золоотвалов фоновая концентрация тяжелых металлов в почве устанавливается на расстоянии 20 м от отвала. Некоторое отличие содержания ТМ в пробах обусловлено изменением качества сжигаемых углей и перераспределением ЗШО при гидровыносе, что было нами учтено при проведении исследований.

Рассчитанные коэффициенты контрастности ( $K$ ) иллюстрируют превышение содержания ТМ в почве, прилегающей к шламоотвалам, в десятки раз по сравнению с фоновыми значениями. Коэффициенты контрастности в анализируемых пробах варьируют от 1,2 (Pb в пробах участка 1) до 73,6 (V в пробах участка 1). Среди ТМ самые высокие значения  $K$  отмечены для ванадия – в шламоотвале Запорожской ТЭС – 45,0 – 73,6, в шламоотвале Змиевской ТЭС – 15,5 – 39,5. Для Ni значения  $K$  находятся в пределах 5,4 – 14,2.

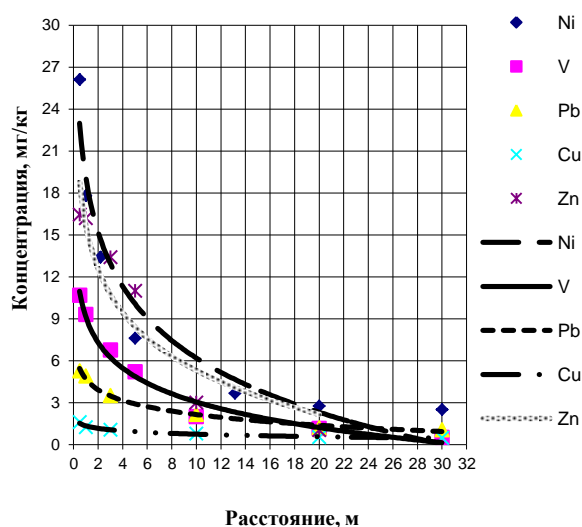


Рис. 1. Изменение содержание соединений тяжелых металлов в образцах почвы при удалении от шламоотвала

Таблица 1.

**Химический анализ проб ЗПО и почв, мг/кг**

Объект исследования	pH	Cu	Zn	Pb	V	Ni	$\sum \frac{C_i}{ПДК_i}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Шламоотвал Запорожской ТЭС							
<b>Среднее значение проб участка 1</b>							
Почва, примыкающая к участку 1 отвала, $C_n$	8,2	0,8	25,2	1,3	8,1	17,7	
Фоновые значения проб участка 1, $C_\phi$	6,4	0,5	5,6	1,04	0,11	1,9	
Коэффициент контрастности проб участка 1, $K$ ( $C_n/C_\phi$ )	1,28	1,6	4,5	1,2	73,6	9,2	
ПДК мг/кг		3,0	23,0	20,0	6,0	4,0	
$C_n/ПДК_i$		0,3	1,1	0,1	1,3	4,4	7,2
<b>Среднее значение проб участка 2</b>							
Почва, примыкающая участку 2 отвала, $C_n$	7,6	7,2	25,8	15,8	6,3	14,0	
Фоновые значения проб участка 2, $C_\phi$	6,4	0,5	6,14	3,0	0,14	1,4	
Коэффициент контрастности проб участка 2, $K$ ( $C_n/C_\phi$ )	1,2	14,1	4,2	5,2	45,0	9,8	
ПДК мг/кг		3,0	23,0	20,0	6,0	4,0	
$C_n/ПДК_i$		2,4	1,1	0,8	1,05	3,5	8,9
Шламоотвал Змиевской ТЭС							
<b>Среднее значение проб участка 1</b>							
Почва, примыкающая к участку 1 отвала, $C_n$	9,5		2,6	6,2	31,6	1,0	
Фоновые значения проб участка 1, $C_\phi$	7,4		1,9	3,4	0,8	0,2	
Коэффициент контрастности проб участка 1, $K$ ( $C_n/C_\phi$ )	1,3		1,4	1,8	39,5	5,4	
ПДК мг/кг		3,0	23,0	20,0	6,0	4,0	
$C_n/ПДК_i$			0,1	0,3	5,3	0,3	6,0
<b>Среднее значение проб участка 2</b>							
Почва, примыкающая участку 2 отвала, $C_n$	5,7		3,5	6,4	5,4	12,3	4,1
Фоновые значения проб участка 2, $C_\phi$	7,3		0,9	2,2	3,0	0,7	0,3
Коэффициент контрастности проб участка 2, $K$ ( $C_n/C_\phi$ )	0,8		3,8	2,9	1,8	15,5	14,2
ПДК мг/кг		3,0	23,0	20,0	6,0	4,0	
$C_n/ПДК_i$		1,2	0,3	0,3	2,0	1,0	4,8

Существенный интерес представляют полученные данные, характеризующие распределение концентраций тяжёлых металлов в почве при изменении расстояния от источника загрязнения – золоотвала, а так же степень снижения концентрации на единицу длины удаления от источника.

Исходя из предположения о том, что концентрация тяжелых металлов в почве в зависимости от расстояния от кромки золоотвала изменяется по закону:

$$\frac{dC}{dL} = \left( k + \frac{b}{L^n} \right) \cdot C \quad (1)$$

где:  $L$  – расстояние от кромки золоотвала, м;  
 $C$  – концентрация соответствующего загрязнителя, мг/кг;

$k, b, n$  – эмпирические коэффициенты.

Таким образом, снижение концентрации тяжёлых металлов происходит обратно пропорционально расстоянию от источника загрязнения и прямо пропорционально исходной концентрации рис 2. После интегрирования приведенного выражения в границах от  $C_0$  до  $C_\phi$  и  $L_0$  до  $L_\phi$ , получим:

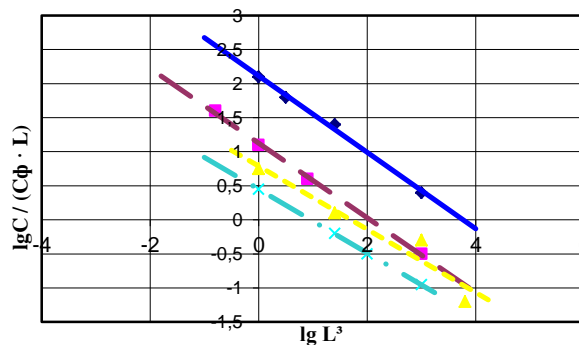
$$\ln C|_{C_0}^{C_\phi} = \left( k \cdot L + \frac{L}{L^{n+1}} \right) L_{L_0}^{L_\phi} \quad (2)$$

$$\ln \frac{C_0}{C_\phi} \Big|_{C_0}^{C_\phi} = \left( k + \frac{b}{L} \right) \Big|_{C_0}^{C_\phi} \quad (3)$$

где:  $C_0, C_\phi$  – исходная и фоновая концентрации соответствующего загрязнителя, мг/кг;

$L_0, L_\phi$  – начальное и конечное расстояние от кромки золоотвала, м;

Для устранения неопределённости  $L_0$  принимают на расстоянии 1,5 м от границы золоотвала.



**Рис 2.** Снижение концентрации тяжёлых металлов при удалении от источника загрязнения

для ванадия  $\frac{C}{C_\phi \cdot L} = 8,935 \cdot L^{-1,89}$

для цинка  $\frac{C}{C_\phi \cdot L} = 3,03 \cdot L^{-1,62}$

для свинца  $\frac{C}{C_\phi \cdot L} = 2,12 \cdot L^{-1,50}$

для меди  $\frac{C}{C_\phi \cdot L} = 1,57 \cdot L^{-1,41}$

или в безразмерном виде  
 для ванадия  $\frac{C}{C_\phi} = 3,1 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{L_\phi}{L} \right)^{1,89}$

для цинка  $\frac{C}{C_\phi} = 2,36 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{L_\phi}{L} \right)^{1,62}$

$$\text{для свинца } \frac{C}{C_{\phi}} = 2,37 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{L_{\phi}}{L}\right)^{1,50}$$

$$\text{для меди } \frac{C}{C_{\phi}} = 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{L_{\phi}}{L}\right)^{1,41}$$

Высокое содержание соединений ТРМ в золошлаковых отходах не позволяет освободить территорию

хранилищ шлама за счет его вывоза и захоронения. Следовательно, установленная закономерность распределения концентраций тяжелых металлов в почвах позволит разработать современные, эффективные методы экологически безопасной эксплуатации золошлаковых отвалов тепловых электростанций.

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Статистический ежегодник [Текст]. – К.: Государственный комитет статистики Украины, 2012. – X. – 2012. – 600 с. *Statisticheskyy yezhegodnik [Tekst]. – K.: Gosudarstvennyy komitet statistiki Ukrainy, 2012. – KH. – 2012. – 600 s. 2.*
2. Управление опасными промышленными отходами. Современные проблемы и решения [Текст] / А.М. Касимов, Л.Л. Товажнянский, В.И. Тошинский, Д.В. Сталинский. Монография; ред. Касимов А.М. – Х.: Изд. Дом НТУ «ХПИ», 2009. – 512 с. *Upravleniye opasnymi promyshlennymi otkhodami. Sovremennyye problemy i resheniya [Tekst] / A.M. Kasimov, L.L. Tovazhnyanskiy, V.I. Toshinskiy, D.V. Stalinskiy. Mono-*
3. Управление промышленными отходами. Промышленные отходы и окружающая среда в современном мире [Текст]: учебное пособие в 2-х книгах. Книга 1. Часть 1 / А.В. Гриценко, Е.Л. Макаровский, И.Г. Черванев, И.А. Шеренков; Харьков: РИП «Оригинал», 2000. – 80 с. *Upravleniye promyshlennymi otkhodami. Promyshlennyye otkhody i okruzhayushchaya sreda v sovremennom mire [Tekst]: uchebnoye posobiye v 2-kh knigakh. Kniga 1. Chast 1 / A.V. Gritsenko, E.L. Makarovskiy, I.G. Chervanев, I.A. Sherenkov; Kharkov: «Original», 2000. – 80 s.*

**Kovalev A.A., Varivoda A.V.**

#### **Research migration of heavy and rare metals from the dumps ash and slag thermal power stations**

**Abstract.** Article devoted to the solution problems increase of ecological safety in the areas where ash and slag dumps of thermal power plants by studying the migration of heavy metals from the slag heaps of volume thermal power stations in the surrounding soils. For this purpose analysis of samples were performed ash, slag and soils near the dumps Zmievskey and Zaporizhia thermal power plants. Based on these results and estimates are established law of migration of heavy metals in the ash dump bodies adjacent soils, according to which the decrease in the concentration of heavy metals occurs inversely to the distance from the source of contamination and in direct proportion to their original concentration. Distribution law found concentrations of heavy metals in soils will develop modern and effective methods of environmentally safe operation of the slag heaps from thermal power plants.

**Keywords:** ash and slag dump, migration, heavy and rare metals, regularity.

## PHYSICS AND MATHEMATICS

### **Borkach E.I., Ivanitsky V.P., Kovtunenکو V.S.** **Terminology and definition of the amorphous substances**

---

*Borkach E.I., CSc in Physics, associated professor, vice-rector  
II. Rákóczi Ferenc Transcarpathian Hungarian Institute, Beregovo, Ukraine  
Ivanitsky V.P., Dr. Science in Physics, Prof., Uzhgorod National University, Uzhgorod, Ukraine  
Kovtunenکو V.S. CSc in Physics, associated professor, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*

**Abstract:** It is attempted to create a clear physical and mathematical basis of the definitions of basic and most general notions in the field of studying the structure of the amorphous materials.

**Keywords:** *amorphous materials, disordered systems.*

Today one may state quite unhesitatingly that any substance could be produced in the amorphous state. The only question is in what technological conditions the particular substance could be produced in the particular state and in what temperature and time conditions it could exist, i.e. be stable. Such approach to the problems of the amorphous state transfers the emphasis of the studies from the parameters of the substance ability of amorphization to the problem of clarifying their general nature and the ways of obtaining the domain of the parameters and criteria of their stability. In this case, it is particularly important to clarify the general specific character of the atomic structure of the amorphous substances.

The fact that the terminology used in studying the amorphous substances is not strict and, in many cases, ambiguous and 'vague', does not favor the studies of un-ordered substances. Different researchers treat a number of terms differently. As consequence, disputable questions arise frequently not in fact of the obtained results but they are of purely terminological character. Therefore, in this paper we attempt to create a clear physical and mathematical basis of the definitions of basic and most general notions in the field of studying the structure of the amorphous materials.

No rigorous, internally consistent system of principal definitions and terms in the field of studies of the amorphous substances, which takes into account modern knowledge and is acceptable for overwhelming majority of specialists, is available now [1–3]. Partly, the reasons for this are related to the insufficient study of a series of the most important problems pertaining to the nature of the amorphous substances. According to comment [4], in most cases the principal negative moment concerns a faulty approach to the analysis of the general nature of these objects. First, this is one-sidedness of investigation, when all attention is concentrated on the analysis of certain processes with complete ignorance of other ones. Second, differentiation of definitions of internal and external categories is insufficiently exact. For example, the amorphous substance properties, which result from the use of certain technology, are treated as the manifestation of its internal essence. Third, the notions of 'general' and 'particular' are often confused. And fourth, the most of the leading specialists in this field underestimate the problem of terminology. Therefore, now there exist a great number of terminological confusions in studying the amorphous substances.

At the same time, the activity in the area of studying the amorphous substances is being growing. New amorphous

materials appear, more and more specialists are interested in the problems of the disordered systems, new models, ideas and approaches are being suggested. In such conditions, the problem of construction of a consistent terminological system in this field becomes more and more topical. The terminological problems themselves are not crucial, but terminological clarity and unambiguity are an important condition of prevention of the losses and serious distortion of information during its transmission from one group of researchers to another one, which deal with the same problem, but study them from the another standpoint. To ensure effective mutual communication and understanding of different research groups there exists a necessity to establish a generally accepted 'language' in this field. It is extremely desirable that the terms of the above 'language' will more completely reflect the real properties of the amorphous substances. The main problem in creating such 'language' is related to the lack of commonly accepted qualitative and, especially, quantitative criteria, which can define the framework of the use of any term [2, 5].

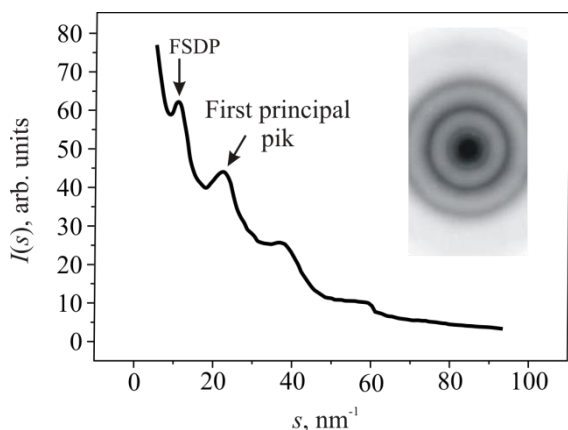
There is a wide spectrum of opinions concerning the definition of the amorphous substances. Both organic and inorganic liquids are attributed to the amorphous materials [6]. They are identified as non-crystalline materials and in case of their definition their types are simply specified: liquid metals and semiconductors, glasses and evaporated or alternatively deposited amorphous films belong to the non-crystalline substances [7]. More cardinal is the viewpoint of the author of Ref. [1]. He states that the amorphous materials are not as unique and solitary as the crystals, which are limited by a few crystallographic forms. The amorphous materials incorporate a wider but less specific circle of objects of different nature, thus, they have no exact unified definition. Other researchers [8, 9], in turn, note that it is easier to say what the amorphous materials are not, than state, what they are.

When defining the amorphous materials, most of the scientists emphasize on the particular specific properties or groups of properties inherent or absent in them. In particular, the amorphous substances include those having macroisotropic properties, producing arbitrary shaped surfaces at breaking or cleaving: most frequently – the conchoidal cleavage, lack of the crystalline regions both in the compact and disperse state [10]. In Ref. [11], non-crystalline objects below the vitrification temperature are considered the kinetically frozen thermodynamical systems. The author of Ref. [12] defines the amorphous substances as the solid state, in

which, in given conditions of application of shear strain to the sample, the manifestation of irreversible viscous flow could be neglected. In this relation, the amorphous substances may be considered the super-cooled liquid with large viscosity factor  $\eta \geq 10^{19}$  P [13]. The lack of the melting point is also frequently considered as the attribute of the amorphous materials [14]. Specific and, at the same time, terminologically vague definition of metallic glass is given in [15]: this is the amorphous solid having two or more chemical elements with different cluster sizes and/or different cluster formation temperatures.

A large part of researchers takes the peculiarities of the amorphous substances structure as the basis for their definition. Such approach has quite rigorous mathematical substantiation, because the diffuse smeared X-ray, electron or neutron diffraction patterns are the main characteristic experimental attribute of the amorphous materials. They reveal several smeared maxima with specific large half-width and drastic decrease of intensity  $I(s)$  with diffracted radiation scattering angle (or scattering vector module  $s$ ) (fig. 1). These patterns reflect the structural peculiarities of the amorphous substances. In this case the similar diffraction patterns arise for the different amorphous objects, which may differ from each other by their specific structure. Such situation is completely similar to that in crystals, where different crystallographic forms have the same type of diffractograms in a form of a system of single sharp discrete point reflexes (fig. 2).

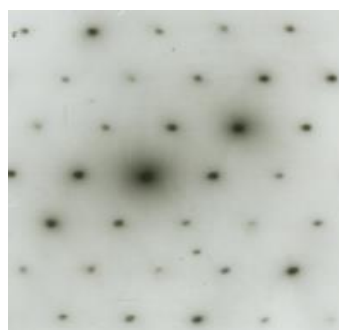
Below the structure of different substances will be the principal object of our analysis. In such studies, one has to point out clearly two qualitatively different structural levels.



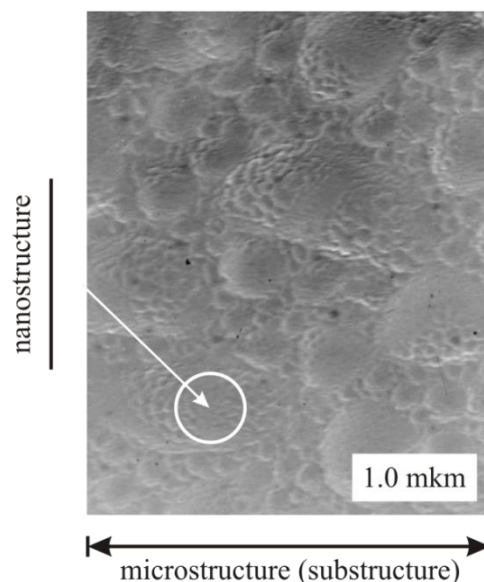
**Fig 1.** Typical diffractogram and electronogram (inset) of the amorphous substances (in this case – the amorphous  $As_{40}Se_{60}$  film)

One of these levels specifies the character of the spatial location of the structural particles of the substance stipulated by their shape, character and intensity of interaction forces. In structural studies, the visual presentation of such structure is often used. To do this, it is assumed that in any condensed state phase of given substance for the most elements of structure one may find the correspondence between the positions of certain structural particles and the nodes of certain spatial lattice. For crystals this allows one to obtain the spatial periodic crystalline lattices. According to this, graphical images in a form of unordered spatial carcasses or networks with nodes corresponding to spatial locations of atoms are used in study-

ing the structure of the amorphous substances as well. Therefore, the majority of researchers call this level the atomic network (carcass) structure. On this level the main elements of the structural ordering in the amorphous substances are revealed: the short-range order (SRO), the intermediate-range order (IRO) and the mesoscopic ordering. All the above elements of the atomic network structure in the amorphous substances make their specific contribution into the diffraction data (fig. 1). Note also that in different substances the separate atoms, ions, molecules, macromolecules or other atomic formations are chosen as the structural particles. In general, the structural particles of the different scale levels can be used to describe the particular substance.



**Fig. 2.** Typical electronogram of a single crystal that reflects the specific character of its structure, i.e. the presence of the long-range order



**Fig. 3.** Transmission electron-microscopic image of the amorphous  $As_{40}S_{60}$  film structure at the amorphous matrix level

The second structural level is defined in a form of a continuum of the substance material (fig. 3). We suggest calling it the amorphous matrix structure. Different elements of the amorphous material structure of nano-, micro- and macroscales are revealed on this level.

From our point of view, the structure on the atomic network level must make basis of the amorphous substance definition. Consider the particular examples of such approach presented in other works. Ref. [8] states



that the amorphous solids are not the form of the matter with the long-range order (LRO), they have no large regions with periodical location of atoms and no crystalline microvolumes of the size that allows the Bragg diffraction to be obtained. The author of Ref. [16] notes that the amorphous substance, or the amorphous, is a solid being an alternative to the crystal, it differs from the latter by the lack of translation periodicity and possesses the shear viscosity not less than  $10^{14.6}$  P. In accordance with Ref. [17], the term 'amorphous' characterizes the materials with no spatial periodicity of the atomic locations. If there is no LRO in the particle locations along any direction inside the solid, such solid is called the amorphous one. In this case LRO means the availability of periodicity in the locations of the particles. The author of Ref. [18] also considers that the phases characterized by clearly expressed LRO, i.e. the availability of the potential periodic field of the crystalline lattice, belong to the crystalline solids. The phases characterized by only the clearly expressed SRO belong to the liquid and glassy phases. In the gaseous state, the substances have SRO within the limits of the separate molecules only and differ by the instantaneous changes of configurations produced during collisions.

In our opinion, the above points of view do not take into account some important issues. First, combination on the lower hierarchic level of the states located on the higher hierarchic level and belonging to different systems, e.g. to the liquid and solid aggregate states, is inadmissible. Second, there is no sense to define the amorphous substances using the terms not clearly specified. Such formulation simply substitutes the solution of the terminological task by another one. Third, in general case it is difficult, and even most likely impossible, to specify all known and, moreover, unknown yet substances, which could be considered amorphous. Therefore, the available terms must take into account further extension of the class of the amorphous substances in future. Both theoretical and experimental results of the studies allow several criteria common for all amorphous substances to be established right now. Let us analyze critically the properties, which are most frequently suggested as decisive in defining the amorphous materials as the separate class.

1. Isotropic character of the properties. Regarding this criterion, it is necessary first to specify the spatial dimensions of the system, in which it is applied. If these are macrodimensions, then the isotropic character of the properties may frequently reflect not internal essential features of the structure of the substance, by the external manifestation of the peculiarities of its organization into the macrosystem. For instance, on the macrolevel, the polycrystals are isotropic, but they could not be treated as the amorphous substances. On the other hand, a lot of amorphous films demonstrate on the microlevel the anisotropy of their properties due to the conditions of directed vapor condensation onto the substrate and due to the properties of its surface structure. If the criterion of anisotropy of the properties is applied to the atomic dimensions, i.e. to the systems with dimension of a few 'unit cells' of the crystalline lattice, it is not proven experimentally that the amorphous substances on that level have isotropic properties. In contrary, high-resolution electron mi-

croscopy indicates in many amorphous films and glasses the occurrence of some elements of the translation symmetry and anisotropy of structure on the local level of a few nanometers [19, 20]. In addition, many amorphous films demonstrate such properties (e.g. birefringence), which are anisotropic by their essence [21].

2. Occurrence of the surfaces of arbitrary shape, most frequently, the conchoidal cleavage, at the breakage or cleavage is a criterion that reflects the external properties of the substance and is not the general one, but only that related mainly to glasses. To extend its application over any kinds of the amorphous substances one has to solve a number of problems: what should be considered a 'conchoidal' cleavage of the amorphous film or amorphous ultradisperse particle? Is it possible to consider the cleavage of the single crystal amorphized by the high-energy radiation the 'conchoidal' cleavage?

3. The lack of the local crystalline microvolumes both in the compact and in the disperse state is the criterion of rather the phase homogeneity of the substance than its amorphous essence.

4. The thermodynamical non-equilibrium or metastability of the amorphous substances is often used as their general attribute, and this does not correspond to the minimum of the total energy of the system in these conditions [21, 22]. However, this criterion is not so integrating to cover any possible cases of realization of the amorphous substances. Not all their kinds are kinetically solidified non-equilibrium thermodynamical systems. The amorphous films or the amorphous disperse particles in certain conditions could also be thermodynamically stable systems due to the contribution of the surface energy. In addition, the thermodynamical non-equilibrium itself is a result of manifestation of the specific character of the amorphous substances.

5. Attribution of the amorphous substances to the class of super-cooled liquids [23, 24] means that we have to consider them as the liquid state. Therefore, one has to speak about the amorphous super-cooled liquid. Then, what the crystal is? The crystalline super-cooled liquid? The authors of Refs. [23, 24] also believe that the ordinary glasses could be called the 'glassy liquids', and the molecular crystals with ordered molecule locations in the crystalline lattices and with unordered spatial orientation could be called the 'glassy crystals'. As regards the crystals with orientation order and with unordered location of molecules in the space, they could be called the 'glassy crystallization liquids'. Introduction of the above terms sets a slight wondering. If one continues the analysis in the same direction, the new definitions are obtained. For example, if the 'glassy liquids' exist, then, probably, the 'crystal-like liquids' exist as well; if the 'glassy crystals' exist, then, probably, the 'crystal-like crystals' exist too. In this case the amorphous films could be called the oversaturated condensed vapor. Such novelties give nothing but terminological confusion. Their major shortcoming is a willing to classify the particular substance as belonging to the two aggregate states simultaneously.

6. The lack of the melting point is an important property of the amorphous materials, though the validity of this statement is not established for all amorphous substances of different physical and chemical nature and composition. It should be noted here that a strict generally recog-

nized definition of the melting temperature relates crystals only: the melting temperature is the temperature of the system 'crystalline solid – liquid' in the phase equilibrium state. Thus, this parameter characterizes the equilibrium phase transition to the liquid state of the crystalline substances and its application to the amorphous substances, speaking strictly, is wrong. It is assumed here that with the temperature increase the amorphous substance softens and transits to the liquid state gradually. Indeed, in the case of glasses a continuous transition from the solid to the highly viscous liquid state within a quite wide temperature interval is observed. Such continuous thermodynamical transition is characterized by the melting temperature  $T_g$ , not by the vitrification temperature.

In the amorphous films, the melting processes are, as a rule, preceded by rather large-scale structural transformations: crystallization, revaporation or other effects activated by relatively large surface or excess of the defective states. Moreover, in many films the specific pseudo-phase transition occurs with increasing temperature, i.e. relaxation to the state, which is structurally quite close to glass at the same temperature. In most cases, the above effects do not allow the initial amorphous film to be melted. In the amorphous ultradisperse particles, such processes that mask the melting point are sintering and recrystallization. Thus, the lack of the melting point is quite common property of the amorphous substances. However this could not make basis of their studies, because, first, it does not correspond to its rigorous physical sense, and, second, it characterizes not the solid system, but the peculiarities of its transition to another aggregate state – liquid, demonstrating the specific features and differences of the above transition for the crystalline and amorphous materials. Furthermore, this peculiarity is derived and results from the specific character of the structure of the amorphous substances.

7. The lack of LRO or spatial periodicity in the locations of the structural particles of the substance is a property introduced by the overwhelming majority of researchers as a criterion of defining the amorphous materials. However, this criterion has a serious shortcoming: it is rather of the descriptive, not of the concise character [25, 26].

8. Other specific parameters of the difference of the amorphous substance structure as compared to that of crystals are also often suggested as the definitive ones. For example, they include the stability of the chemical bond lengths and the interbond angles for the crystals as well as the possibility of variation of these values in the amorphous substances [27]. This peculiarity is also quite important, since it indicates the possible causes that specify the lack of LRO in the amorphous substances. However, it is not general enough to make basis for the amorphous substance definition. This relates to other structural parameters as well. In particular, it is emphasized in Ref. [27] that all the chemical bonds in the crystal are saturated, while in the amorphous solid a number of defective broken bonds occur.

9. Certain properties quoted in Refs. [27, 28] also can not be the definitive criteria. Note that in the crystals the energy forbidden band is strictly defined, while in the amorphous solids the localized allowed energy states occur in the middle of the forbidden band; a sharp optical

absorption edge is typical for crystals, whereas in the amorphous materials there is an extended tail of the electron states at the absorption edge. In addition, both resistive and blocking contacts are possible for the crystals, while the most of the contacts in the amorphous substances are resistive. Some properties may serve only the distinctive criteria to classify different classes of the amorphous materials, e.g. to differentiate metallic glasses from other types of glasses [29]. All the aforementioned differences are derived from the structure, and their cause must lie in the specific character of different types of the amorphous materials and crystals.

The analysis of the above criteria shows that most of them reflect external, secondary or partial properties of the amorphous materials. Therefore, attempts to define the amorphous substances according to their specific properties are untenable. This is confirmed by the fact that if one takes charge transfer as the indicator of the appearance of the amorphous phase at ion implantation into crystal [30], then it is possible to find the occurrence of the amorphous phase in terms of percolation leaking theory as resulted from the formation of the infinite cluster well before its finding by the structural methods. At the same time, the above definitions in the most cases actually specify the distinctive attributes of the solid state of the substance as compared to the liquid state independent of the fact is this substance amorphous or not.

The lack of periodicity and LRO in the locations of the structural particles is, according to the most of researchers, the specific feature that must form the basis of defining the amorphous solids [8, 14, 25, 31–34]. It should be noted here that the most of the above criteria of pointing out the amorphous materials as a separate class are only the consequence of the LRO presence or absence (table 1).

Note as an example of such approach the following definition of the amorphous substances: the amorphous solid is a solid state of the substance characterized by the isotropic character of the properties and by the lack of the melting point. With increasing temperature the amorphous materials soften and gradually transit to the liquid state. Such behavior is due to the lack of LRO in their structure. It is clearly seen that the definitive properties of the amorphous substances are specified by the lack of LRO.

Thus, only one attribute, i.e. the lack of LRO, is so general and internally inherent in the amorphous solids that today this attribute forms the basis for defining the amorphous substance category by the majority of researchers. However, this criterion has substantial shortcomings. The principal of them is that the character of the diffraction data does not indicate directly the lack of LRO in the amorphous substances. Precise X-ray and neutron imaging experiments for the most of the amorphous substances under study show the radial distribution functions for atoms with maxima extended up to 2–3 nanometers. Such distances correspond to the real nanoobjects with about 5 nm dimensions. In such situations, the question about the lack of LRO is, in our opinion, disputable. Therefore, the above approach should be complemented by the parameters that describe the special character of the real structure of the atomic network in the amorphous materials, i.e. specify the available peculiarities, not only the lack of LRO.

Table 1

**Criteria of pointing out the class of the amorphous substances, which directly or indirectly reflect the lack of LRO**

Criterion	Specific for amorphous materials:	How the lack of LRO is reflected	Notes
Isotropic structure and properties	Most of the amorphous substances, but not all	Directly	Should be considered on the scale level not exceeding few nanometers
Conchoidal cleavage	Mostly for glasses	Indirectly	Inherent in macrosamples
Lack of the crystalline regions	All amorphous solids	–	Criterion of the single phase, not of the amorphous nature
Thermodynamical non-equilibrium	Most of the amorphous substances, but not all	Indirectly	Result of manifestation of the structure and the external shape of samples
Super-cooled liquid	Mostly for glasses	Directly	Simultaneous combination of two aggregate states is not allowed
Lack of the melting point	Not for all solids	Directly	Characterizes phase transition, not the substance
Lack of LRO	For all substances	Directly	General, but quite descriptive criterion. Requires specification of SRO
Large defective chemical bonds concentration	For most substances	Indirectly	Definition should be on the ideal state level, not real amorphous substances
Peculiarities of specific properties	Could be used to point out separate types of amorphous solids	Directly	Result of the specific features of the structure

In Ref [35], the following definition of glass is suggested: the solid material in which the unit cells (structural units) are bound by the chemical bonds into chains, rings, strips, layers and 3D networks in such a way that the angles between the chemical bonds that link the structural units are not equal, but fixed within the specified boundaries limited by the nature of this substance boundaries leading to the limited variational SRO and to the lack of LRO in the locations of atoms.

This definition corresponds to the modern understanding of the specific character of the amorphous substances. But it has essential drawbacks. First, it provides an extremely broad specification of the character of the SRO construction. Second, this definition restricts the causes of LRO disappearance only to the occurrence of variation of the angles between the bonds that link separate structural units. As a result, this definition loses overall generality necessary to join all the amorphous substances by a single term.

Thus, the diffuse patterns of X-ray, electron and neutron diffraction are the experimental condition of manifestation of the amorphous state in the certain substance. Such patterns are qualitatively similar for a variety of amorphous substances reflecting, thus, the unity of principles of constructing their atomic structure. Therefore, terminological definition of the amorphous solids must relate to the peculiarities of their atomic network structure. The main structural criterion of pointing out the separate class of amorphous materials is the lack of LRO or trans-

lation periodicity in the spatial location of the structural particles. However, this criterion must have more rigorous character specifying the causes of LRO disappearance in the amorphous substances. The character of organization of the amorphous SRO must be decisive here.

The analysis of this question requires clear definition of the LRO and SRO notions. No unambiguity and strictness are seen in the approaches suggested by different authors. Consider, for example, some definitions. SRO means the proper location of a certain number of neighbors close to atom, ion or molecule [25]. LRO is the location of the particles in a certain sequence with the formation of a single 3D lattice [17], or, according to Ref [17], a number of closest neighbors surrounding atom chosen as the central one. Here the main SRO parameters are the number of neighbors (coordination number) and the distances between them (coordination sphere radius). Such SRO is called the coordination order. For liquids that contain atoms of different chemical elements the distance SRO is not a sufficient characteristic. In this case it is necessary to take into account not only the number of atoms that surround the central atom, but also their sort. We shall call SRO with the sorts of atoms being taken into account the sort order. LRO and SRO are the symmetry or correlation in the mutual locations of solid structure elements (atoms, molecules, group of atoms of certain configuration) or the spatial correlation of the physical values (polarizability, magnetic moment) [33].

Table 2.

**General methodological principles of studying the amorphous substances**

Idea of principle	Atomic network level	Continuum level
Pointing out two qualitatively different structural reasons	Atomic structure in a form of coupled structural particles discretely located in the space	Microstructure and macrostructure of the sample in a form of a continuum
Ideal amorphous structure approximation	Ideal atomic network, all atoms with saturated valences	Ideal amorphous matrix in a form of a permanent homogenous continuum with the uniform distribution of the physical and chemical parameters
Clear resolution of different structural scales	Short-range order. Intermediate-range order. Mesoscopic ordering	Nanostructure. Microstructure. Macrostructure
Inclusion of all structure-defining and structure-specifying factors	The initial state of the substance. Conditions of formation. Action of external factors. Relaxation processes and structural transformations	
Construction of the structural models	The model of atomic network with 2–3 nm dimensions	The models of formation of different-type heterogeneities of the amorphous matrix

When considering the above definitions some comments arise. 1. What does 'proper' location of the nearest neighbors around the atom means? How the 'proper' and 'improper' neighbor location of this atom could be de-

finied? 2. What does 'a certain number' mean? Two, five or hundred nearest neighbors? LRO and SRO can be qualitatively different, e.g., coordination, distance etc. 4. The notions of SRO and LRO relate not only to the atomic

structure of the substance, but also to their different properties. Therefore definition of these notions must be general for all cases, and clear definition of both SRO and LRO must take into account the above comments.

Thus, it seems expedient to hold to several general principles when studying the amorphous substances (see table 2). They are based on the clear distinguishing of the two structural levels. The ideal structure approximation should be used in general definitions on these both levels.

In the case of the real amorphous materials one has also to take into account the strong influence of the conditions of their production on the structural, physical and chemical parameters of the samples produced. Due to the action of these

factors, different polymorph modifications and structural states of the amorphous solids even of single-atom substances can be revealed. The latter, in turn, determine different properties of the amorphous samples of the same chemical compositions produced in different technological regimes. Accounting the substantial losses of information, which accompany the most of modern methods of structural analysis of the disordered systems, makes irreplaceable construction of the scale models of the amorphous substances with the number of atoms corresponding to the conditions of application of the laws of statistical mechanics and thermodynamics.

#### REFERENCES (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Cervinka L. Medium-range ordering in non-crystalline solids // *J. Non-Cryst. Solids*. – 1987. – V.90. – №1-3. – P. 371-383.
2. Мазурин О.В., Боровинский С.В. Еще раз о терминологии по стеклу // *Химия и технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов*. – Л.: ЛГУ, 1989. – С. 229-236.  
*Mazurin O.V., Borovinskiy S.V. Yeshche raz o terminologii po steklu [Once again about the terminology on the glass] // Khimiya i tekhnologiya silikatnykh i tugoplavkikh nemetallicheskikh materialov. – L.: LGU, 1989. – S. 229-236.*
3. Morigaki K. Physics of amorphous semiconductors. – World scientific publishing Co. Pte. Ltd & Imperial College Press, 1999. – 466 p.
4. Аппен А.А. Химия стекла. – М.: Химия, 1974. – 352 с.  
*Appen A.A. Khimiya stekla [Chemistry of glass]. – M.: Khimiya, 1974. – 352 s.*
5. Thorpe M.F., Jacobs D.J., Chubynsky M.V., Phillips J.C. Self organization in network glasses // *J. Non-Cryst. Solids*, 2000. – V.266-269. – P.859-866.
6. Šestak J. Some thermodynamic aspects of the glassy state // *Thermochim acta*. – 1985. – V.95. – №2. – P. 459-471.
7. Mott N.F., Davis E.A. Electron Processes in Non-Crystalline Materials, **V.1**, Clarendon Press, Oxford, (1979).
8. Brodsky Mark H.: Combination dispersion of light in amorphous semiconductors in *Light Scattering in Solids* Ed. By Cardona. Springer-Verlag-Berlin-Heidelberg-New York, (1979).
9. Mackay Alan Z. Quasi-crystals and amorphous materials // *J. Non-Cryst. Solids*. – 1987. – V.97-98. – P. 55-62.
10. A.Felts. Amorphe und Glasartige Anorganische Festkörper. Akademie-Verlag. Berlin. 1983.
11. Anthony R. West. Solid State Chemistry and its Applications. Department of Chemistry University of Aberdeen. John Wiley & Sons. Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore. 1988.
12. Мазурин О.В. Стеклование. – Л.: Наука, 1986. – 158 с.  
*Mazurin O.V. Steklovaniye [Vitrification]. – L.: Nauka, 1986. – 158 s.*
13. Курмышев Е.В., Сисакян И.Н., Шараббян М.С. Релаксационная модель стеклования. – М.: 1985. – 23 с. (Препринт / ИОФАН, №187).  
*Kurmyshev Ye.V., Sisakyan I.N., Sharambeyan M.S. Relaksatsionnaya model' steklovaniya [Relaxation model of glass]. – M.: 1985. – 23 s. (Preprint / IOFAN, №187).*
14. Шварц К.К. Физика оптической записи в диэлектриках и полупроводниках. – Рига: Зинатне, 1986, – 322 с.  
*Shvarts K.K. Fizika opticheskoy zapisi v dielektrikakh i poluprovodnikakh [Physics of optical recording in dielectrics and semiconductors]. – Riga: Zinatne, 1986, – 322 s.*
15. Brodsky Mark H. Introduction in Amorphous Semiconductors. Ed. by M.H. Brodsky. Springer-Verlag-Berlin-Heidelberg-New York, (1979).
16. Шека Е.Ф. Спектроскопия аморфных веществ с молекулярной структурой // *Успехи физических наук*. – 1990. – Т.160. – №2. – С. 263-298.  
*Sheka Ye.F. Spektroskopiya amorfnykh veshchestv s molekulyarnoy strukturoy [Spectroscopy of amorphous materials with a molecular structure] // Uspekhi fizicheskikh nauk. – 1990. – T.160. – №2. – S. 263-298.*
17. Китайгородский А.И. Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел. – М.-Л.: Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1952. – 588 с.  
*Kitaygorodskiy A.I. Rentgenostrukturnyy analiz melkokristallicheskih i amorfnykh tel [-ray analysis of fine-grained and amorphous solids.]. – M.-L.: Gosudarstvennoye izd-vo tekhniko-teoreticheskoy literatury, 1952. – 588 s.*
18. Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. – М.: Высшая школа, 1982. – 528 с.  
*Ormont B.F. Vvedeniye v fizicheskuyu khimiyu i kristal-lokhimiyu poluprovodnikov [Ormont Introduction to physical chemistry and crystal chemistry of semiconductors]. – M.: Vysshaya shkola, 1982. – 528 s.*
19. Stobbs W.M., Smith David J. High resolution imaging of amorphous materials // *Nature*. – 1979. – V.281. – №5726. – P. 54-55.
20. Stobbs W.M., Smiths David J. Observation of the structure of amorphous arsenic by high resolution electron microscopy // *J. Microsc.* – 1980. – V.119. – №1. – P. 29-37.
21. Шпак А.П., Рубиш В.М. Склоутворення і властивості сплавів в халькогенідних системах на основі миш'яку та сурми. – К.: ІМФ НАНУ, 2006.-120с.  
*Shpak A.P., Rubish V.M. Skloutvorenniya i vlastyvosti splaviv v khal'kohenidnykh systemakh na osnovi mysh'yaku ta surmy [Rubish Glass formation and properties of chalcogenide alloys systems based on arsenic and antimony]. – K.: IMF NANU, 2006.-120s.*
22. Donth E. The glass transition. – Berlin: Springer, 2001. – 347p.
23. Бартнев Г.М., Савранский С.Д. Стекла различной природы и их классификация // *ДАН СССР*. – 1988. – Т.303. – №2. – С. 385-389.
24. Савранский С.Д., Бартнев Г.М. О классификации стекол // *ФХС*. – 1988. – Т.14. – №6. – С. 923-926.  
*Savranskiy S.D., Bartenev G.M. O klassifikatsii stekol [Bartenev On the classification of glass] // FKHS. – 1988. – T.14. – №6. – S. 923-926.*
25. Dove D.B.-In: Physics of Thin Films. Advances in Research and Development, eds. G.Hass, M.H.Francombe, R.W.Hoffman, V.7, Academic Press, New York and London, (1973).
26. Шпак А.П., Мельник А.Б. Микронеоднородное строение неупорядоченных металлических систем. – Киев: Академперіодика, 2005. – 322с.

- Shpak A.P., Mel'nik A.B. *Mikroneodnorodnoye stroyeniye neuporyadochennykh metallicheskikh sistem [Microstructure of disordered metallic systems]*. – Kyiv: Akadempriodika, 2005. – 322s.
27. Zakshminarayan K.N., Srivastava K.K., Amorphous semiconductors – materials of the future // ZETE Techn. Rev. – 1985. – V.2. – №4. – P. 88-93.
28. Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices / Edited by H.S.Nalwa. – New York: Academ. Press, 2001. – V.5. – 432 p.
29. Glassy Metals I, Ionic Structure, Electronic Transport and Crystallization, eds. H.-J.Güntherodt and H.Beck, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, (1981).
30. Phase transformation during irradiation / Ed. by Frank V. Nolfi. – London and New York: Applied science publishers, 1983. – 311 p.
31. Dembovsky S.A., Chechetkina E.A. Glassy state clarified through chemical bonds and their defects // J. Non-Cryst. Solids. – 1986. – V.85. – №3. – P.346-357.
32. Бондарь В.В. Некоторые вопросы некристаллического твердого состояния. – М., 1980. – 17 с. Деп. в ВИНТИ, №3750.  
*Bondar' V.V. Nekotoryye voprosy nekrystallicheskogo tverdogo sostoyaniya [Some questions of non-crystalline solid]. – M., 1980. – 17 c. Dep. v VINITI, №3750.*
33. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1966. – Т.5. – С.115.  
*Fizicheskiy entsiklopedicheskiy slovar' [Physical Encyclopedic Dictionary.]. – M.: Sovetskaya entsiklopediya, 1966. – T.5. – S.115.*
34. Рубіш В.В., Рубіш В.М., Леонов Д.С., Тарнай А.А., Кириленко В.К. Особливості структури і структурних перетворень в халькогенідних склоподібних напівпровідниках // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології, 2004. – Т.2, №2. – С.417–440.  
*Rubish V.V., Rubish V.M., Leonov D.S., Tarnay A.A., Kyrylenko V.K. Osoblyvosti struktury i strukturykh peretvoren' v khal'kohenidnykh sklopodibnykh napivprovodnykh [Features of the structure and structural changes in chalcogenide vitreous semiconductors] // Nanosystemy, nanomaterialy, nano-tekhnohohiyi, 2004. – T.2, №2. – S.417–440.*
35. Минаев В.С. Стеклообразование в халькогенидных полупроводниковых системах // Обзоры по электронной технике (Серия «Материалы»). – М.: ЦНИИ «Электроника». – 1983. – №7 (980). – 34 с.  
*Minayev V.S. Stekloobrazovaniye v khal'kogenidnykh poluprovodnikovyykh sistemakh [Glass formation in chalcogenide semiconductor systems] // Obzory po elektronnoy tekhnike (Seriya «Materialy»). – M.: TSNII «Elektronika». – 1983. – №7 (980). – 34 s.*

#### **Боркач Е.И., Иваницкий В.П., Ковтуненко В.С. Терминология и определение аморфных веществ**

**Аннотация.** Экспериментальным условием установления аморфности состояния любого вещества есть диффузные картины дифракции рентгеновских лучей, электронов и нейтронов. Такие картины качественно одинаковы для самых разнообразных по своей природе аморфных веществ, что отражает единство физических принципов построения их атомной структуры. Поэтому и терминологическое определение аморфных тел должно основываться на особенностях структуры их атомной сетки. Главным структурным критерием выделения класса аморфных веществ есть отсутствие у них трансляционной периодичности пространственного расположения структурных частиц или дальнего порядка. Но этому критерию необходимо придать более строгую основу путем конкретизации причин исчезновения в аморфных материалах дальнего порядка. И эти причины определяются характером организации аморфного ближнего порядка.

**Ключевые слова:** аморфные вещества, неупорядоченные системы.

Мица В., Голомб Р., Ловас Г., Вереш М., Боркач Є., Ковач Т., Ріго І.

## Вплив фрагментів низько- та високотемпературних кристалічних фаз дисульфиду германію на формування змішаного середнього порядку в технологічно модифікованому склоподібному $c\text{-GeS}_2$ : різницеві Раман спектри та першопринципні розрахунки

Мица В., Голомб Р., Ловас Г., Ковач Т., Ріго І. Ужгородський національний університет, Україна  
Вереш М. Науково-дослідний центр фізики імені Вігнера Угорської академії наук, м. Будапешт, Угорщина  
Боркач Є. Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці ІІ, м. Берегово, Україна

**Анотація.** У порівнянні зі звичайним Раман спектром, в різницевих Раман спектрах  $\{I_R\text{GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_i)\text{-}I_R\text{GeS}_2(\text{T}_2\text{V}_1)\}$  технологічно модифікованого склоподібного  $c\text{-GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_j)$ , виявлено розчеплення найбільш інтенсивної коливної моди біля  $340\text{cm}^{-1}$ . Частотне положення максимумів смуг, знайдених в різницевих Раман спектрах  $c\text{-GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_j)$  біля  $340$  і  $360\text{cm}^{-1}$  та найбільш інтенсивних коливних мод в Раман спектрах відповідно низько- та високотемпературних кристалічних фаз  $\alpha$ -,  $\beta\text{-GeS}_2$  показало їх добру узгодженість. На основі 4-6, 6 і 4- членних кільцевих фрагментів, вирізаних із кристалічної фази  $\beta\text{-GeS}_2$ , виконаний розрахунок їх коливного спектру. В кільцевому наближенні, в термінах коливань тетраєдрів  $\text{GeS}_4$ , зв'язаних кутами і по ребру, проведена структурна інтерпретація коливних мод при  $360$ ,  $370$  і  $433\text{cm}^{-1}$  Раман спектрів  $c\text{-GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_j)$ . Наявність коливань «дефектних» гомополярних Ge-Ge та S-S зв'язків віднесена до утворення 5-ти членних кілець в матриці структури склоподібного дисульфиду германію. Утворення в структурі  $c\text{-GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_j)$  фрагментів низько- та високотемпературних кристалічних фаз дисульфиду германію свідчить про формування змішаного середнього порядку в технологічно модифікованому склоподібному  $c\text{-GeS}_2$

**Ключові слова:** Раман спектроскопія, халькогенідне скло, середній порядок, структура стекел, кільцеві фрагменти

**I. Вступ.** Різноманітні методи дослідження ближнього порядку склоподібних і кристалічних дихалькогенідів германію (електроно-, нейтроно-, рентгенодифракція [1,2]; коливна спектроскопія [3,4]) свідчать про збереження ближнього порядку при переході кристал-скло. Згідно дифракційних даних, локальне оточення атомів Ge в склоподібному (с)  $c\text{-GeS}_2$ , подібне до оточення атомів Ge в кристалічній високотемпературній фазі  $\beta\text{-GeS}_2$ [5-7]. В цьому кристалі атоми Ge знаходяться в правильному тетраедричному положенні ( $4\text{Ge-S} = 2.22\text{Å}$ ). В подальшому, на основі аналізу структури  $\beta\text{-GeS}_2$ , було запропоновано шарувато-ланцюгову структурну модель стехіометричного бінарного скла  $c\text{-GeS}_2$ , відому як «модель хімічно-упорядкованої фази» [7,8]. Двохмірна 2D кристалічна структура  $\beta\text{-GeS}_2$  побудована з  $[\text{GeS}_3]_n$  ланцюгів з тетраєдрів  $\text{GeS}_4$ , зв'язаних кутами [5,6]. Ці ланцюги зв'язуються в шари за допомогою тетраєдрів, зв'язаних ребрами. Однак, поряд зі стабільною 2D кристалічною фазою, в системі Ge-S існує трьохмірна, 3D низькотемпературна фаза  $\alpha\text{-GeS}_2$ , структура якої побудована виключно із тетраєдрів  $\text{GeS}_4$ , зв'язаних кутами [6]. В рамках теорії наногетероморфного склоутворення в [9] вважають, що при формуванні склоподібного стану із розплаву, в структурі  $c\text{-GeS}_2$  повинні утворюватися фрагменти структури характерні як для  $\alpha\text{-GeS}_2$ , так і для  $\beta\text{-GeS}_2$ .

При проведенні спектроскопічних досліджень, в Раман спектрі  $c\text{-GeS}_2$ , крім найбільш інтенсивної смуги при  $340\text{cm}^{-1}$ , було виявлено перегин біля  $375\text{cm}^{-1}$  і максимум біля  $435\text{cm}^{-1}$ [3,4,7,10]. В рамках моделі «хімічно-упорядкованої фази», максимумами при  $375\text{cm}^{-1}$  і  $435\text{cm}^{-1}$  віднесені до коливань кластерів  $\text{GeS}_4$ , зв'язаних ребрами і частота їх коливань близька до частотного положення коливних мод в кристалічному  $\beta\text{-GeS}_2$  [11]. Все ще вважають, що найбільш інтенсивна смуга в Раман спектрі  $c\text{-GeS}_2$  з максимумом при  $340\text{cm}^{-1}$  зв'язана з коливаннями зв'язків Ge-S в фрагментах структури  $\beta\text{-GeS}_2$ , де тетраедри  $\text{GeS}_4$ , зв'язані кутами [12-14]. По даним рентгеноструктурних досліджень [15] встановлено, що при утворенні  $c\text{-GeS}_2$  з

розплаву, відбувається часткова деполімерізація шарувато-ланцюгових фрагментів  $\beta\text{-GeS}_2$  і в склі присутні близько 40% фрагментів із тетраєдрів, що зв'язані кутами і приблизно така ж кількість фрагментів із тетраєдрів, що зв'язані ребрами. Методом Раман спектроскопії в структурі  $c\text{-GeS}_2$  також було виявлено наявність «дефектних», гомополярних Ge-Ge та S-S зв'язків [10,13]. В той же час, при використанні методу нейтронної спектроскопії в [16] доказано існування таких зв'язків в  $c\text{-GeS}_2$  не знайдено. Щоб зняти це протиріччя в [17] проведено комп'ютерне моделювання впливу умов одержання на структуру і температуру розм'якшення  $c\text{-GeS}_2$  при загартуванні розплаву з різною швидкістю охолодження. Шляхом моделювання виявлено, що із зменшенням швидкості охолодження розплаву, число гомополярних зв'язків S-S та Ge-Ge в склі зменшується. З метою проведення достовірної і однозначної інтерпретації спостережуваних смуг на рівні локальних структурних угруповань в стеклах, нами проведені експериментальні та теоретичні спектроскопічні дослідження склоподібного  $c\text{-GeS}_2$ , синтезованого від різних температур розплаву

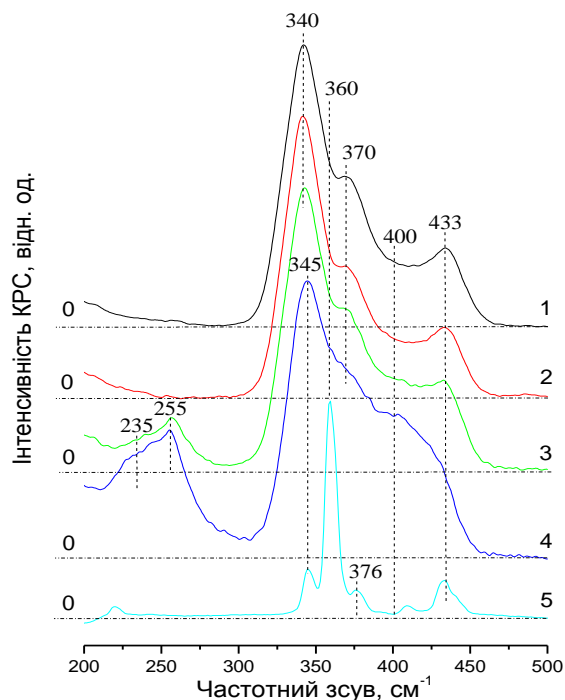
**II. Матеріали і методи.** Синтез склоподібних матеріалів  $\text{GeS}_2$  здійснювався із елементарних компонент чистоти «ОСЧ» В-5 в кварцових ампулах. Вихідні компоненти зважувались з точністю до  $10^{-7}$  кг і насипались у відпалені кварцові ампули, які попередньо оброблялись концентрованою азотною кислотою і промивались дистильованою водою. Наповнені шихтою ампули за допомогою газокисневого пальника прогрівались до температури 400-450 К для усунення парів води і запаювались під вакуумом порядку  $10^{-4}$  торр. Спочатку ампула з шихтою нагрівалась з швидкістю 250 К/год. до температури 800 К і витримувалась в такому стані протягом 5 годин. Це дозволило зменшити тиск парів сірки у ампулах і запобігти їх розриву в процесі синтезу. Потім температура синтезу підвищувалась до 1200 К з швидкістю порядку 100 К/год. Розплав при цій температурі витримувалась протягом 10 год., а потім охолоджувалась з швидкістю  $1.5 \times 10^2$  К/с (охолодження у воді). Отримані зразки

були однорідними і не містили включень кристалічної фази. Після такого попереднього синтезу зразок  $c\text{-GeS}_2$  розділявся на три рівні частини, які знову завантажувались у кварцеві контейнери, відкачувались до  $10^{-4}$  торр, і запалювались. Кожна з цих трьох ампул згодом нагрівалась з швидкістю  $V_1=100$  K/c до трьох різних температур синтезу  $T_i$  ( $i=1-3$ ), відповідно 1173, 1273, і 1473 K. При досягненні вказаних температур розплав витримувався на протязі 10 год. і охолоджувався з швидкістю  $1.5 \times 10^2$  K/c. Для вимірювань високороздільних спектрів КРС використовувався Bruker IFS-66 інтерферометр з CCD-детектором приєднаний до Bruker FRA 106 КРС модуля. В якості джерела збудження використовувався Nd:YAG лазер з потужністю більше 500 мВт і довжиною хвилі  $\lambda_{36.1}=1064$  нм ( $E_{36.1}=1.17$  eВ). При дослідженні КРС стекло вихідна потужність лазерного випромінювання складала 90 мВт. Вимірювання проводились при кімнатній температурі з використанням  $180^\circ$  конфігурації. Роздільна здатність спектрометра складала  $\sim 1$   $\text{cm}^{-1}$ . При вимірах охоплювався широкий спектральний діапазон від 50 до 3600  $\text{cm}^{-1}$  для стоксової частини спектру. Розрахунки коливного спектру кільцевих кластерних фрагментів були зроблені по методиці, ідентичній, що описана у [18].

**III. Результати та їх обговорення.** Як це було виявлено і в попередніх роботах [3,4,7,10], спільною характеристикою всіх досліджених Раман спектрів склоподібного  $c\text{-GeS}_2$  (рис.1) є інтенсивна смуга при 340  $\text{cm}^{-1}$ . Її максимум зміщений в низькочастотну область, в порівнянні з положенням основного максимумом (360  $\text{cm}^{-1}$ ) Раман спектру кристалічної фази  $\beta\text{-GeS}_2$  (рис.1, крива 5).

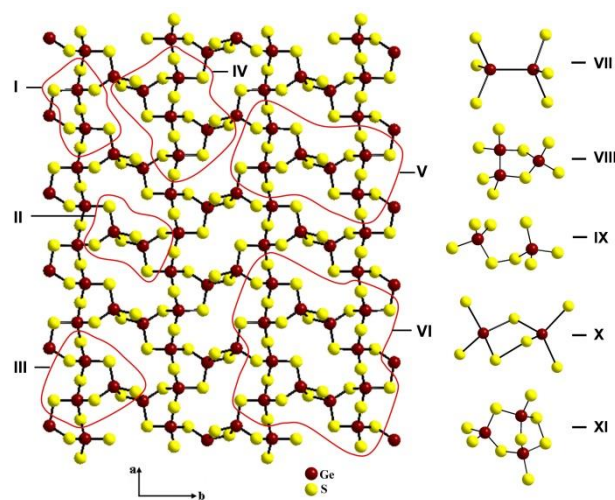
При зміні умов синтезу, значна трансформація Раман-спектрів  $c\text{-GeS}_2$  була зафіксована в області 200-300  $\text{cm}^{-1}$  (рис.1). Як видно з рис.1 (криві 3 і 4), в Раман спектрах  $c\text{-GeS}_2$ , синтезованих від високих температур розплаву ( $T_3=1373\text{K}$ ,  $T_4=1473\text{K}$ ) з'являється досить інтенсивна смуга з максимумом при 255  $\text{cm}^{-1}$ . Ця смуга виявилась дуже чутливою до умов синтезу стекло і практично не спостерігалась для зразка, синтезованого від температури  $T_2$  (рис.1, крива 2). Важливо також відмітити помітну асиметрію смуги при 255  $\text{cm}^{-1}$  з перегином при 235  $\text{cm}^{-1}$ . Остання характерна для коливань атомів в  $c\text{-GeS}$  з потрійною координацією Ge по сірці [10].

Порівняння Раман спектрів стекло  $c\text{-GeS}_2(T_i, V_j)$  ( $i=2-4, j=1$ ) з КРС спектром  $\beta\text{-GeS}_2$  вказує на те, що близьке положення в Раман спектрах кристалу і стекло  $c\text{-GeS}_2(T_x, V_y)$  мають смуги в Раман спектрі скла біля 370 і 433  $\text{cm}^{-1}$ . Класичні три смуги при 340, 370 і 433  $\text{cm}^{-1}$  містить скло  $c\text{-GeS}_2(T_i, V_j)$  при  $i=2, j=1$  (рис.1, крива 2). Особливістю Раман спектру скла  $c\text{-GeS}_2(T_2, V_1)$  при довжині хвилі збудження  $\lambda_{36.1}=1064$  нм. (1.17 eВ), є наявність слабоінтенсивної смуги при 495  $\text{cm}^{-1}$ , яку зв'язують з наявністю в матриці структури скла невеликої кількості гомеоплярних зв'язків S-S [10].



**Рис.1.** Нерезонансні спектри макро-Раман з Фур'є трансформацією  $c\text{-GeS}_2(T_x, V_y)$ , зняті при довжині хвилі збудження  $\lambda_{36.1}=1064$  нм. (1.17 eВ, Nd:YAG, Bruker IFS 66/FRA 106):  
1)  $T_1, V_1$ ; 2)  $T_2, V_2$ ; 3)  $T_3, V_2$ ; 4)  $T_4, V_2$ , 5)  $\beta\text{-GeS}_2$

Ця смуга збільшує інтенсивність при використанні в якості джерела збудження СКР лазерів, з меншою довжиною хвилі ( $\lambda_{36.4}=514.5$  та  $\lambda_{36.5}=488$  нм.). Резонансна поведінка смуг при 370 і 433  $\text{cm}^{-1}$  (рис.1) виявлена в Раман спектрах стекло  $c\text{-GeS}_2(T_i, V_j)$  в [10] віднесена до коливань атомів  $\text{GeS}_{4/2}$ , з'єднаних ребрами. Раман спектр  $c\text{-GeS}_2(T_2, V_1)$  нами вибраний для вивчення різницевих спектрів  $c\text{-GeS}_2(T_i, V_j)$  з поміж усіх досліджених Раман спектрів стекло  $c\text{-GeS}_2(T_i, V_j)$  (рис.1) як такий, що містить смуги, характерні для гомеоплярних зв'язків S-S та Ge-Ge, найменшої інтенсивності.

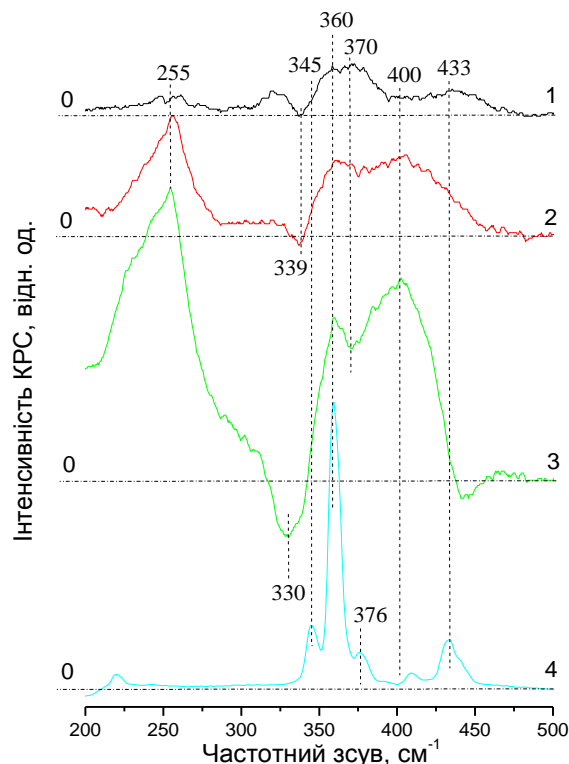


**Рис.2.** Зліва – моношар з кристалічної структури високотемпературної фази  $\beta\text{-GeS}_2$  з виділеними кластерами  $\text{Ge}_n\text{S}_m$  (I–VI) та справа – “дефектні” кластери  $\text{Ge}_n\text{S}_m$  з гомеоплярними зв'язками Ge-Ge (VII–VIII) та S-S (IX–XI)

Розрахунки показали [18], що енергетична перевага при формуванні кільцевих кластерів, вирізаних із структури кристалічної фази типу  $\beta$ -GeS<sub>2</sub> (Рис.2) може бути представлена рядом 4-6 членні кільця у співвідношенні 1:2; 6-членні кільця; 4-членні кільця.

Важливо відмітити, що статистичний аналіз кілець в топологічних сітках дозволяє провести аналіз зв'язності матриці структури  $c$ -GeS<sub>2</sub> [19]. Зростання інтенсивності коливань біля 400 см<sup>-1</sup> можна зв'язати з появою в структурі скла GeS<sub>2</sub>(T<sub>1</sub>,V<sub>1</sub>) "дефектних" 5-членних кільцевих кластерів (рис. 2, кластер 8), коливання Ge-Ge зв'язків яких, чітко видно при 255 см<sup>-1</sup>. В ранніх роботах [13] такі коливання були названі "етаноподібними" (рис. 2, кластер 7). Розрахунки частоти коливань кластеру 6 (рис. 2.) і структурна інтерпретація різницевого спектру (рис. 3, крива 1), зроблені вище, вказують, що в структурі скла  $c$ -GeS<sub>2</sub>(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> K, V<sub>1</sub>=150 K/c) реалізуються 4-6 шаруваті фрагменти високотемпературної фази  $\beta$ -GeS<sub>2</sub>. З ростом температури розплаву до T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> відбувається деполімеризація шаруватих кластерів шляхом відщеплення від 6-ти членних кілець 4-х членних Ge<sub>2</sub>S<sub>2+4/2</sub>, на що вказує зменшення інтенсивності коливань при 370 і 433 см<sup>-1</sup> (рис.3, криві 2,3). При загартуванні від температур розплаву від T<sub>2</sub>,T<sub>3</sub> і T<sub>4</sub> в різницевих спектрах все чіткіше і синхронно зростає інтенсивність коливних мод, характерних для "дефектних", 5-ти членних кластерів типу 8 і 10 (рис.2) з гомополярними Ge-Ge (кластер 8) та S-S (кластер 9) зв'язками. Так для кластерів типу 8 з Ge-Ge зв'язками, з ростом температури розплаву одночасно росте інтенсивність смуг біля 250 см<sup>-1</sup> і в околі 400 см<sup>-1</sup> (рис. 3).

Про наявність утворення S-S зв'язків в кільцевих кластерах типу 11 свідчить слабо інтенсивна смуга при 492 см<sup>-1</sup>. Особливістю різницевих Раман спектрів {I<sub>R</sub>GeS<sub>2</sub>(T<sub>1</sub>V<sub>1</sub>)-I<sub>R</sub>GeS<sub>2</sub>(T<sub>2</sub>V<sub>1</sub>)} є наявність смуги біля 339 см<sup>-1</sup> (див. рис.3), що є найбільш інтенсивною в Раман спектрі низькотемпературної кристалічної фази  $\alpha$ -GeS<sub>2</sub> [11,20]. З ростом T<sub>1</sub> від 1173 K до T<sub>4</sub>=1373 K інтенсивність цієї смуги в різницевих спектрах {I<sub>R</sub>GeS<sub>2</sub>(T<sub>1</sub>V<sub>1</sub>)-I<sub>R</sub>GeS<sub>2</sub>(T<sub>2</sub>V<sub>2</sub>)} зростає, а при T<sub>4</sub>=1373 K її максимум зсувається до 330 см<sup>-1</sup>. Подібна ситуація з низькочастотним зсувом максимуму характерного для низькотемпературної фази  $\alpha$ -GeS<sub>2</sub>, спостерігалася при високотемпературних спектроскопічних  $c$ -GeS<sub>2</sub> [20]. Експериментально виявлений зсув максимуму в області менших частот можна зв'язати з впливом температур розплаву, від якого велося загартування, що можливо приводило до розвалу кільцевих кластерів і спричинювало утворення ланцюгових кластерів. На користь такого припущення може свідчити той факт, що структура кристалу  $\alpha$ -GeS<sub>2</sub> містить два набори ланцюгів [5,6], що формують складний трьохмірний каркас. В цьому каркасі 24 зв'язані кутами тетраедри утворюють еліпсоїдально подібні пустоти [6]. Виконані нами розрахунки коливань ланцюгів Ge<sub>n</sub>S<sub>m</sub>, в яких ребра тетраедрів продовжують один одного в ланцюгах, подібно до того як це спостерігається в  $\alpha$ -GeS<sub>2</sub> [5,6], показали, що в коротких ланцюгах Ge<sub>3</sub>S<sub>6</sub> коливання зв'язків Ge-S спостерігаються біля 330 см<sup>-1</sup>.



**Рис.3.** Диференційні Раман-спектри побудовані на основі спектрів макро-Раман з Фур'є трансформацією  $c$ -GeS<sub>2</sub>(T<sub>i</sub>,V<sub>j</sub>), зняті при довжині хвилі збудження  $\lambda_{36.1}=1064$  нм.: (1) – від кривої  $c$ -GeS<sub>2</sub>(T<sub>1</sub>,V<sub>1</sub>) віднято криву  $c$ -GeS<sub>2</sub>(T<sub>2</sub>,V<sub>1</sub>); (2) – від кривої  $c$ -GeS<sub>2</sub>(T<sub>3</sub>,V<sub>1</sub>) віднято криву  $c$ -GeS<sub>2</sub>(T<sub>2</sub>,V<sub>1</sub>); (3) – від кривої  $c$ -GeS<sub>2</sub>(T<sub>4</sub>,V<sub>1</sub>) віднято криву  $c$ -GeS<sub>2</sub>(T<sub>2</sub>,V<sub>1</sub>); (4) Раман спектр: -  $\beta$ -GeS<sub>2</sub>

Наявність в Раман спектрах коливної смуги при 339 см<sup>-1</sup> характерної для  $\alpha$ -GeS<sub>2</sub> в склоподібних зразках  $c$ -GeS<sub>2</sub>, може свідчити, що зародки характерні для фази  $\alpha$ -GeS<sub>2</sub> формуються в склі процесі гартування розплаву. Наявність в різницевих Раман спектрах {I<sub>R</sub>GeS<sub>2</sub>(T<sub>1</sub>V<sub>1</sub>)-I<sub>R</sub>GeS<sub>2</sub>(T<sub>2</sub>V<sub>1</sub>)} смуг, характерних для коливань кластерів як для 3D так і для 2-D кристалічних фаз, може свідчити, що середній порядок в  $c$ -GeS<sub>2</sub> формується як шарувато-подібними 2-D кластерами високотемпературної фази так і 3D кластерами низькотемпературної фази. Так як наявність кластерів в матриці структури стекел ототожнюється із середнім порядком [12,16], то в цьому сенсі можна говорити про його змішаний характер в стеклах GeS<sub>2</sub>(T<sub>i</sub>V<sub>1</sub>).

#### Висновки.

- Особливістю різницевих Раман спектрів {I<sub>R</sub>GeS<sub>2</sub>(T<sub>1</sub>V<sub>1</sub>)-I<sub>R</sub>GeS<sub>2</sub>(T<sub>2</sub>V<sub>1</sub>)} є наявність смуги біля 339 см<sup>-1</sup> що є найбільш інтенсивною в Раман спектрі низькотемпературної кристалічної фази  $\alpha$ -GeS<sub>2</sub>
- В різницевому Раман спектрі  $c$ -GeS<sub>2</sub>(T<sub>1</sub>,V<sub>1</sub>) виявлений ріст інтенсивності смуг при 360, 370 і 433 см<sup>-1</sup>. Ці смуги є найбільш інтенсивними і в Раман спектрі кристалічного  $\beta$ -GeS<sub>2</sub>. Смугу 360 см<sup>-1</sup> віднесено до коливань Ge-S зв'язків у шестичленних кільцях утворених тетраедрами, зв'язаних кутами в 4-6 кластері, вирізаному із шарувато-ланцюгової структури  $\beta$ -GeS<sub>2</sub>. Смуги при 370 і 433 см<sup>-1</sup> віднесено до коливань Ge-S зв'язків в чотирьохчленних кільцях Ge<sub>2</sub>S<sub>2+4/2</sub>, утворе-



них ребрами із тетраєдрів  $\text{GeS}_4$  і які зв'язують 6-ти членні кільця в шаруватий фрагмент високотемпературної фази  $\beta\text{-GeS}_2$ .

2. З ростом температури розплаву від  $T_3$  до  $T_4$  спостерігається зменшення інтенсивності коливань в різних Раман спектрах  $\{\text{I}_R\text{GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_i)\text{-I}_R\text{GeS}_2(\text{T}_2\text{V}_1)\}$  при 370 і 433  $\text{cm}^{-1}$ , що може свідчити про деполімерізація 4-х членних кілець, утворених тетраєдрами, що зв'язані по ребру.

3. При загартуванні від температур розплаву від  $T_2$ ,  $T_3$  і  $T_4$  в різних спектрах стекло спостерігаються

коливні моди, характерних для “дефектних” 5-ти членних кластерів з гомеополарними Ge-Ge та S-S зв'язками. Для кластерів з Ge-Ge зв'язками із збільшенням температури від  $T_3$  до  $T_4$  одночасно росте інтенсивність смуг при 255  $\text{cm}^{-1}$  і 400  $\text{cm}^{-1}$ .

4. Теоретично розглянута можливість формування ланцюгів з кільцевих фрагментів і розраховано їх коливний спектр. Найбільш близькими до експериментальних даних є коливання кластеру  $\text{Ge}_3\text{S}_6$ .

Робота виконувалась за підтримкою міжнародного гранту №F183139 “Collegium Talentum”.

#### REFERENCES (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- Zachariasen W.H. The crystal structure of germanium disulfide // J. Chem. Phys. – 1936. – Vol.4. – P. 618-619.
- Ioffe A.F., Regel A.R. Non-crystalline, amorphous and liquid electronic semiconductors // Progress in semiconductors. London. – 1960. – Vol.4, №20. - P. 25-30.
- Mitsa V., Holomb R., Veres M., Koos M «RAMAN SZÓRÁS NANOSZERKEZET KALKOGENID ÜVEGEKIBEN», Hungarian Academy of Sciences. Budapest, Ed. “Intermix Kiado”, Budapest, 2009. -110 o. ISBN 978-963-9814-18-9.
- Спектры комбинационного рассеяния халькогенидов германия и олова / Лисица М.П., Артамонов В.В., Бережинский Л.И., Блещкан Д.И., Валах Д.Я. // Украинский физический журнал. – 1976. –Т.21, №2. – С. 218–220. *Spektry kombinatsionnogo rasseyaniya khal'kogenidov germaniya i olova [Raman spectra of germanium and tin chalcogenides] / Lisitsa M.P., Artamonov V.V., Berezhinskiy L.I., Bletskan D.I., Valakh D.YA. // Ukrainiy fizicheskij zhurnal. – 1976. –Т.21, №2. – S. 218–220.*
- Crewitt C.T., Young H.S. Germanium and silicon disulfides: structure and synthesis // Science. – 1965. – Vol.149. - №3683. – P. 535-537.
- Блещкан Д.И., Стефанович В.А., Поторий М.В., Ворошилов Ю.В., Сливка В.Ю. Полиморфизм дисульфида германия // Кристаллография. – 1987. – Т.32,№2. – С. 385-393. *Bletskan D.I., Stefanovich V.A., Potoriy M.V., Voroshilov YU.V., Slivka V.YU. Polimorfizm disulfida germaniya [Polymorphism disulfide germany] // Kristallografiya. – 1987. – T.32,№2. – S. 385-393.*
- Bridenbaugh P.M, Espinosa G.P, Griffiths J.E, Phillips J.C, and Remeika J.P. Microscopic origin of the companion  $A_1$  Raman line in glassy  $\text{Ge}(\text{S},\text{Se})_2$  // Phys. Rev. B. – 1979. – Vol.20, №10. – P. 4140-4144.
- Configuration of chemically ordered continuous random network to describe the structure of  $\text{GeSe}_2$  glass / R.J. Nemanich , F.L. Galeener, I.C. Mikkelsen G.A.N. Connel // Physica B. – 1983. Vol.117–118. – P. 959–961.
- Kalugin V. V., Minaev V. S. , Timoshenkov S. P., Markova E. N.Nano-heteromorphism, structure and relaxation in glassforming Ge-S system Part I. Structure and relaxation in condensed germanium disulfide  $\text{GeS}_2$ . //Journal of Optoelectronics and Advanced materials -2006.-Vol. 8, No. 6, - Pp. 2086 – 2092
- Holomb R., Johansson P., Mitsa V. and Rosola I. Local structure of technologically modified g- $\text{GeS}_2$ : resonant Raman and absorption edge spectroscopy combined with ab initio calculations // Phil. Mag. – 2005. – Vol.85., №25. – P. 2947–2960.
- Inoue K., Matsuda O., Murase K. Raman spectra of tetrahedral vibrations in crystalline germanium dichalcogenides,  $\text{GeS}_2$  and  $\text{GeSe}_2$ , in high and low temperature forms // Solid State Commun. – 1991. –Vol.79, №11. – P. 905–910.
- Lucovsky G., Wong C.K., Pollard W.B. Vibrational properties of glasses : intermediate range order // J. Non-Cryst. Sol. – 1983. – Vol. 59–60, №2. – P. 839–846.
- Boolchand P., Grothaus J., Tenhaver M., Halze M. Grasselli R.K. Structure of  $\text{GeS}_2$  glass: spectroscopic evidence for broken chemical order // Phys. Rev. B. – 1986. – Vol.33,№8. – P. 5421-5434.
- Petkov V. , Le Messurier D. Atomic-scale structure of  $\text{GeSe}_2$  glass revisited: a continuous or broken network of  $\text{Ge}-(\text{Se}_{1/2})_4$  tetrahedra? //J. Phys.: Condens. Matter -2010.-Vol. 22 - Pp.115402 -115408 .
- Armand P., Ibanez A., Dexpert H., Bittencourt D., Raoux D., Philippot E. Structural approach of Ge-X,  $\text{GeX}_2$  - $\text{Ag}_2\text{X}$  (X= S,Se) glassy systems// JOURNAL DE PHYSIQUE IVColloque C2. -1992. -Vol.2, - Pp.c2-189-c2-194.
- Salmon P.S., Martin R.A., Mason P.E. Topological versus chemical ordering in network glasses at intermediate and extended length scales // Nature. – 2005. – Vol.435. – P. 75–78.
- S'ebastien Le Roux and Philippe Jund. Influence of the cooling-rate on the glass transition temperature and the structural properties of glassy  $\text{GeS}_2$ :an *ab initio* molecular dynamics study// J. Phys.: Condens. Matter.- 2007. -Vol.19 . Pp. 196102-196109.
- Holomb R., Mitsa V., Akyuz S. , Akalin E. New ring-like models and *ab initio* DFT study of the medium-range structures, energy and electronic properties of  $\text{GeSe}_2$  glass // Phil. Mag. - 2013. Vol. 93, No. 19, - pp. 2549–2562.
- S'ebastien Le Roux , Philippe Jund. Ring statistics analysis of topological networks: New approach and application to amorphous  $\text{GeS}_2$  and  $\text{SiO}_2$  systems.// Computational Materials Science. -2010. -Vol.49/ -Pp. 70–83.
- Kotsalas I. P., Raptis C. Structural Raman studies of  $\text{Ge}_x\text{S}_x$  chalcogenide glasses Journal of Optoelectronics and Advanced Materials// - 2001. -Vol. 3, No. 3.-Pp. 675 – 684.

Мица В., Голомб Р., Ловас Г., Вереш М., Боркач Є., Ковач Т., Ріго І.

**Влияние фрагментов низко- и высокотемпературных кристаллических фаз дисульфида германия на формирование смешанного среднего порядка в технологично модифицированном стеклообразном  $c\text{-GeS}_2$ :**

**разностные Раман спектры и первопринципные расчеты**

**Аннотация.** В разностных Раман спектрах  $\{\text{I}_R\text{GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_i)\text{-I}_R\text{GeS}_2(\text{T}_2\text{V}_1)\}$  технологически модифицированного  $c\text{-GeS}_2(\text{T}_i, \text{V}_j)$ , по сравнению с обычным Раман спектром  $\text{I}_R\text{GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_1)$ , выявлено расщепление наиболее интенсивной колебательной полосы около 340  $\text{cm}^{-1}$ . Частотное положение максимумов полос, найденных в разностных спектрах  $c\text{-GeS}_2(\text{T}_i, \text{V}_j)$  около 340 і 360  $\text{cm}^{-1}$  и интенсивных колебательных мод в обычных Раман спектрах низко- и высокотемпературных кристаллических фаз  $\alpha$ -,  $\beta\text{-GeS}_2$  показало удовлетворительное согласие. Были вырезаны 4-6, 6 і 4- членные кольцевые фрагменты из кристаллической структуры  $\beta\text{-GeS}_2$  и проведен расчет их колебательного спектра. В кольцевом приближении, в терминах колебаний тетраэдров  $\text{GeS}_4$ , связанных углами и ребрами, проведена структурная интерпретация колебательных мод при 360, 370

и  $433\text{cm}^{-1}$  Раман спектров  $c\text{-GeS}_2(\text{T}_i, \text{V}_j)$ . Наличие «дефектных» гомеопольярных Ge-Ge и S-S связей в стеклах отнесено к образованию 5-тичленных колец в матрице структуры стеклообразного дисульфида германия. Образование фрагментов низко- и высокотемпературных кристаллических фаз  $\alpha$ -,  $\beta\text{-GeS}_2$  в структуре  $c\text{-GeS}_2(\text{T}_i, \text{V}_j)$  свидетельствует о формировании смешанного среднего порядка в технологически модифицированном стеклообразном  $c\text{-GeS}_2$ .

**Ключевые слова:** Раман спектроскопия, халькогенидное стекло, средний порядок, структура стекол, кольца

**Mitsa V., Golomb R., Lovas G., Veresh M., Borkach E., Kovacs T., Rigo J.**

**Effect of fragments of low-and high-temperature crystalline phases in germanium disulfide formation of mixed middle order in the technologically modified glassy  $c\text{-GeS}_2$ : difference Raman spectra and first principle calculations**

**Abstract.** In comparison with ordinary Raman spectra in difference  $\{I_{\text{R}}\text{GeS}_2(\text{T}_i, \text{V}_j) - I_{\text{R}}\text{GeS}_2(\text{T}_2, \text{V}_1)\}$  Raman spectra of technologically modified  $g\text{-GeS}_2(\text{T}_i, \text{V}_j)$  there was found the splitting of main, more intensive wide-band, centered at  $340\text{ cm}^{-1}$ . Frequency position of finding bands in difference Raman spectra near  $340$  and  $360\text{ cm}^{-1}$  and position of main vibrational modes in ordinary Raman spectra of low- and high-temperature crystalline phases  $\alpha$ -,  $\beta\text{-GeS}_2$  are in good agreement. Vibrational spectra of 4-6, 6 и 4-members rings fragments, which was cut from crystalline structure  $\beta\text{-GeS}_2$ , were calculated. Based on rings composed with  $\text{GeS}_4$  tetrahedrons connected by corner and edges the structural interpretation of vibrational bands of Raman spectra  $g\text{-GeS}_2(\text{T}_i, \text{V}_j)$  at  $360$ ,  $370$  и  $433\text{ cm}^{-1}$  was done. Existing of “defects” homopolar Ge-Ge and S-S bonds in the structure of germanium disulfide glasses was assigned with formation 5 member rings. Formation of fragments of low- and high-temperature crystalline phases  $\alpha$ -,  $\beta\text{-GeS}_2$  in the structure of  $g\text{-GeS}_2(\text{T}_i, \text{V}_j)$  is evidences of existents the mixing middle range order in  $g\text{-GeS}_2$ .

**Keywords:** Raman spectroscopy, chalcogenide glass, middle range order, glassy structure, rings

Ausheva N.

Modeling of minimal surfaces based on isotropic curves and quasiconformal change of parameter

Ausheva Natalia, Ph.D., docent

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

**Abstract.** The paper is proposed constructing of minimal surfaces based on spatial isotropic Bezier curves. Modeling of isotropic curves is realized in a complex space. Several methods of constructing such curves: based on analytic functions of a complex variable, based on a specified real curve in the plane and based on the deformation of a plane curve in the complex space are proposed. Conditions of isotropy of the Bezier curve of the  $n^{\text{th}}$  order are found and the curve of the  $3^{\text{d}}$  order is constructed as an example. A special case of constructing a Bezier curve based on isotropic sides of the characteristic quadrilateral is examined, in this case the real curve will be on the plane in three-dimensional space. The resulting curves were used as a guide curve for constructing surfaces. To create a surface the quasiconformal change of parameter in the equation of an isotropic curve is done. By separating the real and imaginary parts we get the equations of the surfaces. The analysis of the coefficients of the first and second quadratic forms is done. It was proved that the resulting surface are minimal surfaces.

**Keywords:** isotropic curves, Bezier curves, minimal surfaces

*Problem statement.* Minimal surfaces are widely distributed in the nature as the most economical surfaces: they have the smallest space between the closing them contour, tensions in all directions of the surface are the same. These properties of minimal surfaces determine their advantages in design and construction. There is a class of problems where their solution depends on functional and esthetic needs. In addition to the quantitative characteristics it is necessary to consider the practical experience of the developer. Bezier method has been developed to work in the interactive mode and for intuitive representation of the influence of tangent on the curve shape. Due to the new opportunities that have emerged due to the development of computer technology, the problem of constructing unlimited minimal surfaces based on the guide isotropic Bezier curve has been emerged.

*Analysis of publications.* One of the methods of constructing minimal surfaces were offered by Weierstrass [1], he was constructing these kinds of surfaces on the basis of isotropic curves or minimal curves which length in the complex space is equal to zero:

$$x(t)^2 + y(t)^2 + z(t)^2 = 0. \quad (1)$$

The theory of minimal curves (isotropic) was founded by Sophus Lie [4]. Isotropic geometry was developed by Strubecker in the 1940s. The main states are in the monograph [2]. Kartan and his followers were constructed and researched the isotropic curves in the complex space [3,4], the main focus was on constructing the isotropic curves on the basis of the moving reference points. Weierstrass proposed a non-quadrature representation of

$$\begin{aligned} x &= i \cdot \left\{ \sum_{j=0}^{n-2} \left[ \frac{(j-1)(j-2)}{2} a_j - \frac{(j+1)(j+2)}{2} a_{j+2} \right] t^j + \sum_{j=n-1}^n \frac{(j-1)(j-2)}{2} a_j t^j \right\}, \\ y &= \left\{ \sum_{j=0}^{n-2} \left[ \frac{(j-1)(j-2)}{2} a_j + \frac{(j+1)(j+2)}{2} a_{j+2} \right] t^j + \sum_{j=n-1}^n \frac{(j-1)(j-2)}{2} a_j t^j \right\}, \\ z &= i \cdot \left\{ \sum_{j=0}^{n-1} (j+1)(j-1) a_{j+1} t^j \right\}. \end{aligned} \quad (4)$$

To go from equation (4) to the form (2) it is necessary to find the value of the radius vector of the characteristic points of the polygon  $\mathbf{r}_j = [x_j \ y_j \ z_j]$ . To do this we have to compare the coefficients of equations (2) and (4)

$$i \cdot \left\{ \frac{(j-1)(j-2)}{2} a_j - \frac{(j+1)(j+2)}{2} a_{j+2} \right\} = \sum_{l=0}^j (-1)^{j-l} x_l \frac{n!}{l!(j-l)!(n-j)!} \quad (5)$$

isotropic curves [1]. Separately, you can highlight the works of applied geometry [5].

*The purpose of this work* is development of the method of constructing minimal surfaces based on the isotropic Bezier curves of the  $n^{\text{th}}$  order. Using Bezier curves will make the method of generating of surfaces flexible to changes of formation conditions of the guide curve.

*The basic part.* Bezier curve will have the next form:

$$\mathbf{r}(t) = \sum_{j=0}^n \mathbf{r}_j J_{n,j}(t), \text{ де } J_{n,j}(t) = \frac{n!}{j!(n-j)!} t^j (1-t)^{n-j}, \quad (2)$$

where  $\mathbf{r}_j = [x_j \ y_j \ z_j]$

**- Spatial isotropic Bezier curves of the  $n^{\text{th}}$  order based on analytic functions**

Let's construct isotropic curve of the  $n^{\text{th}}$  order on the basis of analytical function of Weierstrass method. Let the function  $f(t)$  is defined as:

$f(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + \dots + a_n t^n$ , where  $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  - some complex values. Equation of isotropic curve will have the form [1]:

$$\begin{aligned} x &= i \cdot \left\{ (f(t) - t \cdot f'(t) - \frac{1-t^2}{2} f''(t)) \right\}, \\ y &= \left\{ f(t) - t \cdot f'(t) + \frac{1+t^2}{2} f''(t) \right\}, \\ z &= -i \cdot \{ f'(t) - t \cdot f''(t) \}. \end{aligned} \quad (3)$$

Let's find derivatives  $f'(t)$  and  $f''(t)$  and let's substitute into the equation of isotropic curve (3), we will have:

of the appropriate  $t^j$ . We obtain  $n$  equations for each coordinate:

If  $0 \leq j \leq n-2$

$$\left\{ \frac{(j-1)(j-2)}{2} a_j + \frac{(j+1)(j+2)}{2} a_{j+2} \right\} = \sum_{l=0}^j (-1)^{j-l} y_l \frac{n!}{l!(j-l)!(n-j)!}$$

$$i \cdot \left\{ (j+1)(j-1) a_{j+1} \right\} = \sum_{l=0}^j (-1)^{j-l} z_l \frac{n!}{l!(j-l)!(n-j)!};$$

If  $j = n - 1$

$$i \cdot \left\{ \frac{(j-1)(j-2)}{2} a_j \right\} = \sum_{l=0}^j (-1)^{j-l} x_l \frac{n!}{l!(j-l)!(n-j)!}$$

$$\left\{ \frac{(j-1)(j-2)}{2} a_j \right\} = \sum_{l=0}^j (-1)^{j-l} y_l \frac{n!}{l!(j-l)!(n-j)!}; \tag{6}$$

$$i \cdot \left\{ (j+1)(j-1) a_{j+1} \right\} = \sum_{l=0}^j (-1)^{j-l} z_l \frac{n!}{l!(j-l)!(n-j)!};$$

If  $j = n$

$$i \cdot \left\{ \frac{(j-1)(j-2)}{2} a_j \right\} = \sum_{l=0}^j (-1)^{j-l} x_l \frac{n!}{l!(j-l)!(n-j)!}$$

$$\left\{ \frac{(j-1)(j-2)}{2} a_j \right\} = \sum_{l=0}^j (-1)^{j-l} y_l \frac{n!}{l!(j-l)!(n-j)!}, \quad 0 = \sum_{l=0}^j (-1)^{j-l} z_l \frac{n!}{l!(j-l)!(n-j)!}. \tag{7}$$

Equations (5), (6) and (7) will form a system of equations with a lower triangular matrix, which is solved by sequential substitution of values that were found.

Cubic isotropic Bezier curve will have the next form:

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{r}_0(1-t)^3 + 3\mathbf{r}_1(1-t)^2t + 3\mathbf{r}_2(1-t)t^2 + \mathbf{r}_3t^3, \tag{8}$$

where  $\mathbf{r}_0[(a_0 - a_2)i \quad a_0 + a_2 \quad -a_1i],$

$$\mathbf{r}_1[(a_0 - a_2 - a_3)i \quad a_0 + a_2 + a_3 \quad -a_1i],$$

$$\mathbf{r}_2[(a_0 - a_2 - 2a_3)i \quad a_0 + a_2 + 2a_3 \quad (a_3 - a_1)i],$$

$$\mathbf{r}_3[(a_0 - a_2 - 2a_3)i \quad a_0 + a_2 + 4a_3 \quad (3a_3 - a_1)i]$$

When you set the cubic isotropic Bezier curve on the basis of the Weierstrass method on the basis of analytic functions, 12 coordinates of the characteristic quadrilateral are calculated on the basis of 4 independent complex parameters, making it impossible to have an interactive control of the curve form. For the isotropic Bezier curve of the  $n^{\text{th}}$  order  $3(n+1)$  the points' coordinates of characteristic polygon are set on the basis of  $(n+1)$  independent complex values.

**- Formation of the isotropic Bezier curve on the basis of the plane real curve**

Let's model a spatial isotropic curve using the real plane parametric curve. As initial parameters we will take the plane Bezier curve, i.e. we will set equation of the curve on the plane  $x = x(t), y = y(t)$ . For the realization condition of isotropy the third coordinate is found on the

$$\sum_{r=x,y,z} n^2 \left[ \sum_{j=0}^{n-1} (r_{j+1} - r_j)^2 J_{n-1,j}^2(t) + 2 \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{l=j+1}^{n-1} (r_{j+1} - r_j)(r_{l+1} - r_l) J_{n-1,j}(t) J_{n-1,l}(t) \right] = 0. \tag{9}$$

Expression (9) – is a condition for spatial isotropic Bezier curve of the  $n^{\text{th}}$  order.

This condition will not be dependent of the values of the parameter  $t$  if we equate to zero the coefficients of  $t^j$ .

Let's write the system of equations that defines the condition of isotropy for the coefficients of Bezier curve

$$n^2 [(r_{j+1} - r_j)^2 \left( \frac{(n-1)!}{j!(n-1-j)!} \right)^2 + 2 \sum_{l=j+1}^{n-1} (r_{j+1} - r_j) \left( \frac{(n-1)!}{j!(n-1-j)!} \right) (r_{l+1} - r_l) \left( \frac{(n-1)!}{l!(n-1-l)!} \right)] = 0; \tag{10}$$

If  $j = 2k - 1$ , then the coefficient of  $t^j(1-t)^{n-1-j}$  is calculated as follows:

basis of the expression [5]:

$z(t) = i \int \sqrt{(x'(t))^2 + (y'(t))^2} dt$ . In general case (i.e. when the curve is not a Pythagorean-hodograph curve) it's impossible to get the expression without additional calculations, so we apply approximation methods.

We will solve the problem in two stages: on the first stage we will get the polynomial that approximates the function of the square root, and on the second stage we will get the integral.

One of the major disadvantages when we use approximation methods of constructing of spatial curve is the fact that only two coordinates:  $x = x(t)$  and  $y = y(t)$  will correspond to Bezier curve, third coordinate  $z(t)$  will be in the form of an arbitrary polynomial. It's impossible to manage these curves interactively.

**- Formation of an spatial isotropic Bezier curve on the basis of isotropic sides of the characteristic polygon**

Let's consider the formation of spatial Bezier curve of the  $n^{\text{th}}$  order when isotropic characteristics are set. As isotropic characteristics may be characteristic sides and chord of the polygon. Let's find limitations that must be imposed on the coordinates of the reference points of the Bezier curve. To do this, let's take the derivative of equation (2) and substitute to the expression (1):

of the  $n^{\text{th}}$  order. The number of conditions is:  $j = 0..(2n-1)$ .

If  $j = 2k$ , then the coefficient of  $t^j(1-t)^{n-1-j}$  is calculated on the basis of correlation:

$$n^2 \left[ 2 \sum_{l=j+1}^{n-1} (r_{j+1} - r_j) \left( \frac{(n-1)!}{j!(n-1-j)!} \right) (r_{l+1} - r_l) \left( \frac{(n-1)!}{l!(n-1-l)!} \right) \right] = 0. \tag{11}$$

Equations (10) and (11) constitute a system of equations to determine limitations of the values of the reference points of the spatial isotropic Bezier curve of the  $n^{\text{th}}$  order.

If all sides of the characteristic polygon of the curve are isotropic, i.e. for all  $i=0..(n-1)$  are executed the

$$n^2 \left[ 2 \sum_{l=j+1}^{n-1} (r_{j+1} - r_j) \left( \frac{(n-1)!}{j!(n-1-j)!} \right) (r_{l+1} - r_l) \left( \frac{(n-1)!}{l!(n-1-l)!} \right) \right] = 0 \tag{12}$$

For cubic spatial isotropic Bezier curve of the  $3^{\text{d}}$  order we will have:

$$\begin{aligned} \sum_{r=x,y,z} (r_1 - r_0)^2 = 0, \quad \sum_{r=x,y,z} (r_1 - r_0)(r_2 - r_1) = 0, \quad 2 \sum_{r=x,y,z} (r_2 - r_1)^2 + \sum_{r=x,y,z} (r_1 - r_0)(r_3 - r_2) = 0, \\ \sum_{r=x,y,z} (r_2 - r_1)(r_3 - r_2) = 0, \quad \sum_{r=x,y,z} (r_3 - r_2)^2 = 0. \end{aligned} \tag{13}$$

Expression (13) determines the conditions of isotropy of the spatial Bezier curve of the  $3^{\text{d}}$  order.

Analysis of the expression (13) shows that the length of the first and last link of the characteristic quadrilateral must be equal to zero, i.e. it must be isotropic.

If  $\sum_{r=x,y,z} (r_2 - r_1)^2 = 0$ , then the chord that subtends the curve segment will be isotropic.

**- Modeling of spatial isotropic Bezier curve on the basis of deformation of the plane curve**

Let's deform the plane isotropic curve so that the length of the curve in the complex space is remained unchanged, i.e. the curve is remained isotropic. For a plane isotropic Bezier curve all sides of the characteristic polygon and chord are equal to zero, and for spatial curve, this condition should not be stored, so let's make the method to have a possibility to change the points of the characteristic polygon to store the conditions of isotropy length of the curve. Let's set the determined coordinates for spatial curve as follows:  $z_0, \mathbf{r}_j = [x_j \quad y_j]$ , where  $j = \frac{n+3}{2}$ .

Let's consider the first condition of isotropy of Bezier curve of the  $n^{\text{th}}$  order, namely the isotropy of sides of characteristic polygon, which match with the direction of the tangent at the point  $\mathbf{r}_0$ :  $\sum_{r=x,y,z} (r_1 - r_0)^2 = 0$ . Accord-

ing to initial input data only coordinate  $z_1$  is undetermined in this expression. Considering that for the plane curve:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{\text{Re}}(u, v) = \mathbf{r}_0 \text{Re}(1 - 3u + 3u^2 - 3v^2k^2 - u^3 + 3uv^2k^2) - \mathbf{r}_0 \text{Im}(-3vk + 6uvk - 3u^2vk + v^3k^3) - \\ - (-3\mathbf{r}_1 \text{Re}(1 - 2u + u^2 - v^2k^2) + 3\mathbf{r}_1 \text{Im}(-2vk + 2uvk))u + (-3\mathbf{r}_1 \text{Im}(1 - 2u + u^2 - v^2k^2) - \\ - 3\mathbf{r}_1 \text{Re}(-2vk + 2uvk))vk - (-3\mathbf{r}_2 \text{Re}(1 - u) - 3\mathbf{r}_2 \text{Im}vk)(u^2 - v^2k^2) + 2(-3\mathbf{r}_2 \text{Im}(1 - u) + \\ + 3\mathbf{r}_2 \text{Re}vk)uvk + \mathbf{r}_3 \text{Re}(u^3 - 3uv^2k^2) - \mathbf{r}_3 \text{Im}(3u^2vk - v^3k^3). \end{aligned} \tag{15}$$

When we change  $t = ku + iv$  then we get:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{\text{Re}}(u, v) = \mathbf{r}_0 \text{Re}(1 - 3uk + 3u^2k^2 - 3v^2 - u^3k^3 + 3uv^2k) - \mathbf{r}_0 \text{Im}(-3v + 6uvk - 3u^2vk^2 + v^3) - \\ - (-3\mathbf{r}_1 \text{Re}(1 - 2uk + u^2k^2 - v^2) + 3\mathbf{r}_1 \text{Im}(-2v + 2uvk))uk + (-3\mathbf{r}_1 \text{Im}(1 - 2uk + u^2k^2 - v^2) - \\ - 3\mathbf{r}_1 \text{Re}(-2v + 2uvk))v - (-3\mathbf{r}_2 \text{Re}(1 - uk) - 3\mathbf{r}_2 \text{Im}v)(u^2k^2 - v^2) + 2(-3\mathbf{r}_2 \text{Im}(1 - uk) + \\ + 3\mathbf{r}_2 \text{Re}v)uvk + \mathbf{r}_3 \text{Re}(u^3k^3 - 3uv^2k) - \mathbf{r}_3 \text{Im}(3u^2vk^2 - v^3). \end{aligned} \tag{16}$$

Let isotropic Bezier curve is constructed using equation (8) on the basis of analytic functions. Let's substitute

correlation  $\sum_{r=x,y,z} (r_{i+1} - r_i)^2 = 0$  and condition

$\sum_{r=x,y,z} (r_0 - r_n)^2 = 0$  (isotropy of the chord that subtends

the first and last point of the polygon), then we will have a system of equations:

$(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 = 0$  then the first condition will be the next:  $z_1 = z_0$ .

Let's consider the second condition:

$\sum_{r=x,y,z} (r_1 - r_0)(r_2 - r_1) = 0$ . Substituting the first condi-

tion in this expression we get the equation that is equal to zero. So the second condition allows setting an arbitrary coordinate  $z_2$ , which is defined and depends on the order of the curve. The following undetermined coordinates are defined with sequential substitution of coordinates that in the previous equations were found. So that we get a method that allows you to find the isotropic Bezier curve of the  $n^{\text{th}}$  order without solving the quadratic equation (13). For a cubic spatial Bezier curve the following undetermined coordinates will be getting on the basis of the following correlations:

$$\begin{aligned} y_3 = \frac{-2(z_2 - z_1)^2 - (x_1 - x_0)(x_3 - x_2)}{(y_1 - y_0)} + y_2; \\ z_3 = \frac{2(y_2 - y_1)(z_2 - z_1)}{(y_1 - y_0)} + z_2; \\ x_3 = \frac{-(z_2 - z_1)^2 - (y_2 - y_1)^2}{(x_1 - x_0)} + x_2. \end{aligned} \tag{14}$$

When we apply the method of Weierstrass, the surface is constructed on the basis of the isotropic guide curve and changing  $t=u+iv$ . We could call the change - quasiconformal, if the parameter  $t$  will be substituted instead of the complex variable  $ku+iv$  and  $u+ikv$ :  $t=ku+iv$  or  $t=u+ikv$ . As the guide curve we will use cubic isotropic Bezier curve. When we change  $t=u+ikv$  then we get:

the values of reference points (8) in equations (15) and (16). Let's calculate the coefficients of the first and the second quadratic forms.

$$E = 9a_3^2 \text{Re}[2u^2v^2k^2 + v^4k^4 + 2v^2k^2 + 1 + 2u^2 + u^4] + 9a_3^2 \text{Im}[v^4k^4 + 2v^2k^2 + 2v^2k^2u^2 + 1 + 2u^2 + u^4],$$

$$G = 9a_3^2 \text{Re}[u^4k^2 + 2u^2v^2k^4 + 2u^2k^2 + v^4k^6 + 2v^2k^4 + k^2] + 9a_3^2 \text{Im}[2u^2v^2k^4 + v^4k^6 + 2v^2k^4 + u^4k^2 + 2u^2k^2 + k^2],$$

$$F = 0.$$

Analysis of the expressions shows that  $E \neq G \Rightarrow k^2 E = G$ . If you calculate the coefficients of the second quadratic form then we get the following dependencies:

$$k^2 L = -N, \quad M = \frac{a_3 \text{Re} L k}{a_3 \text{Im}}$$

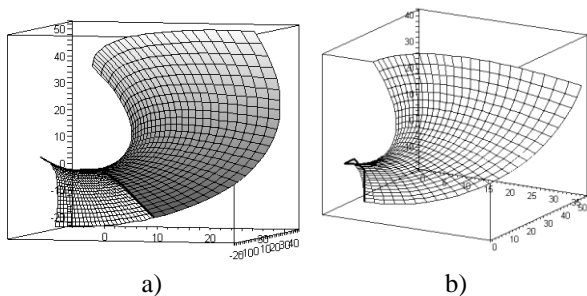


Fig.1. Minimal surfaces on the basis of isotropic Bezier curve

For  $t=u+ikv$  coefficients of the first quadratic form will be:

Mean curvature of the surface in this case is equal to 0, i.e. we will have  $H = 0$ .

Similar research can be conducted with the change  $t=ku+iv$ . On the Fig.1a) is shown the two surfaces with different coefficients  $k$  for change  $t=u+ikv$ :  $k=-1.5$  and  $k=0.5$ . On the Fig. 1b) is shown the surface that is classified as the lines of curvature.

**Conclusions.** Researches have shown that applying the method of Bezier for the construction of the isotropic curve increased the number of points that can be controlled and allows you to have an interactively control of the curve shape. When we use the quasiconformal change of parameter in the equation of the isotropic curve we get the minimal surface with  $H = 0$ , but also with  $E \neq G$ .

#### REFERENCES (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Blaschke W. Vorlesungen uber Differentialgeometrie. – Springer, Heidelberg, 1929. –Vol. 3. –P.230.
  2. Sachs, H. Isotrope Geometrie des Raumes. – Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden,1990.
  3. Wang Z., Pei D., Chen L., Kong L., Han Q. Singularities of Focal Surfaces of Null Cartan Curves in Minkowski 3-Space // Publishing Corporation Abstract and Applied Analysis,2012.
  4. Картан Э. Теория конечных непрерывных групп и дифференциальная геометрия, изложенные методом подвижного репера. – Издательство Московского университета, 1963. – 366 с.
  5. Пилипака С.Ф., Коровіна І.О. Конструювання мінімальної поверхні гвинтовим рухом просторової кривої // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет. – Вип.4, т.39. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С.30-36.
- Kartan E. Teoriya konechnih neprerivnih grupp i differenzialnaya geometriya, izlogenie metodom podvignogo repera. – Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, 1963. – 366 s.*
- Pilipaka S.F., Korovina I.O. Konstruyuvannya minimalnoi poverhni gvintovim ruhom prostоровoi krivoi// Prikladna geometriya ta ingenerna grafika. Prazi / Tavriiski dergavnii agrotehnologichnii universitet. – Vip.4, m.39. – Melitopol: TDATU, 2008. – S.30-36.*

Аушева Н.Н.

**Моделирование минимальных поверхностей на основе изотропных кривых и квазиконформной замены параметра**

**Аннотация.** В работе рассматривается построение минимальных поверхностей на основе пространственных изотропных кривых Безье. Моделирование изотропных кривых осуществляется в комплексном пространстве. Предлагается несколько способов построения таких кривых: на основе аналитической функции комплексной переменной, на основе заданной действительной кривой на плоскости, на основе деформации плоской кривой в комплексном пространстве. Найдены условия изотропности для кривой Безье  $n$ -го порядка и приведен пример для кривой третьего порядка. Рассмотрен частный случай построения кривой Безье на основе изотропных сторон характеристического четырехугольника, в этом случае действительная кривая будет лежать на плоскости в трехмерном пространстве. Полученные кривые были использованы в качестве направляющей кривой для построения поверхностей. Для построения поверхности производится квазиконформная замена параметра в уравнении изотропной кривой. Путем выделения действительной и мнимой части получаем уравнения поверхностей. Проведен анализ коэффициентов первой и второй квадратичных форм. Было доказано, что полученные поверхности являются минимальными поверхностями.

**Ключевые слова:** изотропные кривые, кривые Безье, минимальные поверхности

**Стеблянюк П.О., Кравчук Т.В.**  
**Побудова базисного тривимірного сплайна для розв'язування**  
**задач математичного моделювання**

*Кравчук Тетяна Володимирівна, аспірант*  
*Стеблянюк Павло Олексійович, професор, доктор фізико-математичних наук*  
*кафедра математики та методики навчання математики*  
*Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, м. Черкаси, Україна*

**Анотація.** Сплайни на сьогоднішній день досить добре зарекомендували себе при інтерполяції та розв'язках різноманітних задач математичного моделювання. Дана робота також присвячена проблемі побудови одного із видів сплайн-функцій, а саме побудові тривимірного базисного сплайну. Тут запропонований загальний вид тривимірного сплайна у вигляді добутку трьох поліномів третього порядку. Суть роботи полягає у тому, щоб знайти дванадцять невідомих коефіцієнтів даного сплайна. Зазначимо, що областю проектування тривимірного базисного сплайну є куб, який розпадається на вісім рівнозначних кубиків, які в свою чергу діляться ще на вісім рівних попарно еквівалентних частин. При застосуванні всіх умов, включаючи значення похідних в вершинах куба отримано систему з десяти рівнянь, розв'язавши яку знаходимо коефіцієнти тривимірного сплайна, але залежні від кількох параметрів, які в результаті підстановки в загальне рівняння скорочуються і отримується формула загального виду тривимірного кубічного базисного сплайну. Також в даній роботі розглянуто ще три окремі випадки, а саме випадок коли вільний член одного із множників тривимірного сплайну дорівнює нулю, випадок, коли два вільні члени дорівнюють нулю, і коли всі три вільні коефіцієнти дорівнюють нулю. До кожного із чотирьох випадків подано приклад побудови певної поверхні за допомогою утвореного базисного сплайна, і як виявилось, кожен окремий випадок представляє побудову частини сплайну в різноманітних кубиках області його проектування.

**Ключові слова.** Сплайн-інтерполяція, тривимірний базисний сплайн, багатомірні сплайн-функції.

**Вступ.** Сплайн-інтерполяція, як одним із методів наближення, широко застосовується для розв'язування задач математичного моделювання. І тому останнім часом дослідження різних способів сплайн-апроксимації є досить актуальним.

Методи сплайн-функцій вже досить добре зарекомендували себе, як один із методів апроксимації при розв'язуванні різних задач математичного моделювання. Цим і зумовлено їх використання в машинній графіці, моделюванні, проектуванні і т.д. В сучасних умовах дизайнерська та інженерна діяльність тісно пов'язана з використанням електронно-обчислювальної техніки. Перед конструкторами, дизайнерами, інженерами завжди постає необхідність мати системи для точного моделювання, візуалізації та аналізу моделей. І чим ефективніші ці моделі, тим краще. Для цього і виникає необхідність побудови багатомірних сплайн-функцій, що допоможе спростити процес моделювання, забезпечуючи при цьому високу точність.

**Огляд публікацій по темі.** Протягом останніх років дослідженнями сплайнів та розв'язанням різноманітних задач з допомогою сплайн-функцій займаючись багато, як зарубіжних, так і українських вчених. Зокрема, в публікації [5] запропоновано новий підхід до розв'язування задачі для циліндричної оболонки обертання зі змінною жорсткістю, в [4] запропоновано новий варіант методу розв'язку нестационарних двовимірних задач термоупругопластичності з допомогою сплайн-функцій, в [3] представлено побудову та дослідження просторових кубічних сплайнів, та їх практичне застосування в задачах механіки та математичної фізики, а також в [6] запропоновано побудову двовимірного базисного сплайну. Приставка О.П. в [2] дослідив двовимірні поліноміальні сплайни на основі В-сплайнів п'ятого порядку, а також запропонував спосіб відтворення поверхонь та гіперповерхонь заснований на використанні В-сплайнів. Зеленський А.С. описав методику автоматизованого оконтурення рудних тіл з використанням В-сплайнів [1].

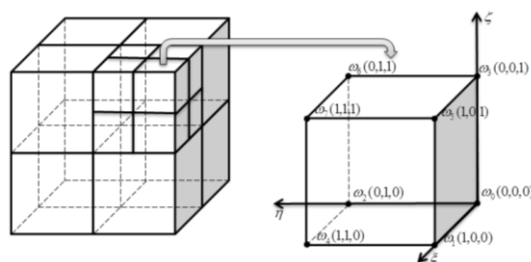
**Метою** даної роботи є представлення побудови тривимірного базисного сплайну, утвореного як добуток трьох поліномів третього порядку.

**Постановка задачі.** Для представлення тривимірного базисного сплайну скористаємося наступною формулою:

$$S = (a_3 \xi^3 + a_2 \xi^2 + a_1 \xi + a_0)(b_3 \eta^3 + b_2 \eta^2 + b_1 \eta + b_0)(c_3 \zeta^3 + c_2 \zeta^2 + c_1 \zeta + c_0) \quad (1)$$

Щоб досягти поставленої мети необхідно знайти коефіцієнти  $a_i, b_j, c_k$  ( $i, j, k=0,1,2,3$ ).

На малюнку 1 зображено куб в якому необхідно побудувати базисний тривимірний сплайн (1).



**Малюнок 1.**

**Результати роботи.** Знайдемо перші похідні по всіх змінних сплайна (1) і, підставляючи координати точок  $\omega_i$  ( $i=0,1,2,\dots,7$ ) (мал.1) в (1) та знайдені похідні, утворимо систему з 32-х рівнянь, із якої потрібно виразити невідомі коефіцієнти  $a_i, b_j, c_k$  ( $i, j, k=0,1,2,3$ ) через наперед задані значення точок на даній поверхні (мал. 1). Для цього із даної системи вибираються десять рівнянь, кожне з яких не може бути виражене через інше рівняння з цієї системи. В результаті проведених розрахунків, при  $\omega_0 \neq 0$  отримаємо:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \omega_{0\xi} \cdot \frac{a_0}{\omega_0}; & a_2 &= (3\omega_1 - 3\omega_0 - 2\omega_{0\xi} - \omega_{1\xi}) \frac{a_0}{\omega_0}; \\
 a_3 &= (-2\omega_1 + 2\omega_0 + \omega_{0\xi} + \omega_{1\xi}) \frac{a_0}{\omega_0}; \\
 b_1 &= \omega_{0\eta} \cdot \frac{b_0}{\omega_0}; & b_2 &= (3\omega_2 - 3\omega_0 - 2\omega_{0\eta} - \omega_{2\eta}) \frac{b_0}{\omega_0}; \\
 b_3 &= (-2\omega_2 + 2\omega_0 + \omega_{0\eta} + \omega_{2\eta}) \frac{b_0}{\omega_0}; \\
 c_1 &= \omega_{0\zeta} \cdot \frac{c_0}{\omega_0}; & c_2 &= (3\omega_3 - 3\omega_0 - 2\omega_{0\zeta} - \omega_{3\zeta}) \frac{c_0}{\omega_0}; \\
 c_3 &= (-2\omega_3 + 2\omega_0 + \omega_{0\zeta} + \omega_{3\zeta}) \frac{c_0}{\omega_0};
 \end{aligned}$$

Введемо позначення:

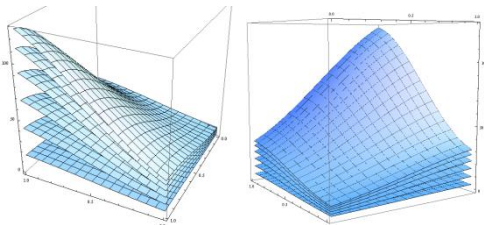
$$\begin{aligned}
 A_1 &= \omega_{0\xi}; & B_1 &= \omega_{0\eta}; & C_1 &= \omega_{0\zeta}; & A_2 &= (3\omega_1 - 3\omega_0 - 2\omega_{0\xi} - \omega_{1\xi}); \\
 B_2 &= (3\omega_2 - 3\omega_0 - 2\omega_{0\eta} - \omega_{2\eta}); & C_2 &= (3\omega_3 - 3\omega_0 - 2\omega_{0\zeta} - \omega_{3\zeta}); \\
 A_3 &= (-2\omega_1 + 2\omega_0 + \omega_{0\xi} + \omega_{1\xi}); & B_3 &= (-2\omega_2 + 2\omega_0 + \omega_{0\eta} + \omega_{2\eta}); \\
 C_3 &= (-2\omega_3 + 2\omega_0 + \omega_{0\zeta} + \omega_{3\zeta}). \quad (3)
 \end{aligned}$$

Підставимо вирази знайдених коефіцієнтів (2) в (1), використавши позначення (3). В результаті маємо загальний вигляд базисного тривимірного сплайну (4), утвореного як добуток трьох поліномів третього порядку в кубі  $[0;1] \times [0;1] \times [0;1]$  (мал. 1).

$$S = (A_3 \xi^3 + A_2 \xi^2 + A_1 \xi + \omega_0) (B_3 \eta^3 + B_2 \eta^2 + B_1 \eta + \omega_0) (C_3 \zeta^3 + C_2 \zeta^2 + C_1 \zeta + \omega_0) \frac{1}{\omega_0^3},$$

, при  $\omega_0 \neq 0$ . (4)

Для того щоб побудувати графік поверхні за допомогою отриманого сплайну (4) зафіксуємо змінну  $\zeta$ , і побудуємо поверхні при зміні  $\zeta$  від 0 до 1 (мал. 2).



Малюнок 2

Необхідно зазначити, що сплайн (4) доцільно використовувати лише при  $\omega_0 \neq 0$ , в протилежному випадку необхідно вибрати інші десять рівнянь із початкової системи, оскільки деякі з рівнянь початкової системи вироджуються, вигляд утвореного базисного сплайну (4) зміниться. Розглянемо всі можливі випадки, при яких  $\omega_0 = 0$ :

1.  $a_0 = 0, b_0 \neq 0, c_0 \neq 0$

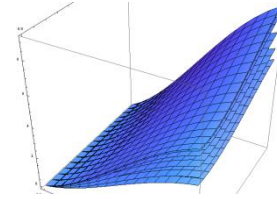
Розв'язуючи утворену систему за параметри візьмемо  $b_0, c_0$ . І ввівши позначення отримаємо:

$$\begin{aligned}
 A_1^1 &= \omega_{0\xi}; & B_1^1 &= \omega_{1\eta}; & C_1^1 &= \omega_{1\zeta}; & A_2^1 &= (3\omega_1 - 2\omega_{0\xi} - \omega_{1\xi}); \\
 B_2^1 &= (3\omega_4 - 3\omega_1 - 2\omega_{1\eta} - \omega_{4\eta}); & C_2^1 &= (3\omega_5 - 3\omega_1 - 2\omega_{1\zeta} - \omega_{5\zeta}); \\
 A_3^1 &= (-2\omega_1 + \omega_{0\xi} + \omega_{1\xi}); & B_3^1 &= (-2\omega_4 + 2\omega_1 + \omega_{1\eta} + \omega_{4\eta}); \\
 C_3^1 &= (-2\omega_5 + 2\omega_1 + \omega_{1\zeta} + \omega_{5\zeta}). \quad (5)
 \end{aligned}$$

Підставимо (9) в (1), використавши позначення (10). В результаті маємо:

$$S = (A_3^1 \xi^3 + A_2^1 \xi^2 + A_1^1 \xi) (B_3^1 \eta^3 + B_2^1 \eta^2 + B_1^1 \eta + \omega_1) (C_3^1 \zeta^3 + C_2^1 \zeta^2 + C_1^1 \zeta + \omega_1) \frac{1}{\omega_1^3},$$

при  $\omega_1 \neq 0$ . (6)



Малюнок 3

На малюнку 3 зображено приклад побудови поверхні за допомогою отриманого в даному випадку тривимірного кубічного базисного сплайну (6), при зміні  $\zeta$  від 0 до 1.

2.  $a_0 = 0, b_0 = 0, c_0 \neq 0$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned}
 A_1^2 &= \omega_{2\xi}; & B_1^2 &= \omega_{1\eta}; & C_1^2 &= \omega_{4\zeta}; & A_2^2 &= (3\omega_4 - 2\omega_{2\xi} - \omega_{4\xi}); \\
 B_2^2 &= (3\omega_4 - 2\omega_{1\eta} - \omega_{4\eta}); & C_2^2 &= (3\omega_7 - 3\omega_4 - 2\omega_{4\zeta} - \omega_{7\zeta}); \\
 A_3^2 &= (-2\omega_4 + \omega_{2\xi} + \omega_{4\xi}); & B_3^2 &= (-2\omega_4 + \omega_{1\eta} + \omega_{4\eta}); \\
 C_3^2 &= (-2\omega_7 + 2\omega_4 + \omega_{4\zeta} + \omega_{7\zeta}). \quad (7)
 \end{aligned}$$

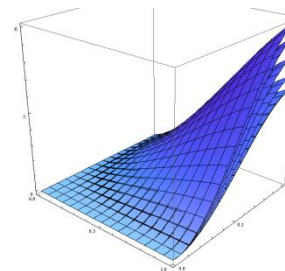
і отримаємо:

$$S = (A_3^2 \xi^3 + A_2^2 \xi^2 + A_1^2 \xi) (B_3^2 \eta^3 + B_2^2 \eta^2 + B_1^2 \eta) (C_3^2 \zeta^3 + C_2^2 \zeta^2 + C_1^2 \zeta + \omega_4) \frac{1}{\omega_4^2},$$

, при  $\omega_4 \neq 0$ . (8)

Даний випадок можливий, коли  $(a_3 + a_2 + a_1) \neq 0$  і  $(b_3 + b_2 + b_1) \neq 0$ .

На малюнку 4 зображено приклад побудови поверхні за допомогою отриманого в даному випадку тривимірного кубічного базисного сплайну (8), при зміні  $\zeta$  від 0 до 1.



Малюнок 4

3.  $a_0 = 0, b_0 = 0, c_0 = 0$

В цьому випадку маємо

$$S = (A_3^3 \xi^3 + A_2^3 \xi^2 + A_1^3 \xi) (B_3^3 \eta^3 + B_2^3 \eta^2 + B_1^3 \eta) (C_3^3 \zeta^3 + C_2^3 \zeta^2 + C_1^3 \zeta) \frac{1}{\omega_7^2},$$

, при  $\omega_7 \neq 0$  (9)

де  $A_1^3 = \omega_{6\xi}; B_1^3 = \omega_{5\eta}; C_1^3 = \omega_{4\zeta}; A_2^3 = (3\omega_7 - 2\omega_{6\xi} - \omega_{7\xi});$

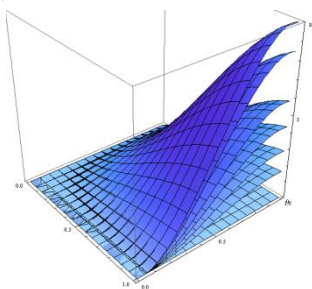
$B_2^3 = (3\omega_7 - 2\omega_{5\eta} - \omega_{7\eta}); C_2^3 = (3\omega_7 - 2\omega_{4\zeta} - \omega_{7\zeta});$

$A_3^3 = (-2\omega_7 + \omega_{6\xi} + \omega_{7\xi}); B_3^3 = (-2\omega_7 + \omega_{5\eta} + \omega_{7\eta});$

$C_3^3 = (-2\omega_7 + \omega_{4\zeta} + \omega_{7\zeta}). \quad (10)$



Наведемо приклад побудованої поверхні за допомогою сплайну (9) у третьому випадку (мал. 5) при зміні  $\zeta$  від 0 до 1.



Малюнок 5

Зауважимо, що даний випадок можливий, коли  $(a_3+a_2+a_1) \neq 0$  і  $(b_3+b_2+b_1) \neq 0$ , і  $(c_3+c_2+c_1) \neq 0$ , якщо ж  $a_0=0, b_0=0, c_0=0$  і  $(a_3+a_2+a_1)=0$ , або  $(b_3+b_2+b_1)=0$ , або  $(c_3+c_2+c_1)=0$ , розв'язання початкової системи рівнянь неможливе.

**Обговорення результатів.** Представлений вище тривимірний базисний сплайн можна застосувати при розв'язуванні інтерполяційних задач та задач математичного моделювання, оскільки, як свідчать дослідження, він дає точність  $o(h^4)$ , де  $h$  – величина кроку розбиття інтерполяційної сітки. До кожного розглянутого випадку додаються приклади побудови поверхні за допомогою відповідного тривимірного сплайна. При чому, як можна побачити з наведених прикладів, в кожному випадку отримується частина базисного сплайну розміщена в одному з чотирьох різноманітних кубиків, поданого куба на малюнку 1. Необхідно за-

значити, що побудова здійснювалась з розрахунку на те, що одна зі змінних є константою, але такою, що належить проміжку  $[0;1]$ , і, якщо її надавати різних значень від 0 до 1, то будуть отримуватись еквівалентні поверхні, але “видовжені” або “стиснуті”, це можна спостерігати на малюнках 2-5, де  $\zeta$  набуває кількох різних значень, а саме  $\{0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1\}$ .

Оскільки побудований сплайн є залежним від трьох змінних то, щоб отримати повний графік даної сплайнової поверхні, його побудову слід здійснювати в чотирьохвимірному просторі, зважаючи на це на малюнках 2-5 подано зображення поверхні сплайну в різних просторових перетинах.

**Висновки.** Отже було побудовано тривимірний базисний сплайн як добуток трьох поліномів третього порядку, а також розглянуть випадки побудови сплайну в залежності від наявності вільного коефіцієнта в кожному із многочленів  $i$ , до кожного випадку подано приклади побудови поверхні сплайну, при зафіксованій одній із змінних, тобто дано різні зображення поверхні сплайну в різних просторових перетинах.

Даний базисний сплайн можна застосовувати при розв'язуванні інтерполяційних задач та задач математичного моделювання, при дослідженні різноманітних поверхонь та для прогнозування їх форми. При чому побудований базисний сплайн не є громіздким, займаючи небагато машинного часу під час обчислень, і його використання дає точність  $o(h^4)$ , що є важливим при розв'язуванні різноманітних задач інтерполяції та задач математичного моделювання.

#### ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Зеленский А.С., Пуханов С.С. Оконтурирование рудных тел с использованием В-сплайнов. / А.С.Зеленский, С.С.Пуханов, Т.А.Подойницына // Вісник КТУ, вип.27. К. – 2011. – с. 3-5.
2. Приставка П.О. Дослідження двовимірного сплайна на основі В-сплайнів п'ятого порядку / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту. – 2008. – Т. 12. – С. 14-27.
3. Steblyanko P. [The study of two-dimensional spline-based B-spline of fifth order] / P. Prystavka, O. Cholyskhina // Actual problems of automation and information technology: Coll. Science. works. - D.: Type of Dnepropetrovsk. Univ. - 2008. - T. 12. - p. 14-27.
4. Стеблянко П.А. Применение двухмерного кубического сплайна для описания геометрических объектов // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (44). – Дніпропетровськ, 2006. – С. 07-111.
5. Steblyanko P. [The use of two-dimensional cubic spline to describe geometric objects] / Sistemni tehnologii. Regional Interuniversity collection of scientific papers. – I. 3 (44). Dnepropetrovsk, 2006. – P. 07-111.
6. Стеблянко П.О. Аналіз обчислювальної ефективності наближених методів при дослідженні нестационарного напружено-деформованого стану тіл з використанням двомірних сплайнів / Методи розв'язування прикладних задач механіки деформованого твердого тіла: Збірник наукових праць ДНУ. – Дніпропетровськ, – 2005. – Вип.7– 73-87с.
7. Steblyanko P. [Analysis of the computational efficiency of approximate methods for the study of unsteady mode of deformable bodies using bivariate splines] / Methods applied problems of mechanics of deformable solids: Proceedings of DNU. - Dnepropetrovsk – 2005. – I.7-73-87p.
8. Стеблянко П.О. Застосування двовимірного напруженого сплайну в задачах механіки / П.О. Стеблянко. Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 5(46). Дніпропетровськ, – 2006. – 17-26с.
9. Steblyanko P. [The use of two-dimensional spline hard problems in mechanics] / P. Steblyanko. System technologies. Regional Interuniversity collection of scientific papers. – I. 5 (46). Dnepropetrovsk – 2006. – 17-26с.
10. Стеблянко П.О., Кравчук Т.В. Побудова та аналіз стикування поверхонь, побудованих за допомогою двовимірних сплайн-функцій / П.О. Стеблянко, Т.В. Кравчук // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету: (технічні науки): тематичний випуск «Математичні проблеми технічної механіки» / Дніпродзержинськ ДДТУ. – 2013. – В. 2(22). – с.75-82.
11. Steblyanko P., Kravchuk T. [Construction and analysis of docking surfaces constructed using two-dimensional spline functions] / P. Steblyanko, T. Kravchuk // Proceedings of Dneprodzerzhinsk State Technical University (Engineering Sciences): Theme Issue 'Mathematical Problems of Engineering Mechanics' // Dneprodzerzhinsk DSTU. - 2013. - Issue 2 (22). - P.75-82.

**Steblyanko P., Kravchuk T.**

**The construction of three-dimensional spline basis for solving problems of mathematical modeling**

**Abstract.** Currently splines to date have proven themselves good enough for interpolating and solutions to various problems of mathematical modeling. This work also deals with the problem of constructing a type of spline functions, namely the construction of a three-dimensional spline basis. It provides a perspective view of a three-dimensional spline as the product of three third-order polynomials. The essence of the work is to find the unknown coefficients of the spline. The area of designing three-dimensional spline basis is a cube that splits into eight equivalent blocks, which in turn are divided into eight equal more pairs of equivalent parts. In the application of all conditions, including the values of the derivatives at the vertices of a cube, a system of ten equations, solving which we find the coefficients of three-dimensional spline, but depending on several parameters, which are a result of substitution in the general equation of the contract and obtain a formula of general form of three-dimensional cubic spline basis. Also in this paper we consider three separate cases, namely the case where the constant term of one of the factors in the three-dimensional spline is equal to zero, a case where two free members are zero, and when all three independent coefficients equal to zero. For each of the four cases is an example of building a specific surface formed by the base spline, and as it turned out, each individual case is the construction of the spline in different cubes of its design.

**Keyword:** *Spline interpolation, three-dimensional spline basis, multi-dimensional spline functions.*

**Стеблянюк П.А., Кравчук Т.В.**

**Построение базисного трехмерного сплайна для решения задач математического моделирования**

**Аннотация.** Сплайны на сегодняшний день достаточно хорошо зарекомендовали себя при интерполяции и решениях различных задач математического моделирования. Данная работа также посвящена проблеме построения одного из видов сплайн-функций, а именно построению трехмерного базисного сплайна. Здесь предложен общий вид трехмерного сплайна в виде произведения трех полиномов третьего порядка. Суть работы заключается в том, чтобы найти неизвестные коэффициенты данного сплайна. Отметим, что областью проектирования трехмерного базисного сплайна является куб, который распадается на восемь равнозначных кубиков, которые в свою очередь делятся еще на восемь равных попарно эквивалентных частей. При применении всех условий, включая значения производных в вершинах куба получена система из десяти уравнений, решив которую находим коэффициенты трехмерного сплайна, но зависящие от нескольких параметров, которые в результате подстановки в общее уравнение сокращаются и получается формула общего вида трехмерного кубического базисного сплайна. Также в данной работе рассмотрены еще три отдельных случая, а именно случай, когда свободный член одного из множителей трехмерного сплайна равен нулю, случай, когда два свободных члена равны нулю, и когда все три свободные коэффициенты равны нулю. К каждому из четырех случаев приведен пример построения определенной поверхности при помощи образованного базисного сплайна, и как оказалось, каждый отдельный случай представляет построение части сплайна в различных кубиках области его проектирования.

**Ключевые слова:** *Сплайн-интерполяция, трехмерный базисный сплайн, многомерные сплайн-функции.*

## MEDICINE

### **Гайструк Н.А., Мельник А.В., Гайструк А.В., Стенянський Р.П.** **Роль арт-терапії в корекції психоемоційного стану та нейроендокринної адаптації** **у дітей з цефалгіями напруження**

*Гайструк Наталія Анатоліївна, доктор медичних наук, доцент,  
Мельник Андрій Володимирович, кандидат медичних наук, ст. викладач,  
Гайструк Анатолій Віталійович, студент, член-кореспондент малої академії наук,  
Стенянський Роман Павлович, студент,  
Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, м. Вінниця, Україна*

**Анотація.** В даній статті виконаний аналіз ролі арт-терапевтичних методик в корекції психоемоційного стану та нейроендокринної адаптації у дітей з цефалгіями напруження. Обґрунтовано доцільність використання арт-терапевтичних мистецьких технік у дітей з епізодичним та хронічним головним болем напруження. Застосування арт-терапевтичних мистецьких технік достовірно зменшує рівень реактивної та особистісної тривожності, депресивності, у дітей з хронічною формою цефалгії напруження, що є доказом депримуючого впливу арт-терапії на активність симпато-адреналової системи.

**Ключові слова:** арт-терапія, цефалгії напруження, тривожність, депресія, адреналін, норадреналін.

Поширеність головного болю у дітей помітно збільшується з віком і у підлітковому періоді становить приблизно 75% [6]. Головний біль важко переноситься дітьми, позначається на їх настрої, поведінці, працездатності, навчанні та подальшій професійній орієнтації. Тривожні думки «нарколо» власного болю та його вогнища підвищують больову перцепцію.

Використання арт-терапевтичних методик дозволяє ефективно коригувати емоційні та інші психологічні порушення, однак, на сьогодні відсутні дані щодо ефективності та доцільності застосування арттерапії у дітей з цефалгіями, тому, подальші дослідження в цьому напрямку становлять значну наукову новизну та практичне значення даного методу.

**Мета дослідження:** комплексна оцінка ефективності використання арт-терапевтичних мистецьких технік для корекції психоемоційного стану та нейроендокринної адаптації у дітей з цефалгіями напруження.

#### **Завдання дослідження:**

1. Дослідити показники психоемоційного стану (тривожність, рівень депресії) у дітей з цефалгіями напруження.

2. Оцінити стан нейроендокринної адаптації (вміст адреналіну та норадреналіну у сироватці крові) у дітей з цефалгіями напруження.

3. Вивчити вплив арт-терапевтичних мистецьких технік на показники психоемоційного стану та нейроендокринної адаптації у дітей з цефалгіями напруження.

**Об'єкт дослідження** – арт-терапевтичні мистецькі техніки як один із засобів немедикаментозної корекції психоемоційного стану на нейроендокринної адаптації у дітей з головним болем напруження.

**Предмет дослідження** – рівень тривожності, депресії, а також стан стрес-реалізуючої системи у дітей з головним болем напруження та їх зміни після проведення арттерапії.

**Розділ 1.** сучасні уявлення про цефалгії напруження у дітей та їх немедикаментозна корекція (огляд літератури)

1.1. Головний біль напруги у дітей: розповсюдже-

ність, фактори розвитку, діагностика та психотерапевтична корекція

За сучасними уявленнями головний біль напруги у дітей - це психосоматичний дискомфорт у формуванні якого беруть участь численні фактори. Дані щодо поширеності цього патологічного стану досить суперечливі. Так, за результатами дослідження Frankenberg (1991) цефалгії напруження у дітей виявляються в 49,7% випадків [5], за даними Bage (1996), Luka-Krausgrill (1997) і Krasnik (1999) - відповідно 72,8%, 52,0% і 28,7% [3,4]. Поширеність головного болю напруги поступово наростає з віком і досягає своїх максимальних значень в пубертатному періоді. У структурі цефалгій напруги переважає епізодичний варіант, але з віком можлива хронізація.

**Етіологія та патогенез головного болю напруження.** Серед факторів розвитку цефалгій напруження важливе місце посідають чинники, які пов'язані з навчанням. Основний внесок в розвиток головного болю напруження має не дитина, а її батьки. Головний біль напруги частіше виникає у дітей з певними типами особистості [1] - циклотимічний, гіпертимний, емотивний і екзальтований типи акцентуації особистості з високим рівнем особистісної тривожності та схильністю до іпохондрії. На сьогодні відомо, що чинники формування головного болю напруження викликають функціональні порушення лімбіко-ретиккулярного комплексу, що приводить до зміни рівноваги в ноціцептивній та антиноціцептивній системах, розвитком тривожного синдрому зі зміною в системі трійчастий-лицьовий нерви. В результаті виникає підвищення тону перікраніальних і мімічних м'язів, що виражається клінічним проявом головного болю напруження.

**Діагностика головного болю напруження.** Діагностика різних варіантів головного болю базується на діагностичних критеріях, прийнятих Міжнародним товариством з проблеми головного болю в 1988р. [2]. Розрізняють епізодичний та хронічний варіанти за-хворювання.

Діагностика хронічного головного болю напруги та епізодичному варіанту, однакова, проте середня частота епізодів головного болю значно вища: більше 15 "больових" днів на місяць (або більше 180 днів на рік) при тривалості захворювання не менше 6 місяців.

**Немедикаментозне лікування головного болю напруження.** При терапії головного болю напруги у дітей та підлітків слід дотримуватися таких принципів: 1) індивідуальність; 2) обґрунтованість; 3) комплексність.

Поряд з медикаментозними засобами лікування, досить ефективними в терапії та профілактиці головного болю напруження є психотерапевтичні методи. За умов цефалгій напруження доцільно проводити сесії роз'яснювальної психотерапії. Подальші поглиблені дослідження психоемоційного стану дітей з цефалгіями напруження, а також створення нових терапевтичних підходів дозволять запобігти прогресуванню захворювання та поліпшити рівень адаптації дітей та підлітків.

1.2. Роль арттерапії в корекції психоемоційного стану дітей

Термін "арт-терапія" (art – мистецтво, art therape – терапія мистецтвом) означає лікування пластичною зображальною творчістю з метою вираження людиною свого психоемоційного стану. Вперше цей термін був використаний Адріаном Віллом в 1938 р. Під поняттям арт-терапії найчастіше розуміють лікування художньою творчістю, хоча в наш час інтенсивно розвиваються й інші її напрямки (танцювально-рухова, пісочка терапія, музикотерапія тощо). Арт-терапія - це засіб вільного самовираження і самопізнання.

Отже, арт-терапія - важливий інструмент впливу на психоемоційний стан дитини. Залишається невідомим доцільність використання арт-терапевтичних технік з метою корекції психоемоційного стану та нейроендокринної адаптації у дітей з цефалгіями напруження, що і стало предметом нашого дослідження.

**Розділ 2.** матеріали та методи дослідження

2.1. Дизайн дослідження

В дослідженні приймало участь 52 дітей дітей, учнів СЗОШ №1 I-III ст. м. Вінниці, які були розподілені на три групи: 1 група: контрольна – 20 здорових дітей, які не мали головного болю напруження; 2 група: діти з епізодичним головним болем напруження (1-10 «больових» днів на місяць); 3 група: діти з хронічним головним болем напруження (16-20 «больових» днів на місяць). Дослідження було розподілено на два етапи: 1 етап - ми провели оцінку психоемоційного стану на нейроендокринної адаптації у здорових дітей, та з епізодичним та хронічним головним болем напруження. На 2 етапі протягом 2 місяців (3 рази на тиждень) ми проводили групову арт-терапію (по 8 пацієнтів), після чого повторно оцінили зміни психоемоційного стану на нейроендокринної адаптації.

2.2. Арт-терапевтичні методики

З метою виявлення інтересів дітей до різноманітних мистецьких жанрів, ми просили дати відповіді на питання анкети. Для оцінки впливу арт-терапії на

психоемоційний стан та нейроендокринну адаптацію дітей з цефалгіями напруження нами були використано такі арт-терапевтичні техніки: «Малювання за допомогою клубка», «Сірниковий візерунок», «Малюнок музики», «Дерево», техніка «мертвої» та «живої» води, а також казкотерапію. Арт-терапію проводили в групах (по 8 пацієнтів) 3 рази на тиждень протягом 2 місяців на базі СЗОШ №1 I-III ст. м. Вінниці. Слід звернути увагу на те, що "твор", відображає внутрішнє життя. Аналіз таких творів дозволяє зрозуміти джерела виникнення почуттів людини, її психоемоційного стану.

2.3. Методи оцінки тривожності, рівня депресії та якості життя

**Оцінка рівня тривожності.** Єдиною методикою, яка дозволяє диференційовано оцінити тривожність як особистісну властивість, і як стан є методика за пропонована Спілбергером.

**Оцінка рівня депресії.** Проводили за методикою Бека.

2.4. Імуноферментні методи дослідження нейроендокринної адаптації

Дослідження проведені на базі клініко-діагностичної лабораторії Вінницької обласної лікарні імені М.І. Пирогова. Стан нейроендокринної адаптації оцінювали за вмістом адреналіну та норадреналіну (стрес-реалізуюча система) в сироватці крові. Забір крові здійснювався в стандартних умовах - з 8 до 9 годин ранку, натще, після нічного голодування, з літньої вени за допомогою вакутейнерів в пробірці Vacuette (Greiner Bio-One, Австрія).

**Визначення вмісту адреналіну.** Вміст адреналіну в сироватці крові визначали імуноферментним методом з використанням набору Adrenaline EIA.

**Визначення вмісту норадреналіну.** Вміст норадреналіну в сироватці крові визначали імуноферментним методом з використанням набору Noradrenaline EIA.

2.5. Статистичні методи дослідження

Обробку отриманих результатів проводили за методами варіаційної статистики. Вірогідність оцінювали за допомогою критерію Ст'юдента, вірогідні розбіжності при  $p < 0,05$ . Розрахунки проводили на персональному комп'ютері в пакеті «STATISTIKA 5,5»

**Розділ 3.** психоемоційний стан та нейроендокринна адаптація у дітей з цефалгіями напруження та їх зміни за умов арттерапії

3.1. Дослідження тривожності, рівня депресії та показників нейроендокринної адаптації у дітей з цефалгіями напруження

Встановлено, що у дітей з цефалгіями напруження за тестом Спілберга реєструється помірний рівень особистісної та реактивної тривожності (табл. 3.1). Так, у дітей з епізодичним та хронічним головним болем напруження відмічається достовірне зростання показників реактивної (на 46,7 та 41,9 %) та особистісної тривожності (на 45,4 та 39,5 %, відповідно), відносно контролю.

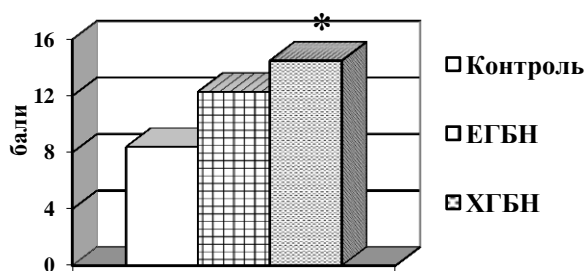
Таблиця 3.1.

**Оцінка реактивної та особистісної тривожності у дітей з цефалгіями напруження (M±m)**

№ з/п	Характеристика групи	n	Реактивна тривожність, бали	Особистісна тривожність, бали
1	Контроль	20	22,9±0,51	23,8±0,45
2	Епізодичні головні болі напруження	16	33,6±0,60*	34,6±0,56*
3	Хронічні головні болі напруження	16	32,5±0,47*	33,2±0,49

Примітки: 1. \* - p<0,05 відносно групи контролю; 2. # - p<0,05 відносно групи дітей з епізодичним головним болем напруження

Далі ми оцінили рівень депресії за тестом Бека у дітей дослідних груп (рис. 3.1). Встановлено, що у дітей з цефалгіями виявляються лише ознаки депресивності. За умов епізодичної форми головного болю напруження виявляється зростання кількості балів на 46,4%, тоді як при хронічній формі захворювання - на 72,6 %, відносно контролю.



Мал. 3.1. Рівень депресії у дітей з епізодичним (ЕГБН) та хронічним (ХГБН) головним болем напруження. Примітки: 1. \* - p<0,05 відносно групи контролю; 2. # - p<0,05 відносно групи дітей з епізодичним головним болем напруження

В подальшому ми оцінили стан стрес-реалізуючих систем у дітей з цефалгіями (табл. 3.2). З'ясувалось, що при епізодичній формі головного болю напруження відмічається лише тенденція до зростання вмісту адреналіну та норадреналіну в сироватці крові. Натомість у дітей з хронічним головним болем напруження реєструється статистично вірогідне підвищення вмісту адреналіну та норадреналіну відповідно на 22,7 та 21,9 %, відносно контролю.

Таблиця 3.2.

**Вміст адреналіну та норадреналіну в сироватці крові дітей з цефалгіями напруження (M±m)**

№ з/п	Характеристика групи	n	Адреналін, нг/л	Норадреналін, нг/л
1	Контроль	20	150±5,46	210±6,24
2	Епізодичні головні болі напруження	16	164±6,24	229±8,25
3	Хронічні головні болі напруження	16	184±6,32*#	150±5,46*#

Примітки: 1. \* - p<0,05 відносно групи контролю; 2. # - p<0,05 відносно групи дітей з епізодичним головним болем напруження.

3.2. Вплив арт-терапії на показники психоемоційного стану та нейроендокринної адаптації у дітей з цефалгіями напруження

Спершу ми оцінили вплив арт-терапевтичних мистецьких технік на показники реактивної та особистісної тривожності у дітей з епізодичним та хронічним головним болем напруження (табл. 3.3).

Таблиця 3.3.

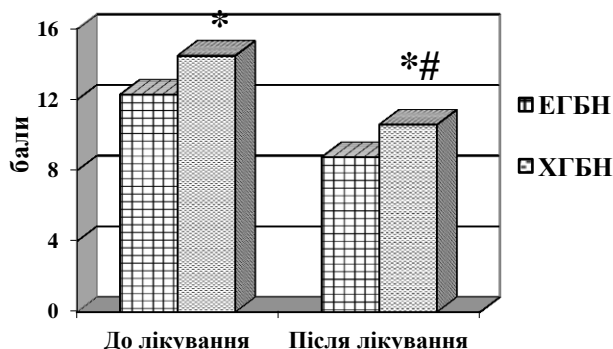
**Вплив арттерапії на реактивну та особистісну тривожності у дітей з епізодичним (ЕГБН) та хронічним (ХГБН) головним болем напруження (M±m)**

№ з/п	Характеристика групи	Реактивна тривожність, бали	Особистісна тривожність, бали
1	ЕГБН До лікування	33,6±0,60	34,6±0,56
	Після лікування	26,2±0,53*	27,9±0,50*
2	ХГБН До лікування	32,5±0,47	33,2±0,49
	Після лікування	24,8±0,58*	25,7±0,53*

Примітка: \* - p<0,05 відносно відповідної групи до лікування.

Виявилось, що на тлі пропонованого лікування відмічається достовірне зменшення реактивної тривожності (на 22,0 та 23,7 % відповідно) та особистісної тривожності (на 19,4 та 22,6 % відповідно), відносно таких показників до лікування.

Далі ми оцінили вплив арт-терапії на рівень депресії у досліджуваних групах (рис. 3.3). Встановлено, що використання арт-терапевтичних методик для лікування дітей з епізодичним та хронічним головним болем напруження викликає статистично вірогідно зменшення сумарного балу за тестом Бека відповідно на 28,8 та 26,9 %, порівняно з такими показниками у відповідних групах до лікування.



Мал. 3.2. Рівень депресії у дітей з епізодичним (ЕГБН) та хронічним (ХГБН) головним болем напруження. Примітка. \* - p<0,05 відносно відповідної групи до лікування

В подальшому ми дослідили вплив арт-терапевтичних методик на стан нейроендокринної адаптації у дітей з цефалгіями (табл. 3.4). Виявилось, що пропонуване лікування супроводжується достові-

рним падінням вмісту адреналіну (на 11,0 %) та норадреналіну (на 10,5 %) в сироватці крові, що є доказом депримуєчого впливу арт-терапії на активність симпато-адреналової системи.

Таблиця 3.4.

**Вплив арт-терапії на вміст адреналіну та норадреналіну у дітей з епізодичним (ЕГБН) та хронічним (ХГБН) головним болем напруження (M±m)**

№ з/п	Характеристика групи		Адреналін, нг/л	Норадреналін, нг/л
1	ЕГБН	До лікування	164±6,24	229±8,25
		Після лікування	156±6,78	214±7,37
2	ХГБН	До лікування	184±6,32	256±7,36
		Після лікування	164±6,01*	229±6,80*

Примітка: \* -  $p < 0,05$  відносно відповідної групи до лікування.

Таким чином застосування арт-терапевтичних методик у дітей з цефалгіями напруження достовірно зменшує рівень реактивної та особистісної тривожності, ознаки депресивності, покращує фізичний та психологічний компоненти здоров'я.

**Висновки.** У науковій роботі на основі комплексного дослідження психоемоційного стану та нейроендокринної адаптації обґрунтовано доцільність використання арт-терапевтичних мистецьких технік у дітей з епізодичним та хронічним головним болем напруження.

1. Дослідження психоемоційного стану показало, що у дітей з епізодичним та хронічним головним болем напруження реєструється помірний рівень реактивної та особистісної тривожності, депресивності.

2. Застосування арт-терапевтичних мистецьких технік достовірно зменшує рівень реактивної та особистісної тривожності, депресивності, у дітей з хронічною формою цефалгії напруження, що є доказом депримуєчого впливу арт-терапії на активність симпато-адреналової системи.

#### ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Вейн А.М. Головная боль. // Журн. неврол. и психиатр им. С.С. Корсакова. - 1996.- №3.-С.5-8.  
Veyn A.M. Golovnyaya bol'. // Zhurn. nevrol. i psikiatr im. S.S. Korsakova. [Journal neuro. and Psychiatry. SS Korsakov] - 1996.- №3.-S.5-8.
2. Колосова О.А. // Российский мед. журн. - 1997. - №3. - С. 30-32.  
Kolosova O.A. // Rossiyskiy med. zhurn. [Kolosov OA // Russian honey. Journal. - 1997. - № 3. - P. 30-32.] - 1997. - №3. - S. 30-32.
3. Barea L.M., Tannhauser M., Rotta N.T. // Cephalgia. - 1996. - Vol. 16.-P.545-549.
4. Battistutta S., Aliverti R., Montico M. et al. Chronic tension-type headache in adolescents. Clinical and psychological characteristics analyzed through self- and parent-report questionnaires // J. Pediatr. Psychol. - 2009. - Vol. 34, N 7. P. 697-706.
5. Frankenberg S., Pothmann R., Miller B., Sartory G., Wolff M., Heilmeyer W. Prevalence of headache in schoolchildren. In: Gallai V, Guidetti V, eds. Juvenile Headache. Excerpta Medica. // International Congress Series 969. - Amsterdam: Elsevier B.V. - 1991. - P.113-117.
6. Jensen R. // Cephalgia. - 1999. - Vol. 19. - P. 602-621.

#### **Gaystruk N.A., Melnik A.V., Gaystruk A.V, Stenyansky R.P. The role of art therapy in the correction of emotional and neuroendocrine adaptation in children with tension cephalgy**

**Abstract.** In this paper the analysis of the role of art therapy techniques to correct emotional state and neuroendocrine adaptation in adolescents with cephalgy tension. Feasibility of using art therapy artistic techniques in adolescents with episodic and chronic tension headache. The use of art therapy art techniques significantly reduces reactive and personal anxiety, depression, children with chronic form stresses cephalgy proof overwhelming impact of art therapy on the activity of the sympathetic-adrenal system..

**Keywords:** art therapy, stress cephalgy, anxiety, depression, epinephrine, norepinephrine.

#### **Гайструк Н.А., Мельник А.В., Гайструк А.В., Стенянский Р.П. Роль арт-терапии в коррекции психоэмоционального состояния и нейроэндокринной адаптации у детей с цефалгиями напряжения**

**Аннотация.** В данной статье выполнен анализ роли арт-терапевтических методик в коррекции психоэмоционального состояния и нейроэндокринной адаптации у детей с цефалгиями напряжения. Обоснована целесообразность использования арт-терапевтических художественных техник у подростков с эпизодическим и хронической головной болью напряжения. Применение арт-терапевтических художественных техник достоверно снижает уровень реактивной и личностной тревожности, депрессивности, у детей с хронической формой цефалгии напряжения, что является доказательством депримирующих влияния арт-терапии на активность симпатоадреналовой системы.

**Ключевые слова:** арт-терапия, цефалгии напряжения, тревожность, депрессия, адреналин, норадреналин.

Гайструк Н.А., Надеждін М.В., Стенянський Р.П.

## Встановлення прогностичної цінності гіпергомоцистеїнемії як фактору ризику формування дистреса плода у вагітних з гестаційним та хронічним пієлонефритом

Гайструк Наталія Анатоліївна, доктор медичних наук, доцент

Надеждін Михайло Венямінінович, аспірант,

Стенянський Роман Павлович студент,

Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, м. Вінниця, Україна

**Анотація.** Висока поширеність такого ускладнення, як дистрес плода свідчить про невирішеність питань патогенезу, ранньої діагностики, прогнозування, ефективної профілактики та лікування такого ускладнення у вагітних з хронічним пієлонефритом. Метою нашого дослідження є оцінка ролі гіпергомоцистеїнемії у формування дистреса плода у вагітних з пієлонефритом. Було встановлено, що в організмі вагітних з гестаційним і, в більшій мірі, з хронічним пієлонефритом відмічаються виражені метаболічні порушення. За цих умов реєструється зростання вмісту гомоцистеїну в сироватці крові.

**Ключові слова:** пієлонефрит, гіпергомоцистеїнемія, дистрес, вагітні, ROC-аналіз.

Пієлонефрит у вагітних є досить актуальною проблемою практичного акушерства, адже несприятливо впливає на перебіг вагітності, пологів та післяпологового періоду [2]. Досить часто пієлонефрит супроводжується виникненням дисфункції плаценти та у 20-30% призводить до формування дистреса плода [3,1]. Висока поширеність цього ускладнення вагітності свідчить про невирішеність питань патогенезу, ранньої діагностики, прогнозування, ефективної профілактики та лікування дистреса плода у вагітних з хронічним пієлонефритом.

В патогенезі дистреса плода важливу роль відіграє активація процесів вільнорадикального окиснення ліпідів, окисної модифікації білків, порушення балансу в системі вазоконстриктори / вазодилататори та розвиток ендотеліальної дисфункції [4,5]. Однак, до кінця залишається невирішеним питання в якій мірі розлади цих процесів інтегровані в формування дистреса плода. Зовсім невідомо роль інших метаболічних чинників, а саме гіпергомоцистеїнемії, у розвитку дисфункції плода за умов пієлонефриту у вагітних.

Метою цього розділу було оцінити роль гіпергомоцистеїнемії у формування дистреса плода, ідентифі-

кувати найбільш значущі метаболічні предиктори цього патологічного стану і на цій основі створити модель індивідуалізованого прогнозування порушень функціонального стану плода у вагітних з пієлонефритом.

Було обстежено 30 здорових вагітних жінок (1 група) та 90 вагітних з пієлонефритом. Хворі з пієлонефритом були розділені на 2 групи: гестаційний пієлонефрит (2 група, n=40); хронічний пієлонефрит в стадії загострення (3 група, n=50). Серед вагітних з пієлонефритом (n=90) дистрес плода відмічався у 40 осіб, що становить 50%.

Оцінка вмісту гомоцистеїну в сироватці крові вагітних з гестаційним та хронічним пієлонефритом.

Дослідження вмісту гомоцистеїну в сироватці крові показало, що у вагітних I з пієлонефритом відмічається формування синдрому гіпергомоцистеїнемії (табл. 1). У здорових вагітних вміст гомоцистеїну коливався в межах 5,0 - 15,0 мкмоль/л і в середньому становив 8,87 мкмоль/л, тоді як у вагітних з гестаційним та хронічним пієлонефритом цей показник був відповідно на 42,0 та 57,0% (p<0,001) вищим.

Таблиця 1.

**Вміст гомоцистеїну в сироватці крові та його ранжування, у здорових вагітних, а також у вагітних з гестаційним і хронічним пієлонефритом.**

Характеристика груп		гц, мкмоль/л M±m	Частота виявлення рівня ГЦ, n (%)		
			оптимальний <10 мкмоль/л	гранично високий 10-15 мкмоль/л	високий >15 мкмоль/л
1	Здорові вагітні, n=30	8,87±0,58	21; 70,0%	6; 20,0%	3; 10,0%
2	Гестаційний пієлонефрит, n=50	12,6±0,59	17; 34,0%	15; 30,0%	18; 36,0%
	ш	<0,001	<0,001	>0,05	<0,001
3	Хронічний пієлонефрит, n=40	14,0±0,60	8; 20,0%	14; 35,0%	18; 45,0%
	P1,3	<0,001	<0,001	>0,05	<0,001
	P2,3	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

Ранжирування вмісту гомоцистеїну виявило, що в групі вагітних з гестаційним та хронічним пієлонефритом відмічається достовірне зменшення числа осіб з оптимальним (на 36-50%) та гранично високим рівнем гомоцистеїну (на 10-15%), тоді як частка осіб з високим вмістом гомоцистеїну (>15 мкмоль/л) статистично вірогідно зростає (на 26-35%), порівняно з такими показниками у групі здорових вагітних.

Розвиток дистреса плода у вагітних з пієлонефритом супроводжується посиленням гіпергомоцистеїнемії (табл. 2). Так, в групі вагітних у яких відмічається порушення функціонального стану плода вміст гомоцистеїну був на 60,6% (p<0,001) більшим, порівняно з

таким у вагітних з гестаційним й хронічним пієлонефритом без дистреса плода. Під час ранжирування вмісту гомоцистеїну у дослідній групі жінок виявлено, що серед вагітних у яких діагностовано дистрес плода відмічається достовірне зменшення частки осіб з оптимальним та гранично високим рівнем гомоцистеїну (в 10 і 2,7 разів відповідно) та вірогідне зростання частки осіб з високим рівнем гомоцистеїну в 1,7 рази. Отже, формування дисфункції плода асоціюється з поглибленням розладів обміну сірковмісної амінокислоти гомоцистеїну в організмі вагітних жінок та збільшення виразності й поширеності гіпергомоцистеїнемії.

Таблиця 2.

**Вміст гомоцистеїну в сироватці крові та його ранжирування у вагітних з гестаційним і хронічним пієлонефритом залежно від наявності дистреса плода**

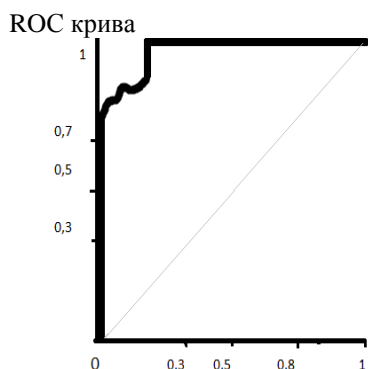
Характеристика груп	ГЦ, НіГТЛХ/Лтгт /тг мкмоль/л	Частота виявлення рівня ГЦ, п (%)		
		оптимальний	гранично високий	високий
	M±m	<10 мкмоль/л	10-15 мкмоль/л	>15 мкмоль/л
1 Вагітні з пієлонефритом без дистреса плода, n=50	10,4±0,40	25; 50,0%	24; 33,9%	1; 48,3% I
2 Вагітні з пієлонефритом та дистресом плода, n= 40	16,7±0,38	2; 5,0	5; 12,5%	33; 82,5%
P1,2	<0,001	<0,001	<0,05	<0,001

Таблиця 3.

**Відносний ризик розвитку дистреса плода у вагітних з гестаційним та хронічним пієлонефритом**

Метаболічний чинник	OR	95% CI
ГЦ (> 15 мкмоль/л)	4,40	1; 2,08-9,30

В подальшому ми з'ясували в якій мірі підвищення вмісту гомоцистеїну в сироватці крові можна розцінювати як предиктор формування дистреса плода у вагітних з пієлонефритом. Для вирішення цього завдання був проведений ROC-аналіз ймовірності клінічних маніфестацій дистреса плода в залежності від вмісту гомоцистеїну в сироватці крові на прикладі осіб з гестаційним та хронічним пієлонефритом (рис. 1).



**Рис. 1.** Крива ROC-аналізу ймовірності дистреса плода у вагітних з гестаційним пієлонефритом в залежності від рівня гомоцистеїну в сироватці крові.

На основі ROC-аналізу було встановлено, що оптимальна «точка відсікання» (optimal cut-off value),

обрана за критерієм балансу між чутливістю і специфічністю, для визначення ризику дистреса плода відповідає рівню гомоцистеїну в сироватці крові 14,1 мкмоль (чутливість - 0,921, специфічність - 0,985). Площа під кривою (AUC) становила 0,982 (95% CI 0,963-1,001). Як відомо, показник AUC від 0,9 до 1,0 свідчить про відмінну якість моделі, 0,8-0,9 - дуже добру, 0,7-0,8 - добру, 0,6-0,7 - задовільну. Отже, підвищення вмісту гомоцистеїну в сироватці крові вагітних з пієлонефритом вище 14,1 мкмоль/л є несприятливою прогностичною ознакою і вказує на високу ймовірність розвитку порушень і внутрішньоутробного стану плода.

Таким чином, в організмі вагітних з гестаційним і, в більшій мірі, з хронічним пієлонефритом відмічаються виражені метаболічні порушення. За цих умов реєструється зростання вмісту гомоцистеїну в сироватці крові. При цьому значний внесок у розвиток несприятливих метаболічних подій в організмі вагітних з пієлонефритом відіграє зростання вмісту сірковмісної амінокислоти - гомоцистеїну. Виявлені метаболічні пертурбації тісно асоціюються з внутрішньоутробним станом плода і за умов розвитку дистреса плода масштабність їх змін значно зростає.

На основі ROC-аналізу нами встановлено, що підвищення вмісту гомоцистеїну в сироватці крові вагітних з пієлонефритом вище 14,1 мкмоль/л є несприятливою прогностичною ознакою і вказує на високу ймовірність розвитку порушень внутрішньоутробного стану плода. Аналіз шансових відношень показав, що зростання вмісту гомоцистеїну вище 15,0 мкмоль/л у вагітних з пієлонефритом збільшує ймовірність формування дистреса плода в 4-5 разів.

**ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

1. Алябьева Е.А., Аржанова О.Н., Шляхтенко Т.Н., Сельков С.А., Плужникова Т.А. Особенности прегравидарной подготовки и течения беременности у женщин с гипергомоцистеинемией и привычным невынашиванием. Журнал акушерства и женских болезней. - 2008; 57(1): 47-51.
2. Alyab'yeva Ye.A., Arzhanova O.N., Shlyakhtenko T.N., Sel'kov S.A., Pluzhnikova T.A. Osobennosti pregravidarnoy podgotovki i techeniya beremennosti u zhenshchin s giperhomotsisteinemiyei i privychnym nevnashivaniyem. Zhurnal akusherstva i zhenskikh bolezney. [Alyabeva EA, Arzhanova ON, Shlyakhtenko TN, Sel'kov SA, TA Pluzhnikova Features pregravidal preparation and course of pregnancy in women with recurrent pregnancy loss and hyperhomocysteinemia. Journal of Obstetrics and women's diseases] - 2008; 57(1): 47-51.
3. Гайструк Н.А. Профілактика перинатальних ускладнень гіпергомоцистеїнемії у вагітних із гіпертензивними розладами / Н.А. Гайструк, В.О.Рудь, О.О.Мазченко // Здоров'я жінки. - К.:Академія мед.наук України, 2009, N N 3.-С.50-54.
4. Haystruk N.A. Profilaktyka perynatal'nykh uskladnen' hiperhomotsysteinemii u vahitnykh iz hipertenzyvnymy rozladamy / N.A. Haystuk, V.O.Rud', O.O.Mazchenko // Zdorov'e zhenshchyny. - K.:Akademiya med.nauk Ukrayyny [Haystruk NA Prevention of perinatal complications of hyperhomocysteinemia in pregnant women with arterial hypertension / NA Haystuk, V.O.Rud, O.O.Mazchenko / / women health. - Kyiv: Med.s. academy of Ukraine] - 2009, N N 3.-С.50-54.
5. Micle O., Muresan M., Antal L., Bodog F., Bodog A. The influence of homocysteine and oxidative stress on pregnancy outcome. J. Med. Life. 2012; 5(1): 68-73.
6. Murphy M.M., Fernandez-Ballart J.D. Homocysteine in pregnancy. Adv. Clin. Chem. 2011; 53: 105-107.



5. Чайка В.К.// Инфекции в акушерстве и гинекологии: *Chaika V.K.// Ynfektsyy v akusherstve y hynekolohyy: Prakticheskoe rukovodstvo*. – 2006. N 3. – С.274-280. *Praktycheskoe rukovodstvo [Chaika V.K. / / infections in obstetrics and gynecology: Praktycheskoe guidance.] – 2006. N 3. – С.274-280.*

**Gaystruk N.A., Nadezhdin M.V., Stenyansky R.P. Determining the predictive value of hyperhomocysteinemia as a risk factor for fetal distress in pregnant women with gestational and chronic pyelonephritis**

**Abstract:** The high incidence of complications such as fetal distress indicates the uncertainty in the pathogenesis, early diagnosis, prognosis, prevention and effective treatment of this complication in pregnant women with chronic pyelonephritis. The aim of our study was to evaluate the role of hyperhomocysteinemia in the formation of fetal distress in pregnant women with pyelonephritis. It was found that pregnant women with gestational body, and to a greater extent with chronic pyelonephritis The expressed metabolic disorders. Under these conditions, growth recorded homocysteine in serum.

**Keywords:** *pyelonephritis, hyperhomocysteinemia, distress, pregnant, ROC-analysis.*

**Гайструк Н.А., Надеждин М.В., Стенянский Р.П. Определение прогностической ценности гипергомоцистеинемии как фактора риска формирования дистресса плода у беременных с гестационным и хроническим пиелонефритом**

**Аннотация:** Высокая распространенность такого осложнения, как дистресс плода свидетельствует о нерешенности вопросов патогенеза, ранней диагностики, прогнозирования, эффективной профилактики и лечения такого осложнения у беременных с хроническим пиелонефритом. Целью нашего исследования является оценка роли гипергомоцистеинемии в формировании дистресса плода у беременных с пиелонефритом. Было установлено, что в организме беременных с гестационным и, в большей степени, с хроническим пиелонефритом отмечаются выраженные метаболические нарушения. В этих условиях регистрируется рост содержания гомоцистеина в сыворотке крови.

**Ключевые слова:** *пиелонефрит, гипергомоцистеинемия, дистресс, беременные, ROC-анализ.*

Дуло О.А.

## Вивчення рівня фізичного здоров'я дівчат гірських районів Закарпаття за метаболічним рівнем аеробного енергозабезпечення

Дуло Олена Анатоліївна, кандидат медичних наук, доцент, завідувач кафедри фізичної реабілітації, декан факультету здоров'я людини ДВНЗ "Ужгородський національний університет", м. Ужгород, Україна

**Анотація.** Робота присвячена вивченню рівня фізичного здоров'я дівчат 16-20 років, які проживають у гірських районах Закарпаття. Встановлено, що рівень аеробної продуктивності, який відображає фізичне здоров'я, у дівчат у середньому відповідає "відмінному" незалежно від соматотипу. Найвищий рівень аеробної продуктивності за відносною величиною максимального споживання кисню виявлено у представниць ендомезоморфного соматотипу, а найнижчий – мезоектоморфного та екторморфного.

**Ключові слова:** фізичне здоров'я, аеробна продуктивність, фізична працездатність, соматотип.

**Вступ.** Відповідно до існуючих концепцій про фізичне здоров'я його інтегральними показниками виступає аеробна продуктивність організму [2, 5, 11]. Тому соматичне здоров'я конкретної особи слід оцінювати за фізіологічними показниками, які відображають максимально можливий метаболічний рівень аеробних процесів енергозабезпечення. Для оцінки аеробних процесів енергозабезпечення життєдіяльності організму рекомендують використовувати такі показники як максимальне споживання кисню або поріг анаеробного обміну (ПАНО) [2, 6].

Формування фізичного здоров'я відбувається під впливом ендогенних та екзогенних чинників [8]. Причому тривалий вплив екзогенних чинників може викликати в організмі зміни генетичного характеру. Тому національні та популяційні відмінності морфофункціональних показників стимулюють науковців до пошуку відносних стандартів для жителів окремих регіонів [2, 3, 10]. Зокрема в Україні існують території з екологічними особливостями, які визначають гормональний статус мешканців цих регіонів, соматометричні параметри, окремі компоненти соматотипу, компонентний склад маси тіла, функціональний стан [7, 9]. Одним з таких регіонів є Закарпаття [4].

Тому, для здійснення об'єктивного аналізу стану фізичного здоров'я осіб різного віку і статі необхідно чітко визначити, які значення й межі фізіологічних коливань показників аеробної продуктивності організму залежно від соматотипу, притаманні здоровому населенню Закарпатської області.

З огляду на вищевикладене **мета даної роботи** полягала у визначенні аеробних можливостей дівчат гірських районів Закарпатської області залежно від соматотипу.

Матеріали і методи. Проведено порівняльний аналіз рівня фізичного здоров'я у дівчат постпубертатного періоду онтогенезу віком від 16 до 20 років. Кількість дівчат з гірських районів Закарпатської області становила 102 особи (46,4%). Рівень фізичного здоров'я оцінювали за показниками аеробної продуктивності, а саме вимірювали фізичну працездатність (PWC<sub>170</sub>), максимальне споживання кисню (VO<sub>2 max</sub>), використовуючи метод велоергометрії. Для оцінки рівня аеробної продуктивності використовували оціночну шкалу Я.П. Пярната. Соматотип визначали за методом Хіт-Картера, який вважається універсальним, тому рекомендується для обстежень людей різної расової приналежності, різної статі, широкого вікового

діапазону (від 14 до 70 років), а також забезпечує трьохкомпонентну (жирового, м'язового та кісткового компоненту) антропометричну оцінку. За допомогою даного методу можна кількісно оцінити перевагу: ендоморфії, або відносного ожиріння; мезоморфії, або відносного розвитку скелетно-м'язової системи; екторморфії, або відносної лінійності (витягнутість тіла). Кожен компонент визначався в незмінній послідовності: ендоморфія – мезоморфія – екторморфія, які виражаються числовими значеннями (антропометричними похідними) з точністю до однієї десятої. За методом Хіт-Картера соматотип визначається графічним способом, або ж алгоритмом. Оскільки за алгоритмом вираховувати соматотип зручніше, нами був застосований саме цей спосіб.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Абсолютне значення PWC<sub>170</sub> дівчат гірської місцевості становило в середньому 538,7±39,8 кгм·хв<sup>-1</sup>, а відносний – 10,3±0,52 кгм·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>. Абсолютна величина максимального споживання кисню дорівнювала 2155,83±59,66 мл·хв<sup>-1</sup>, а відносна – 41,7±0,46 мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>. Рівень аеробної продуктивності за відносною величиною максимального споживання кисню у дівчат гірських районів за Я.П. Пярнатом відповідає «відмінному». Слід відзначити, що для оцінки аеробної продуктивності останнім часом застосовують поняття «безпечний рівень здоров'я», яке оцінюють за відносним показником VO<sub>2 max</sub>. Для жінок «безпечний рівень здоров'я» знаходиться на межі 35,0 мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>. Середнє значення відносного показника максимального споживання кисню у дівчат гірських районів перевищує «безпечний рівень здоров'я» і становить 41,7 ± 0,46 мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>.

У досліджуваних дівчат за методом Хіт-Картера визначили соматотип і умовно розподілили їх на п'ять груп: з екторморфним соматотипом, ендоморфним соматотипом, ендомезоморфним соматотипом, мезоектоморфним соматотипом, зі збалансованим соматотипом. Розподіл дівчат гірських районів за соматотипами у відсотковому відношенні поданий на рис. 1. Найбільшу кількість дівчат виявлено зі збалансованим соматотипом (41,2%), найменша із ендоморфним соматотипом (5,9%).

Результати досліджень фізичної працездатності та максимального споживання кисню відображені у таблиці 1.

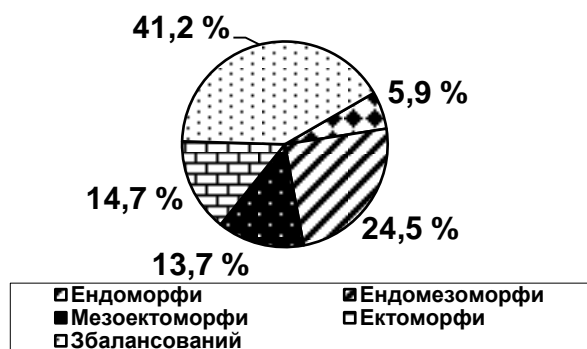


Рис. 1 Співвідношення чисельності представниць різних соматотипів гірських районів у %.

Значення абсолютного показника  $PWC_{170}$  у представниць ендомезоморфного соматотипу у середньому на 17,1% перевищує значення представниць зі збалансованим соматотипом ( $p < 0,05$ ). Середня величина  $PWC_{170 \text{ абс.}}$  представниць ендомезоморфного соматотипу в 2,5 рази перевищує середнє значення представниць ектоморфного соматотипу ( $p < 0,01$ ). Виявлено також вірогідну перевагу (в 2,33 рази) значення абсолютного показника  $PWC_{170}$  представниць ендомезоморфного соматотипу над середнім значенням пред-

ставниць мезоектоморфного соматотипу і над значенням представниць ендоморфного соматотипу (на 10,6%). Середні значення  $PWC_{170 \text{ абс.}}$  представниць ендоморфного та збалансованого соматотипів між собою вірогідно не відрізняються. Так само середні значення  $PWC_{170 \text{ абс.}}$  представниць мезоектоморфного та ектоморфного соматотипів вірогідно не відрізняються.

Дослідження фізичної працездатності за відносною величиною  $PWC_{170}$  засвідчило вірогідно нижчий рівень даного показника у представниць ектоморфного соматотипу порівняно зі значеннями представниць інших соматотипних груп. У представниць ендоморфного соматотипу середнє значення  $PWC_{170 \text{ відн.}}$  не перевищує середню величину дівчат ендоморфного соматотипу ( $p < 0,05$ ), у той час як у дівчат збалансованого і ендомезоморфного соматотипу існує вірогідна різниця, яка становить 18,9% ( $p < 0,05$ ). Середнє значення  $PWC_{170 \text{ відн.}}$  у представниць ендомезоморфного соматотипу перевищує значення представниць мезоектоморфного соматотипу на 42,2% ( $p < 0,05$ ), а представниць ектоморфного соматотипу в 2,03 рази ( $p < 0,05$ ). У представниць ендоморфного та ендомезоморфного соматотипів середні значення  $PWC_{170 \text{ відн.}}$  не мають між собою вірогідної відмінності ( $p > 0,05$ ).

Таблиця 1.

Фізична працездатність ( $PWC_{170}$ ) і аеробна продуктивність організму дівчат гірських районів Закарпаття залежно від соматотипу

Показники	Середнє значення, $M \pm m$				
	ендо-морфи (n=6)	ендо- мезоморфи (n=25)	мезо-ектоморфи (n=14)	ектоморфи (n=15)	збалансо-ваний соматотип (n=42)
$PWC_{170}$ , $кг \cdot м \cdot хв^{-1}$	• 691,3±24,7	764,3±25,23	•*∇ 328,0±12,97	•*∇ 304,6±14,4	• 652,76±28,4
$PWC_{170}$ , $кг \cdot м \cdot хв^{-1} \cdot кг^{-1}$	11,9±1,2	13,79±0,75	•∇ 9,7±0,59	•*♦ 6,8±0,81	• 11,6±0,74
$VO_2$ , $мл \cdot хв^{-1}$	2415,2±60,4	2539,3±82,7	•*∇ 1797,6±42,06	•*∇ 1757,8±41,2	2349,7±58,25
$VO_2$ , $мл \cdot хв^{-1} \cdot кг^{-1}$	41,4±2,3	45,2±1,93	• 38,1±2,11	• 39,3±1,97	41,8±1,8
Маса тіла, кг	58,3±1,86	56,2±1,74	•*∇ 47,2±1,82	•*∇ 44,7±1,68	56,2±1,76

Примітки. Вірогідність відмінності середніх значень ( $p < 0,05$ ):

- \* - відносно осіб ендоморфного соматотипу;
- - відносно осіб ендомезоморфного соматотипу;
- ♦ - відносно осіб мезоектоморфного соматотипу;
- - відносно осіб ектоморфного соматотипу;
- ∇ - відносно осіб збалансованого соматотипу;

Особливості прояву аеробної продуктивності у представниць гірських районів різних соматотипів виявлено також при визначенні відносної величини максимального споживання кисню (див. табл. 1). Звертає на себе увагу те, що середні значення відносного показника максимального споживання кисню відповідають “відмінному” рівню аеробної продуктивності в усіх соматотипних групах. Найнижчі середні значення  $VO_{2 \text{ max відн.}}$  спостерігаються у представниць гірських районів мезоектоморфного та ектоморфного соматотипів і між собою вірогідно не відрізняються

( $p > 0,05$ ). Найвище середнє значення  $VO_{2 \text{ max відн.}}$  мають представниць ендомезоморфного соматотипу - 45,2±1,93  $мл \cdot хв^{-1} \cdot кг^{-1}$ . Середні величини показника  $VO_{2 \text{ max відн.}}$  дівчат гірських районів з ендоморфним, ендомезоморфним та збалансованим соматотипом між собою вірогідно не відрізняються ( $p > 0,05$ ).

**Висновки.** Результати досліджень свідчать про те, що фізичне здоров'я дівчат гірських районів Закарпаття незалежно від соматотипу перевищує “критичний рівень” за Г.Л. Апанасенком [2] і відповідає “відмінному” за критеріями Я.П. Пярната (1983).

Кількісний аналіз рівня фізичного здоров'я у дівчат гірських районів за відносною величиною максимального споживання кисню свідчить про переваги представниць ендомезоморфного соматотипу. Найнижчий рівень серед представниць інших соматотипів зареєстровано в мезоектоморфів.

ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Андрійчук В.М. Порівняльна характеристика соматометричних параметрів тіла чоловіків першого зрілого періоду мешканців різних природно-географічних зон України/ В.М. Андрійчук// Biomedical and biosocial anthropology. – Вінниця, 2009. – №3. – С. 111-114.  
*Andriyчук V.M. Porivnyalna charakterystyca somatometrychnykh parametriv tila cholovikiv pershogo zrilogo periodu meshkanciv riznykh pryrodo-geografichnykh zon Ukrainy [Comparative characteristics of parameters somatometric body men first mature period, residents of different natural and geographical zones of Ukraine] / V.M. Andreychuk // Biomedical and biosocial anthropology. – Vinnytsya, 2009. – №3. – 111-114 s.*
2. Апанасенко Г.Л. Проблемы управления здоровьем человека / Г.Л. Апанасенко // Наука в олимпийском спорте: специальный выпуск. – 1999. – С. 56-60.  
*Apanasenko G.L. Problemy upravleniya zdorovjem cheloveka [Management problems to human health] / G.L. Apanasenko // Nauka v olimpiyskom sporte: specialny vypusk. – 1999. – 56-60 s.*
3. Гунас І.В. Взаємозв'язки сонографічних параметрів нирок із антропосоматометричними показниками здорових міських юнаків та дівчат Поділля з екоморфним соматотипом / І.В. Гунас, Ю.Г. Шевчук, Д.Б. Болух // Вісник морфології. – 2010. – №2. – С. 437-441.  
*Gunas I.V. Vzaemozvyazky sonografichnykh parametriv nyrok iz antroposomatometrychnymy pokaznykamy zdorovykh miskykh yunakiv i divchat Podillya z ektomorfnyim somatotypom [Relationship sonographic parameters of renal antroposomatometrychny indicators of healthy urban boys and girls of Podillya with ektomorf somatotype] / I.V. Gunas, Y.G. Shevchuk, D.B. Boluch// Visnyk morfologii. – 2010. – №2. – 437-441 s.*
4. Дуло О.А. Порівняльна характеристика аеробної продуктивності дівчат з різним соматотипом, які проживають у гірських та низинних районах Закарпаття / О.А. Дуло, Ю.М. Фурман // Biomedical and Biosocial Anthropology. – 2013. – №20. – С. 23-27.  
*Dulo O.A. Porivnyalna charakterystyca aerobnoy productyvnyosti divchat z riznym somatotypom, yaki prozhyvaut u girskikh ta nyzynnykh rayonakh Zakarpattya [Comparative characteristics of aerobic performance with different somatotype girls who live in mountain and lowland areas of Transcarpathia] / O.A. Dulo, Y.M. Furman // Biomedical and Biosocial Anthropology. – 2013. – №20. – 23-27 s.*
5. Купер К. Аэробика для хорошего самочувствия / К. Купер; [пер. с англійського]. – Москва: Физкультура и спорт, 1989. – 224 с.  
*Kuper K. Aerobika dlya choroshego samochuvstviya [Aerobics for Wellness]. – Moskva: Phizkultura i sport, 1989. – 224 s.*
6. Мильнер Е.Г. Пути повышения эффективности оздоровительной тренировки / Е.Г. Мильнер // Теория и практика физической культуры. – 2000. – №9. – С. 43-45.  
*Mylner E.G. Puty povysheniya effektivnosti ozdorovitel'noy trenirovki [Ways to improve fitness training] //Teoriya i praktika phizicheskoy kultury. – 2000. – №9. – 43-45 s.*
7. Пилипонова В.В. Взаємозв'язки між показниками кардіоінтервалографії та антропо-соматотипологічними параметрами у здорових міських юнаків Поділля різних соматотипів / В.В. Пилипонова // Здобутки клінічної і експериментальної медицини. – 2011. – № 2(13). – С. 98-100.  
*Pylyponova V.V. Vzaemozvyazky myzh pokaznykamy kardiointervalografii ta antropo-somatotipologichnyimi parametramy u zdorovykh miskykh yunakiv Podillya riznykh somatotypiv [The relationship between indicators cardiointervalography and anthropo-somatotipological parameters in healthy urban youths of Podillya of different somatotypes] // Zdobutky klinichnoy i eksperymentalnoy medycyny. – 2011. – № 2(13). – 98-100 s.*
8. Сарафинюк Л.А. Моделі нормативних реокардіографічних показників у дівчат юнацького віку з проміжними соматотипами в залежності від особливостей будови тіла / Л.А. Сарафинюк // Світ медицини та біології. – 2009. – № 1. – С 78-85.  
*Saraphinuk L.A. Modeli normatyvnykh reokardiografichnykh pokaznykiv u divchat yunatskogo viku z promizhnyimi somatotypamy v zalezhnomy vid osoblyvostey budovy tila [Models of regulatory reokardiohrafichny indicators of adolescent girls with intermediate somatotype-specific body structure]//Svit medycyny ta biologii. – 2009. – № 1. – 78-85 s.*
9. Фурман Ю.М. Вплив бігових оздоровчих тренувань на аеробну та анаеробну (лактатну) продуктивність організму дівчат 17-19 років з різним соматотипом / Ю.М. Фурман, В.М. Мірошніченко // Вісник морфології. – 2006. – Т.12(2). – С. 181-182.  
*Furman Y.M. Vplyv bigovykh ozdorovykh trenuvan na aerobnu ta anaerobnu (lactatnu) productyvnyist organizmu divchat 17-19 rokiv z riznym somatotypom [Effect of cross-country health training on aerobic and anaerobic (lactate) performance of organism of girls 17-19 years with different somatotype]// Y.M. Furman, V.M. Miroshnichenko// Visnyk morfologii. – 2006. – T.12(2). – 181-182 s.*
10. Шінкарук-Диковицька М.М. Кореляційні зв'язки показників кардіоінтервалографії з антропометричними і соматотипологічними показниками у дівчаток Поділля з різними типами гемодинаміки / М.М. Шінкарук-Диковицька, В.Г. Черкасов, І.В. Сергета // Світ медицини та біології. – 2008. – №8. – С. 111-115.  
*Shynkaruk-Dykovytcka M.M. Korelyatsijni zvyazky pokaznykiv kardiointervalografii z antropometrychnymi i somatotipologichnyimi pokaznykamy u divchatok Podillya z riznyimi typamy hemodynamiky [Correlation connections of cardiointervalography parameters with anthropometric and somatotipological parameters of girls from Podillya with different types of hemodynamic]// M.M. Shynkaruk-Dykovytcka, V.G. Cherkasov, I.V. Sergeta // Svit medycyny ta biologii. – 2008. – № 8. – 111 – 115s.*
11. Astrand J. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age / J. Astrand // Acta Physical. Scand. – 1960. – Vol. 49. – Suppl. 169. – P. 1-92.

**Dulo O.A. Study the level of physical health of females of mountainous area transcarpathia by the metabolic level of aerobic productivity of providing of energy**

**Abstract.** The work is devoted to the study of the level of physical health of females of the age of 16-20 which are living in the mountainous area Transcarpathia. Level of physical fitness was assessed for indicators of aerobic efficiency, namely determined physical productivity, maximum oxygen consumption, using the method veloergometry. To assess the level of aerobic productivity and use the scale Y.P. Pyarnata. We surveyed women using the method Heath -Carter somatotype determined conditionally distributed them into five groups : with ectomorphic somatotype, endomorphic somatotype, somatotype endomezomorfnyim, mezoektomorfnyim somatotipom and balanced somatotype. The greatest number of women identified with a balanced somatotype (41.2 %), with minimal endomorphic somatotype (5.9%). It is set that the level of aerobic productivity which shows the physical health on the average correspond to "excellent". Relative performance of maximum oxygen consumption in girls mountain exceed the "safe level of health " and constitute  $41,7 \pm 0,46 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Determination of physical productivity for relative value PWC170 rel.

probably showed a low rate at representatives ectomorphic somatotype as compared with the representatives of other somatotype groups. Average values PWC<sub>170</sub> rel. at representatives endomezomorfno somatotype values exceeds representatives mezoektomorfno somatotype by 42.2% ( $p < 0.05$ ), and representatives of ectomorphic somatotype 2.03 times ( $p < 0.05$ ). High VO<sub>2</sub> max mean values of RH. have representatives endomezomorfno somatotype -  $45,2 \pm 1,93 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ . The lowest values of VO<sub>2</sub> max rel. representatives observed in mountain areas and mezoektomorfno ectomorphic somatotype and among themselves probably do not differ ( $p > 0.05$ ). Average values of VO<sub>2</sub> max index rel. Female mountain with endomorphic, endomezomorfno and balanced somatotypes together probably do not differ ( $p > 0.05$ ).

**Keywords:** *physical health, aerobic productivity, physical capacity, somatic type.*

#### **Дуло Е.А. Изучение уровня физического здоровья девушек горных районов Закарпатья за метаболическим уровнем аэробного энергообеспечения**

**Аннотация.** Работа посвящена изучению уровня физического здоровья девушек 16-20 лет, которые проживают в горных районах Закарпатья. Уровень физического здоровья оценивали за показателями аэробной продуктивности, а именно определяли физическую продуктивность, максимальное потребление кислорода, используя метод велоэргометрии. Для оценки уровня аэробной продуктивности использовали оценочную шкалу Я.П. Пярната. У обследованных девушек используя метод Хит-Картера определяли соматотип и условно распределили их на пять групп: с эктоморфным соматотипом, эндоморфным соматотипом, эндomezоморфным соматотипом, мезоэкторморфным соматотипом, и со сбалансированным соматотипом. Наибольшее количество девушек выявлено со сбалансированным соматотипом (41,2%), меньшее с эндоморфным соматотипом (5,9%). Установлено, что уровень аэробной продуктивности, который отображает физическое здоровье, у девушек в среднем соответствует "отличному" независимо от соматотипа. Относительные показатели максимального потребления кислорода у девушек горных районов превышают "безопасный уровень здоровья" и составляют  $41,7 \pm 0,46 \text{ мл} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Определение физической продуктивности за относительной величиной PWC<sub>170</sub> отн. показало вероятно низкий уровень данного показателя у представительниц эктоморфного соматотипа по сравнению с показателями представительниц других соматотипных групп. Средние значения PWC<sub>170</sub> отн. у представительниц эндomezоморфного соматотипа превышает значения представительниц мезоэкторморфного соматотипа на 42,2% ( $p < 0,05$ ), а представительниц эктоморфного соматотипа в 2,03 раза ( $p < 0,05$ ). Высокие средние значения VO<sub>2</sub> max отн. имеют представительницы эндomezоморфного соматотипа -  $45,2 \pm 1,93 \text{ мл} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Самые низкие значения VO<sub>2</sub> max отн. наблюдаются у представительниц горных районов мезоэкторморфного и эктоморфного соматотипов и между собой вероятно не отличаются ( $p > 0,05$ ). Средние величины показателя VO<sub>2</sub> max отн. девушек горных районов с эндоморфным, эндomezоморфным и сбалансированным соматотипом между собой вероятно не отличаются ( $p > 0,05$ ).

**Ключевые слова:** *физическое здоровье, аэробная продуктивность, физическая работоспособность, соматотип.*

## TECHNICAL SCIENCES

Lahutin V.L.

### Mathematical model of flat vertical oscillations of the trolley for transporting dangerous cargo with usage of pneumatic elements in the second stage of suspension

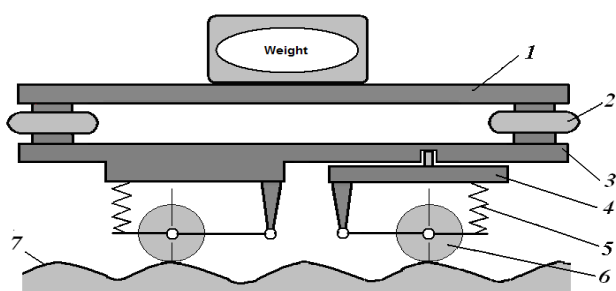
Lahutin Vladimir Leonidovich, PhD student

National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

**Abstract.** We are introducing the construction of a mathematical model of plane vertical oscillations of the trolley for transporting dangerous cargo, which has a two-stage spring suspension using high quality pneumatic elements.

**Keywords:** explosive cargo, two stage spring suspension, vibrations.

**Statement of the problem.** For transportation of dangerous, particularly explosive cargo from a location to the point of utilization it was designed the construction of a special trolley [1], which spring suspension has characteristics that satisfy the requirements for safe transportation, and absence of an engine and transmission makes a simple and reliable design of the construction (Fig. 1).



**Fig. 1.** – Schematic design of the vehicle. 1 – load platform, 2 – the air one-ridged shell 3 – support platform, 4 – turntable platform, 5 – elastic elements of the first stage of suspension, 6 – wheels of trolley, 7 – profile of the road.

The main feature of the design of the trolley, as opposed to the traditional for automobile manufacturing single spring suspension, is the usage of the additional second stage with the stiffness corrector [2-4], the dynamic characteristics of which provide conditions for safe transportation.

Some features of this design [5] in a real operation that may significantly complicate preparations for the transport of dangerous cargo are solved using canned one-ridged elastic elements [6] in reference points of the load platform and the described turntable platform of the first axis bound significantly improves driving performance of the trolley, especially on curved sections of roads.

Determination of the required parameters of the introduced spring suspension, which is strongly dependent on its dynamic properties, estimates should be provided on a mathematical model of plane vertical oscillations of the described design.

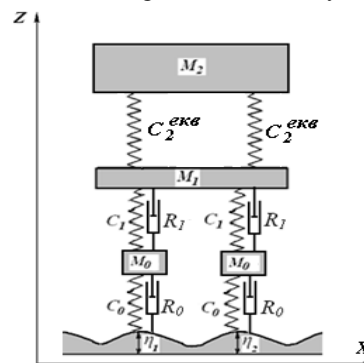
**Analysis of recent research and publications.** General theoretical foundations of mathematical models and calculation methods of spring suspension of modern vehicles are set out in the work [7-10], and the design of mathematical models of the trolley for transportation of dangerous cargo with different constructions of elastic elements in the second stage in the works [11-12].

Calculation of thermodynamic processes within designing of the air spring suspension system paths, based on the theory of “filling-emptying” and the quasi-stationary method of determining the parameters of the the air condition that are reviewed in the works [13-15].

**Statement of the problem and its solution.** Keeping in mind that the vertical oscillations in the longitudinal plane are the main influence on the dynamic properties of the transport system it is appropriate to perform their calculation on two-axis model (Fig. 2).

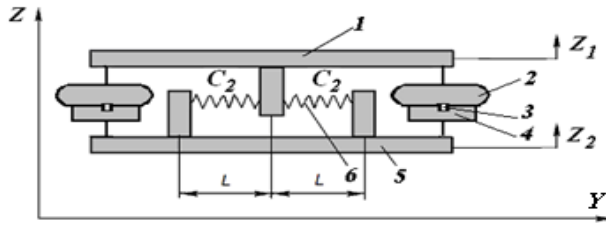
To construct an appropriate mathematical model trolley is considered as a system involving four elastic-connected solid bodies:

- load platform with cargo and brought it to the weight of the second stage spring suspension, which is denoted by the weight  $M_2$ ;
- support platform with reduced her weight by parts of the second and first stage spring suspension, a lot of which is denoted by  $M_1$ ;
- trolley wheels, dual weight are denoted by  $M_{01}$  and  $M_{02}$ .



**Fig. 2.** – The flat vertical mechanical model of the trolley.  $M_2$  – weight load platform,  $C_2^{eks}$  – equivalent stiffness of the elastic element of the second stage,  $M_1$  – weight of the support platform,  $C_1$  – stiffness of torsions of the first stage of suspension,  $R_1$  – viscous friction in the suspension of the first stage,  $M_0$  – weight of the trolley wheels,  $C_0$  – the equivalent stiffness of tires,  $R_0$  – viscous friction in tires,  $\eta$  – profile of the road.

Scheme of the modified elastic element of the second stage pneumatic suspension with corrector stiffness in the transverse plane is shown on the Figure 3.



**Fig. 3.** – Scheme of the modified elastic element of the second stage of the pneumatic suspension with stiffness corrector. 1 – load floor, 2 – rubber-cord one-ridged shell – throttling orifice, 4 – extra tank, 5 – support platform 6 – stiffness corrector springs.

During creating the mathematical model it is decided to use absolute and local coordinate systems (Fig.4).

Fixed an absolute coordinate system  $\xi G \zeta$  located at the beginning of the trajectory, where the center of weight of the load platform in the absence of involuntary movements.

The local coordinate systems  $XOZ$  (indexes) are associated with the centers of weight of corresponding solids meet their fluctuations relative to the provisions of the static equilibrium and moving relative to the absolute coordinate system  $\xi G \zeta$  with the constant speed  $V$ .

Thus, the vertical plane vibrations of the introduced mechanical system are defined by the following coordinates:

- Vertical movement of the load platform –  $Z_2$ ;
- Vertical movement of the support platform –  $Z_1$ ;
- Angle of the load platform in the longitudinal plane –  $\varphi_2$ ;
- Angle of the support platform in the longitudinal plane –  $\varphi_1$ ;
- Vertical movement of the trolley wheels –  $Z_{01}$  and  $Z_{02}$ .

Longitudinal motion of the system is determined by the equation

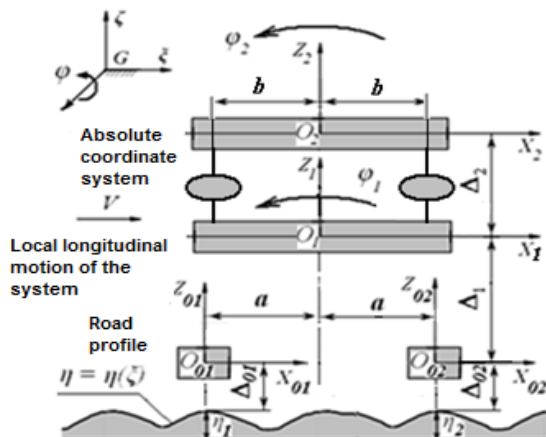
$$H_{01} = H_{02} = X_1 = X_2 = X = Vt, (1)$$

where  $V$  – velocity,  $t$  – time.

Considering the much larger compared to the stiffness of rubber tires road surface as the causative agent of power oscillations of the trolley it is taken an absolutely rigid geometric profile of the given configuration  $\eta = \eta(\zeta)$ .

Dual tire stiffness is denoted by  $C_0$ .

In the first stage of the spring suspension of the given vehicle it is taken the traditional for automobile manufacturing independent torsion suspension of each of the four trolley wheels. Dual torsion stiffness denoted  $C_1$ .



**Fig. 4.** – Absolute and local coordinate systems.

The second stage of the spring suspension, which is consisted of four elastic pneumatic elements and two stiffness correctors, is simulated using research results posted in earlier works [18-20].

The total stiffness of the corrector springs is denoted by  $C_2$ , their length in the static position –  $L$ , and the initial deformation –  $\delta$ .

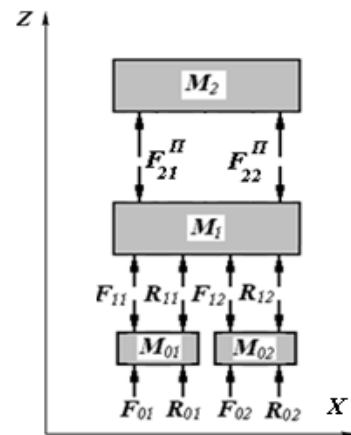
Analysis of the structural features of the second stage of spring suspension showed that the volume of the air pipe is much smaller than the other components of pneumatic system that eliminates it from the mathematical model of the process [16].

In view of the above, the differential equations of motion of the trolley oscillatory processes consist of static equilibrium with respect to the provisions of relevant weightes using the general provisions of the speakers.

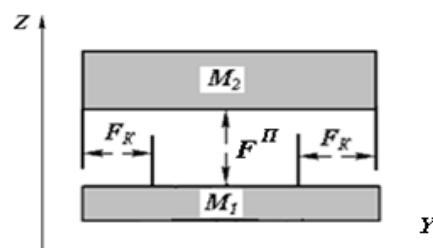
The following groups of equations are used for the mathematical model:

- kinetostatics equation for the elements of the mechanical system;
- geometric dependencies that determine the relative position and movement of the mechanical elements of the system;
- analytical and experimental characteristics of elastic elements of the mechanical system;
- thermodynamic equations that define the processes in the system pneumatic spring suspension.

Powers that influence the components of the mechanical model of the trolley shown on Figures 5 and 6.



**Fig. 5.** – Powers that influence the components of the mechanical model of the trolley in the longitudinal plane.  $M_2$  – weight of the load platform,  $F_{21}^{II}, F_{22}^{II}$  – the powers in the elements of the second degree hanging,  $M_1$  – weight of the support platform,  $F_{11}, F_{12}$  – elastic power in the first stage of suspension,  $R_{11}, R_{12}$  – dissipative powers in the first stage spring suspension,  $M_{01}, M_{02}$  – weight of the trolley wheels,  $F_{01}, F_{02}$  – powers of the elastic tires,  $R_{01}, R_{02}$  – dissipative powers in the tires.



**Fig. 6.** – Powers that influence elements of the second stage of spring suspension of the trolley in the transverse plane.  $M_2$  – weight of the load platform,  $F_{II}$ – double power in the second stage pneumatic elements,  $F_K$ – power springs corrector stiffness in the second stage,  $M_1$  – weight of the support platform.

The elastic powers  $-F_{0I}, F_{1I}, F_{02}, F_{12}$ , acting on the tires and torsion suspension equal to the first stage

$$F_{0I} = C_0 A_{0I}, F_{1I} = C_1 A_{1I}, F_{02} = C_0 A_{02}, F_{12} = C_1 A_{12}, \quad (2)$$

where:  $\Delta_{0I}, \Delta_{1I}, \Delta_{02}, \Delta_{12}$  – deformation of elastic elements constitute

$$\begin{aligned} \Delta_{0I} &= \eta_I - Z_{0I}, \quad \Delta_{1I} = Z_{0I} - Z_I + \varphi_I a, \\ \Delta_{02} &= \eta_2 - Z_{02}, \quad \Delta_{12} = Z_{02} - Z_I - \varphi_I a. \end{aligned} \quad (3)$$

The elastic powers  $F_{21}^{II}, F_{22}^{II}$  of the second stage of suspension should be determined by the powers  $F_{III}, F_{II2}, F_{KI}, F_{K2}$ , respectively, pneumatic elements and spring stiffness corrections.

These powers are equal in the pneumatic springs  $F_{III} = P_{III} S_{III}$ ,  $F_{II2} = P_{II2} S_{II2}$ , (4)

in the correctors  $F_{KI} = C_2 (L + \delta - \sqrt{L^2 + \Delta_{21}^2})$ ,  $F_{K2} = C_2 (L + \delta - \sqrt{L^2 + \Delta_{22}^2})$ , (5)

where  $P_{III}, P_{II2}$  – excess pressure caused by thermodynamic processes in pneumatic membranes and determined decision of the appropriate equations,

$S_{III}, S_{II2}$  – effective area of pneumatic membranes, depending on their working height is determined experimentally and is introduced into the equation mathematical model geometric dependencies

$$S_{III} = f(\Delta_{21}), \quad S_{II2} = f(\Delta_{22}) \quad (6)$$

where  $\Delta_{21}, \Delta_{22}$  – deformations of pneumatic springs  $\Delta_{21} = Z_I - Z_2 - \varphi_I a + \varphi_2 b$ ,  $\Delta_{22} = Z_I - Z_2 + \varphi_I a - \varphi_2 b$ . (7)

Dissipative powers in tires and first stage of suspension are modeled by viscous friction, which is proportional to the relative velocity corresponding elements

$$\begin{aligned} R_{0I} &= k_0 \dot{\Delta}_{0I}, \quad R_{02} = k_0 \dot{\Delta}_{02}, \quad R_{1I} = k_1 \dot{\Delta}_{1I}, \\ R_{12} &= k_1 \dot{\Delta}_{12}, \end{aligned} \quad (8)$$

where:  $k_0, k_1$  – binary viscous friction coefficient, respectively, in tires and torsion,

$\dot{\Delta}_{0I}, \dot{\Delta}_{02}, \dot{\Delta}_{1I}, \dot{\Delta}_{12}$ , – corresponding relative velocities:

$$\begin{aligned} \dot{\Delta}_{0I} &= \dot{\eta}_I - \dot{Z}_{0I}, \quad \dot{\Delta}_{1I} = \dot{Z}_{0I} - \dot{Z}_I + \dot{\varphi}_I a, \\ \dot{\Delta}_{02} &= \dot{\eta}_2 - \dot{Z}_{02}, \quad \dot{\Delta}_{12} = \dot{Z}_{02} - \dot{Z}_I - \dot{\varphi}_I a. \end{aligned} \quad (9)$$

Dissipative powers in the second stage pneumatic elements hanging defined energy dissipation in flowing the air from one volume to another through the throttling orifice with square hole  $S_D$  and defined and included in the appropriate thermodynamic equations.

Differential equations of motion oscillatory processes trolley consisting given above according to the distribution of elastic and dissipative powers four-weight model (Fig. 4-6).

For the wheels of the trolley

$$M_{0I} \ddot{Z}_{0I} = F_{0I} - F_{1I} + R_{0I} - R_{1I}, \quad (10)$$

$$M_{02} \ddot{Z}_{02} = F_{02} - F_{12} + R_{02} - R_{12}. \quad (11)$$

For the support platform

$$M_1 \ddot{Z}_I = F_{1I} + F_{12} + R_{1I} + R_{12} - F_{21}^{II} - F_{22}^{II}, \quad (12)$$

$$I_1 \ddot{\varphi}_I = -F_{1I} a + F_{12} a - R_{1I} a + R_{12} a + F_{21}^{II} b - F_{22}^{II} b, \quad (13)$$

or after the appropriate transformations

$$M_1 \ddot{Z}_I = F_{1I} + F_{12} + R_{1I} + R_{12} - F_{III} - F_{II2} - F_{KI} \left( \sin \frac{\Delta_{21}}{L} \right) \text{sign} \Delta_{21} - F_{K2} \left( \sin \frac{\Delta_{22}}{L} \right) \text{sign} \Delta_{22}, \quad (14)$$

$$I_1 \ddot{\varphi}_I = -F_{1I} a + F_{12} a - R_{1I} a + R_{12} a + F_{III} b - F_{II2} b + F_{KI} b \left( \sin \frac{\Delta_{21}}{L} \right) \text{sign} \Delta_{21} - F_{K2} b \left( \sin \frac{\Delta_{22}}{L} \right) \text{sign} \Delta_{22}, \quad (15)$$

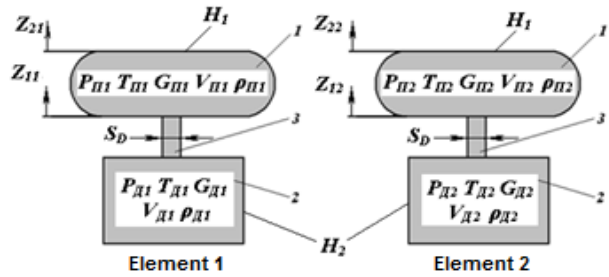
For the load platform

$$M_2 \ddot{Z}_2 = F_{III} + F_{II2} + F_{KI} \left( \sin \frac{\Delta_{21}}{L} \right) \text{sign} \Delta_{21} + F_{K2} \left( \sin \frac{\Delta_{22}}{L} \right) \text{sign} \Delta_{22} - M_2 g, \quad (16)$$

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 = -F_{III} b + F_{II2} b - F_{KI} b \left( \sin \frac{\Delta_{21}}{L} \right) \text{sign} \Delta_{21} + F_{K2} b \left( \sin \frac{\Delta_{22}}{L} \right) \text{sign} \Delta_{22}, \quad (17)$$

where:  $I_1, I_2$  – given moments of inertia, respectively trucks and support platforms,  $2a$  – wheelbase of the trolley,  $2b$  – the distance between the the air castors of the load platform.

When creating the mathematical model of the thermodynamic processes in the pneumatic spring suspension of the trolley it was decided to use the results of earlier works [17], under which condition of the the air in each of the respective volumes two-element system (Fig. 7), is characterized by the following parameters:  $P$  – pressure,  $T$  – temperature,  $G$  – weight,  $V$  – volume,  $\rho$  – density,  $C_p$  – specific heat of the air during  $P$ -const,  $C_v$  – heat the the air in the process  $V$ -const,  $R$  – gas constant.



**Fig. 7.** – Diagram of pneumatic elements of the second stage of suspension. 1 – rubber-cord shell, 2 – the additional tank, 3 – throttling orifice,  $S_D$  – Square hole throttling orifice,  $H_1$  – surface area rubber-cord shell  $H_2$  – additional surface area of the tank.

Additional geometric parameters of pneumatic:  $H_1$  – surface area rubber-cord shell,  $H_2$  – additional surface area of the tank,  $S_D$  – Square hole throttling orifice.

A mathematical model of the thermodynamic process in the compression stroke the air springs in which the pressure in them more than additional tanks, i.e. with  $P_{III} > P_{II1}$  and  $P_{II2} > P_{II2}$ , is determined by the following system of equations.

Element 1.  $P_{III} > P_{II1}$

Pneumatic spring:

- the amount of the air flowing through the throttling orifice with The air in an additional tank

$$dG_{III} \cong -\mu S_D \sqrt{2\rho_{III} (P_{III} - P_{II1})} dt, \quad (18)$$

- the law of energy storage

$$RT_{III} dG_{III} - k_I H_1 (T_{III} - T_0) dt - C_v G_{III} dT_{III} - P_{III} dV_{III} = 0 \quad (19)$$

- the equation of state of the air

$$P_{III} dV_{III} + V_{III} dP_{III} - RT_{III} dG_{III} - R G_{III} dT_{III} = 0. \quad (20)$$



The internal volume of the pneumatic membrane depends on its working height is determined experimentally and is introduced into the equation mathematical model geometry dependence

$$V_{III} = f(A_{21}), (21)$$

which enables every step solution of differential equations of the mathematical model to determine the  $dV_{III}$ .

Additional tank:

Note that for an additional tank at  $V_{III} = const$ ,

$$dV_{III} = 0.$$

- the weight balance equation

$$dG_{III} + dG_{II} = 0, \text{ a6o } dG_{II} = -dG_{III}, (22)$$

- the law of energy storage

$$C_v T_{III} dG_{III} - C_v T_{II} dG_{II} - RT_{III} dG_{III} - k_2 H_2 (T_{III} - T_0) dt - C_v G_{III} dT_{III} = 0, (23)$$

- the equation of state of the air

$$V_{III} dP_{III} + RT_{III} dG_{III} - RG_{III} dT_{III} = 0, (24)$$

Element 2.  $P_{II2} > P_{II}$

Pneumatic spring:

- the amount of the air flowing through the throttling orifice with the air in an additional tank

$$dG_{II2} \cong -\mu S_D \sqrt{2\rho_{II2} (P_{II2} - P_{II})} dt, (25)$$

- the law of energy storage

$$RT_{II2} dG_{II2} - k_1 H_1 (T_{II2} - T_0) dt - C_v G_{II2} dT_{II2} - P_{II2} dV_{II2} = 0, (26)$$

- the equation of state of the air

$$P_{II2} dV_{II2} + V_{II2} dP_{II2} - RT_{II2} dG_{II2} - RG_{II2} dT_{II2} = 0, (27)$$

The internal volume of the pneumatic membrane depends on its working height is determined experimentally and is introduced into the equation mathematical model geometry dependence

$$V_{II2} = f(A_{22}), (28)$$

which enables every step solution of differential equations of the mathematical model to determine the  $dV_{II2}$ .

Additional tank:

Note that for an additional tank at  $V_{II2} = const$ ,

$$dV_{II2} = 0.$$

- the weight balance equation

$$dG_{II2} + dG_{II} = 0, \text{ a6o } dG_{II} = -dG_{II2} (29)$$

- the law of energy storage

$$C_v T_{II2} dG_{II2} - C_v T_{II} dG_{II} - RT_{II2} dG_{II2} - k_2 H_2 (T_{II2} - T_0) dt - C_v G_{II2} dT_{II2} = 0, (30)$$

- the equation of state of the air

$$V_{II2} dP_{II2} + RT_{II2} dG_{II2} - RG_{II2} dT_{II2} = 0, (31)$$

Similarly (mutatis mutandis signs and direction of the air flow) are based equations defining enlargement beat The air pressure at which it is less than the extra tank, ie at  $P_{III} < P_{II1}$  and  $P_{II2} < P_{II}$ .

Element 1.  $P_{III} < P_{II1}$

Pneumatic spring:

- the amount of the air flowing through the throttling orifice with extra tanks in the air

$$dG_{III} \cong +\mu S_D \sqrt{2\rho_{III} (P_{III} - P_{II1})} dt, (32)$$

- the law of energy storage

$$RT_{III} dG_{III} - k_1 H_1 (T_{III} - T_0) dt - C_v G_{III} dT_{III} - P_{III} dV_{III} - C_v T_{II} dG_{II} + C_v T_{II} dG_{II} = 0 (33)$$

- the equation of state of the air

$$P_{III} dV_{III} + V_{III} dP_{III} - RT_{III} dG_{III} - RG_{III} dT_{III} = 0. (34)$$

Additional tank:

- the weight balance equation

$$dG_I + dG_2 = 0, (35) \text{ a6o } dG_{II} = -dG_{III}, (36)$$

- the law of energy storage

$$RT_{II} dG_{II} - C_v G_{II} dT_{II} - k_2 H_2 (T_{II} - T_0) dt = 0, (37)$$

- the equation of state of the air

$$V_{II} dP_{II} - RT_{II} dG_{II} - RG_{II} dT_{II} = 0. (38)$$

Element 2.  $P_{II2} < P_{II}$

Pneumatic spring:

- the amount of the air flowing through the throttling orifice with extra tanks in the air

$$dG_{II2} \cong +\mu S_D \sqrt{2\rho_{II2} (P_{II2} - P_{II})} dt, (39)$$

- law of energy storage

$$RT_{II2} dG_{II2} - k_1 H_1 (T_{II2} - T_0) dt - C_v G_{II2} dT_{II2} - P_{II2} dV_{II2} - C_v T_{II} dG_{II} + C_v T_{II} dG_{II} = 0 (40)$$

- the equation of state of the air

$$P_{II2} dV_{II2} + V_{II2} dP_{II2} - RT_{II2} dG_{II2} - RG_{II2} dT_{II2} = 0. (41)$$

Additional tank:

- the weight balance equation

$$dG_{II2} + dG_{II} = 0, \text{ a6o } dG_{II} = -dG_{II2}, (42)$$

- the law of energy storage

$$RT_{II2} dG_{II2} - C_v G_{II2} dT_{II2} - k_2 H_2 (T_{II2} - T_0) dt = 0, (43)$$

- the equation of state of the air

$$V_{II2} dP_{II2} - RT_{II2} dG_{II2} - RG_{II2} dT_{II2} = 0. (44)$$

**Conclusions.** The above mathematical model of plane vertical oscillations of the trolley for transporting dangerous cargo, which has a high quality two-stage spring suspension, consists of mechanical systems (10,11,14-17), power (2,4,5,8), geometrical (3, 6,7,9,21,28) and thermodynamical (18-20, 22-27, 29-44) equations that define the powered motion of the system during the vibrations that are caused by geometrical irregularities quite hard road profile of given configuration  $\eta = \eta(\xi)$ .

#### REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Do pitannya viboru konstruksii drugoi stupeni resornogo pidvishuvannya nesamokhidnogo vizka dlya transportuvannya nebezpechnikh vantazhiv / Larin O.M., Kalinovskiy A.YA., Sokolovskiy S.A., Chernobay G.O. //Nauk. visnik Ukraïns'kogo naukovo-doslidnogo institutu pozhezhoï bezpeki. / Naukoviy zhurnal №1 (25), 2012 – Kiïv, 2012. – S. 165 – 167.
2. Alabuzhev P.M. i dr. Vibrozashchitnyye sistemy s kvazinulevoy zhestkost'yu. –L.: Mashinostroyeniye, 1986. 96 s.
3. Zaytsev A.A., Radin S.YU., Slivinskiy Ye.V. Perspektivnyy amortizator dlya ATS // Avtomobil'naya promyshlennost'. Mashinostroyeniye. – 2007, №9 – S. 26–28.
4. Rykov A. A., Yur'yev G.S. Sintez uprugo dempfirmiruyushchikh kharakteristik nelineynoy vibrozashchitnoy sistemy // Materialy Sibirskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii»Nauka. Promyshlennost'. Oborona». – Novosibirsk, 2002. S. 37 – 41.
5. Lagutin V.L. Nekotoryye osobennosti raboty vtoroy stupeni resornogo podveshvaniya nesamokhodnoy telezhki dlya

- transportirovki opasnykh gruzov / Lagutin V.L. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Science. Vol. 8. 2013 – Budapest: S. 110 – 112.
6. Plyushkin S.N., Pochtar' D.YU., Adashevskiy V.M., Chernobay G.A. Teplovozy uzkoj kolei s pnevmaticheskimi resornym podveshivaniyem. – VNIPIEIllesprom, 1983, vyp. 13, S. 9 – 10.
  7. Bolotin V.V. Sluchaynyye kolebaniya uprugikh sistem. – M.: Nauka, 1979. – 336 s.
  8. Gulyayev V.I. i dr. Prikladnyye zadachi teorii nelineynykh kolebatel'nykh sistem. M.: Vysshaya shkola, 1989. – 383 s.
  9. Lazaryan V.A. Nekotoryye sovremennyye problemy dinamiki transportnykh sredstv. V kn.: Nagruzhennost', prochnost', ustoychivost' dvizheniya mekhanicheskikh sistem. – K.: Nauk. dumka, 1980. S. 3 – 43.
  10. Silayev A.A. Spektral'naya teoriya podressorivaniya transportnykh mashin. – M.: Mashinostroyeniye, 1972. – 192 s.
  11. Mekhanichna model' vizka dlya transportovannya nebezpechnikh vantazhiv /Sokolov D.M., Sokolovs'kiy S.A., Chernobay G.O. // Visti Avtomobil'no-dorozhno'ogo institutu: nauko-virobnichiy zbirk /ADI DonNTU. – Gorlivka, 2012. – № 1(14). – S. 91 – 94.
  12. Pobudova matematichnoy modeli prostorovikh kolivan' vizka dlya transportovannya nebezpechnikh vantazhiv / Chernobay G.O., Larin O.M., Barkalov V.G. //Visnik SevNTU: zb. nauk. pr. Vip. 135/2012. Seriya Mashinopriladobudovannya ta transport. – Sevastopol', 2012 – S. 105 – 109.
  13. Gerts Ye.V. Pnevmaticheskiye privody. – M.: Mashinostroyeniye, 1969. – 359 s.
  14. Kutsenko S.M. Pnevmaticheskoye resornoye podveshivaniye teplovozov. – Khar'kov: Vishcha shkola, 1978. – 97 s.
  15. Kirpichnikov V.G., Adashevskiy V.M. Primeneniye kvazistatsionarnogo metoda pri issledovanii termodinamicheskikh protsessov v sisteme pnevmopodveshivaniya lokomotivov. – Vesnik KHPI. – Khar'kov, 1977. №134, S. 3-5.

**Лагутин В.Л. Математическая модель плоских вертикальных колебаний прицепа для транспортировки опасных грузов с использованием пневматических элементов во второй ступени подвешивания**

**Аннотация.** Рассматривается построение математической модели плоских вертикальных колебаний прицепа для транспортирования опасных грузов, который имеет двухступенчатое рессорное подвешивание повышенного качества с использованием пневмоэлементов.

**Ключевые слова:** взрывоопасный груз, двухступенчатое рессорное подвешивание, колебания.

*Shatohyn V.M., Semkiv O.M., Popova A.N.*

**Optimum blade profile of a groundthrower as a solution of the brachistochrone for the centrifugal force of inertia**

*Shatohin Vladimir Michailovich, doctor of engineering, professor, head of department, Kharkov National University of Construction and Architecture, Kharkov, Ukraine*  
*Semkiv Oleg Michailovich, doctor of engineering, associate professor, vice-chancellor, National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkov, Ukraine*  
*Popova Angela Nickolayevna, assistant, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, Ukraine*

**Abstract.** It has been described a method for finding the brachistochrone for the centrifugal force of inertia. A time functional in the polar coordinate system has been built and the corresponding Euler equation has been recorded; its first integral has been obtained, an analytic solution for the integral has been found. It has been ascertained that its structure depends on the boundary conditions. Examples of calculations of optimal trajectories have been provided; the blade of the groundthrower with brachistochrone profile has been built.

**Keywords:** brachistochrone, the centrifugal force of inertia, functional, polar coordinates, the Euler equation, the optimum blade profile.

**Introduction.** When creating some technical (technological) devices there is the problem of choosing an optimal form of guides in which some particles move (e.g. ground ones) under pressure of centrifugal forces of inertia. In particular, the actual problem is the creation of groundthrower mechanisms to be used for extinguishing fires in areas where there is a lack of water sources. Similar mechanisms are used in road, agricultural machinery etc. Rotary groundthrowers have a number of advantages as they throw ground using blades located on the rotating rotor. Methods for selecting form, position of blades, analysis of motion of soil particles on them are currently not enough developed. Researches on the issues resolution that are aimed at improve technological characteristics of the devices are relevant.

The task of choosing the optimal blade profile can be schematized as a problem of determining the shape of a curve in the field of centrifugal forces of inertia, which provides the minimum motion time of a particle (the problem of the brachistochrone for the centrifugal force).

It is known that the classical problem of the brachistochrone for uniform field strength of gravity was the starting point for the creation of the calculus of variations [3]. Salvations of similar problems for some types of centrifugal forces are given in [1]. Questions about constructing an optimal trajectory of the point in the field of centrifugal forces of inertia are reviewed in an article [4].

In this paper, we propose a method for solving the problem of the brachistochrone for a central force, which is the centrifugal force of inertia. Functional time built in the polar coordinate system. For the corresponding Euler equation obtained his first integral in the form of first order differential equation. An analytical solution of this equation. It has been established that its structure depends on the boundary conditions. Results of calculations of optimal trajectories constructed blade profile brachistochrone.

**1. Building the time functional.** Let the points A and B are located in the central field of repulsive forces – centrifugal forces of inertia. Let’s draw a plane through the points A and B and the center repulsion point O (Fig. 1). Consider the curves joining these points located on the plane. We choose from these curves such that a material point A at a speed  $v_0 = 0$  of opening by moving only un-

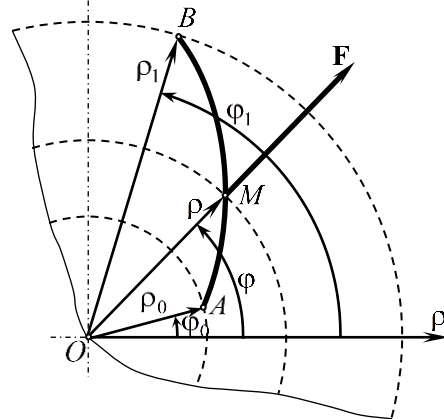
der the influence of centrifugal force reaches the point B in the minimum time. Solution of the problem and the conclusion of the functional movement time conveniently carried out in the polar coordinate system centered at the specified point. The current coordinates of the point M are denoted as kak  $\rho$  and  $\varphi$ ; the coordinates of points, A and B – respectively  $(\rho_0, \varphi_0)$  and  $(\rho_1, \varphi_1)$ .

The projection of the centrifugal force of inertia of the material point associated with the rotating body, the direction of the radius  $\rho$  has the form

$$F_\rho = ma_\omega = m\omega^2\rho \quad (1)$$

where  $m$  – the mass of the point;  $a_\omega = \omega^2\rho$  – axis-directed (normal) acceleration;  $\omega$  – angular velocity.

Then the expression for the potential energy of the centrifugal force of inertia can be represented as [2]:



**Fig. 1.** Scheme for construction brachistochrone in a centrifugal force field

$$\Pi = \int_{\rho}^0 F_\rho d\rho = -\frac{m\omega^2}{2} \rho^2. \quad (2)$$

When writing the formula (2) it was assumed that the initial position to determine the potential energy is a repulsive center, in which the potential energy is zero.

In a coordinate system uniformly rotating around a fixed axis, if we neglect the forces of friction and re-

sistance, the law of conservation of energy in a relative motion [2]

$$T + \Pi = h = \text{const}, \quad (3)$$

where  $T = \frac{1}{2}mv^2$  – kinetic energy of a point in the relative motion with respect to the rotating coordinate system;

$$h = -\frac{m\omega^2}{2}\rho_0^2 - \text{constant energy.}$$

In the future, we believe that in the formula (3) it takes into account only the potential energy of the centrifugal force of inertia. From the point of view of applications, that is the most important case. An angular velocity in technological devices is such that the effect of gravitational forces on the motion of a point slightly. In the analysis of movement on the horizontal plane of the reservation is generally unnecessary.

Now on the basis of (3) for the velocity point, we have

$$v = \omega\sqrt{\rho^2 - \rho_0^2} \quad (\rho \geq \rho_0). \quad (4)$$

From the definition of the algebraic value of velocity (a projection of velocity on the tangent to the trajectory)

$$v = v_\tau = \frac{ds}{dt}, \quad \text{the expression of the differential for the}$$

square of the arc in polar coordinates  $ds^2 = d\rho^2 + \rho^2 d\varphi^2$  and the formula (4) it follows that

$$dt = \frac{ds}{v} = \frac{\sqrt{\rho'^2 + \rho^2}}{\omega\sqrt{\rho^2 - \rho_0^2}} d\varphi, \quad (5)$$

$$\text{where } \rho' = \frac{d\rho}{d\varphi}.$$

Note that when counting the arc in the direction of motion of the point differential path will coincide with the differential of the arc coordinate  $ds$  and the point velocity module will coincide with its algebraic value  $v = v_\tau$ .

Integrating, we are obtaining the functional

$$\tau[\rho(\varphi)] = \frac{1}{\omega} \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{\sqrt{\rho'^2 + \rho^2}}{\sqrt{\rho^2 - \rho_0^2}} d\varphi. \quad (6)$$

**2. Search functional extremum.** For the integrand we introduce the notation

$$P = P(\rho, \rho') = \frac{\sqrt{\rho'^2 + \rho^2}}{\sqrt{\rho^2 - \rho_0^2}}, \quad (7)$$

then on the curve realizing extremum of the considered functional, the condition must be satisfied (this follows from the necessary conditions for an extremum of the functional (6) [3])

$$P_\rho - \frac{d}{d\varphi} P_{\rho'} = 0, \quad (8)$$

where  $P_\rho, P_{\rho'}$  – derivatives  $P$  respectively  $\rho$  and  $\rho'$ .

Thus, the desired function  $\rho = \rho(\varphi)$  is the solution of second order differential equation (Euler equation) (8) or in expanded form

$$P_\rho - P_{\rho\rho'}\rho' - P_{\rho'\rho'}\rho'' = 0, \quad (9)$$

$$\text{where } \rho'' = \frac{d^2\rho}{d\varphi^2}.$$

After multiplying this equation term by term on its left-hand side becomes an exact derivative

$$\frac{d}{d\varphi} (P - \rho' P_{\rho'}).$$

Consequently, the Euler equation has the first integral

$$P - \rho' P_{\rho'} = \frac{1}{C}. \quad (10)$$

From expression (10), after transformations, we obtain

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = \rho \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{(\rho^2 - \rho_0^2)} - 1}. \quad (11)$$

Differential equation (11) admits an analytic solution (cumbersome calculations are not presented here)

$$\varphi = \begin{cases} \arctg z + \frac{1}{z} + C_1, & C^2 = 1, \\ \arctg z - \frac{1}{\sqrt{1-C^2}} \arctg \frac{z}{\sqrt{1-C^2}} + C_1, & C^2 < 1, \\ \arctg z - \frac{1}{2\sqrt{C^2-1}} \ln \left| \frac{z - \sqrt{C^2-1}}{z + \sqrt{C^2-1}} \right| + C_1, & C^2 > 1, \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{where } z = \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{\rho^2 - \rho_0^2} - 1}. \quad (13)$$

Boundary conditions for finding of permanent  $C$  and  $C_1$  taking into account (13):

$$\text{as } \varphi = \varphi_0, \rho = \rho_0, z = z(\rho_0) = z_0 = \sqrt{\frac{C^2 \rho_0^2}{\rho_0^2 - \rho_0^2} - 1} = \infty; \quad (14)$$

$$\text{as } \varphi = \varphi_1, \rho = \rho_1, z = z(\rho_1) = z_1 = \sqrt{\frac{C^2 \rho_1^2}{\rho_1^2 - \rho_0^2} - 1}. \quad (15)$$

The greatest interest for practice is in the cases where  $C^2 < 1$  and  $C^2 > 1$ . Here we are considering the conditions (14), (15) and constructing the transcendental equation for the  $C^2$  in the first case

$$f(x) = \varphi_1 - \arctg \sqrt{\frac{x\rho_1^2}{\rho_1^2 - \rho_0^2} - 1} + \frac{1}{\sqrt{1-x}} \arctg \frac{\sqrt{\frac{x\rho_1^2}{\rho_1^2 - \rho_0^2} - 1}}{\sqrt{1-x}} - \varphi_0 + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1-x}}\right) \frac{\pi}{2} = 0 \quad (16)$$

where  $x = C^2$ .

After that  $C_1$  is determined by the boundary conditions provided

$$C_1 = \varphi_0 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1-C^2}}\right) \frac{\pi}{2}. \quad (17)$$

Point values of the constants  $C$  and  $C_1$  using the second formula in (12) and the formula (13) allow us to write the following expression for the unknown function

$$\varphi(\rho) = \arctg \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{\rho^2 - \rho_0^2} - 1} - \frac{1}{\sqrt{1-C^2}} \arctg \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{\rho^2 - \rho_0^2} - 1} + C_1. \quad (18)$$

Examples constructed using the method developed brachistochrone are shown in Fig. 2 ( $\rho_0 = 0,496M$ ,  $\rho_1 = 0,632M$ ,  $\varphi_0 = 0$ ,  $\varphi_1 = 20^\circ$ ). Fig. 2a shows, obtained by (18), a schedule convenient for analysis of the inverse function  $\rho = \rho(\varphi)$ . Fig. 2b this dependence graphs are constructed in the polar coordinate system for angles  $\varphi_1$  multiple to  $20^\circ$ , and for  $\rho_0$  there were undertaken the minimum limit values  $\rho_0^*$ , which still provide

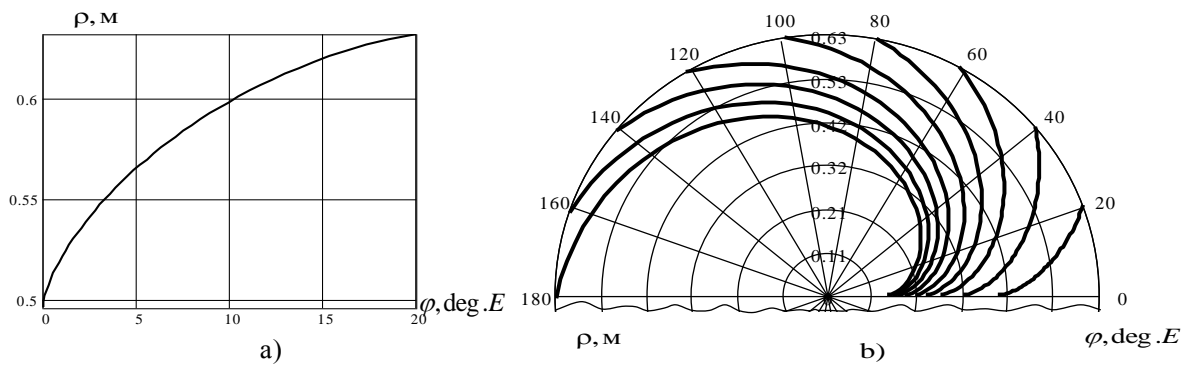


Fig. 2. Function graphics  $\rho(\varphi)$  ( $\varphi_0 = 0$ ,  $\rho_1 = 0,632M$ ):

a) –  $\rho_0 = 0,496M$ ,  $\varphi_1 = 20^\circ$ ; b) –  $\rho_0^*$  – the minimum limit values

Research results allowed us to establish a number of fundamental advantages curved blade connected with the fact that such a blade embedded in the ground at a more acute angle than straightforward: a larger volume of the

the opportunity to build solutions using the second formula (12) ( $C^2 < 1$ ).

**3. Formation of the blade profile brachistochrone.** Fig. 3 shows groundthrower scheme: 1 – hub, 2 – ring, 3 – spoke 4 – curved blade. It is assumed that the thrower rotates with angular velocity  $\omega$  upstream clockwise. And radii  $R_1$  and  $R_2$  are the radii of a circle passing through the back and the front edge of the blade. In the above theory, they correspond to the polar radii  $\rho_0$  and  $\rho_1$ . The curved blade with a profile in the form of brachistochrone (see Fig. 2) is shown in Fig. 4. When forming the side walls of said blade also used brachistochrone. Protruding portions of the side walls can serve as a kind of disintegrating agents, facilitating the introduction of the blade into the ground.

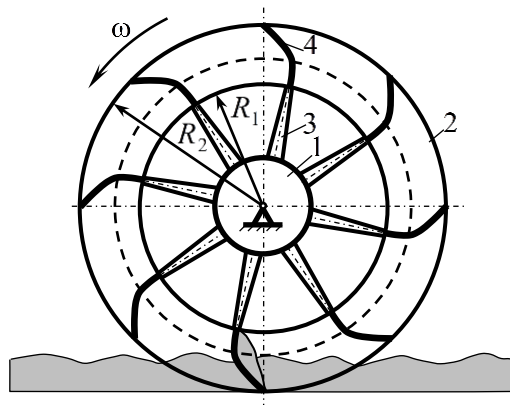


Fig. 3. Scheme of the groundthrower mechanism

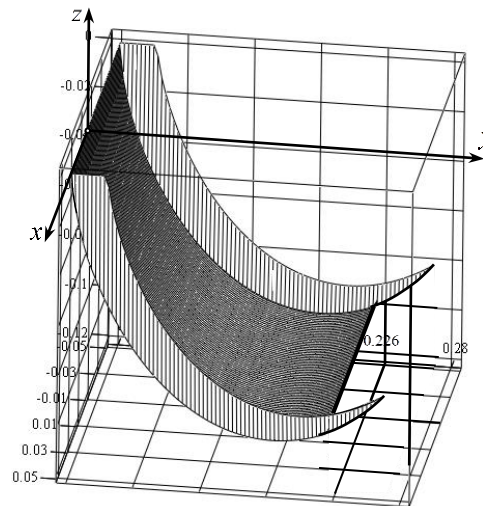


Fig. 4. Blade with brachistochrone profile

### Conclusion

1. It has been developed a method for solving the problem of the brachistochrone for the centrifugal force of inertia.

2. It has been built the time functional in the polar coordinate system.

3. It has been obtained the first integral of the Euler equation in the form of first order differential equation and found its analytical solution.

4. It has been determined the dependence of the mathematical description of the optimal trajectories on the values coordinates of the starting and ending points.

5. The results of calculations of optimal trajectories have been displayed.

6. Built groundthrower blade with brachistochrone profile has been built.

### REFERENCES

1. Gemmer J.A., Nolan M., Umble R. Generalizations of the Brachistochrone problem // IJME Journal. – 2011. – Vol. 13. N 4. P. 207-218.
2. Loytsyanskiy L.G., Lur'ye A.I. Kurs teoreticheskoy mekhaniki. V 2-kh tomakh. t. II. Dinamika. –M.: Nauka, 1983.– 640 s.
3. El'sgol'ts L.V. Differentsial'nyye uravneniya i variatsionnoye ischisleniye.–M.: Nauka, 1969.–279 s.
4. Shatokhin V.M., Shatokhina N.V. Optimal'nyye trayektorii dvizheniya tochki, peremeshchayushcheysya pod deystviyem tsentrobezhnoy sily inertsiy // Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy.–Khar'kov, 2012.– Vyp. 4/7 (58).– S. 9-14.

### **Шатохин В.М., Семкив О.М., Попова А.Н. Оптимальный профиль лопатки грунтометателя как решение задачи о брахистохроне для центробежной силы инерции**

**Аннотация.** Изложен метод нахождения брахистохроны для центробежной силы инерции. Построен функционал времени в полярной системе координат и записано соответствующее уравнение Эйлера; получен его первый интеграл, для которого найдено аналитическое решение. Установлено, что его структура зависит от краевых условий. Приведены примеры расчетов оптимальных траекторий, построена лопатка грунтометателя с профилем брахистохроны.

**Ключевые слова:** брахистохрона, центробежная сила инерции, функционал, полярные координаты, уравнение Эйлера, оптимальный профиль лопатки.

**Shovgenyuk M.V., Semeniv V.V., Kovalskiy B.M.**  
**Development a theory for colors synthesis by four inks**

*Shovgenyuk Mykhailo Vasylovych, doctor of physical and mathematical sciences, professor, leading researcher, Institute for Condensed Matter Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine*  
*Semeniv Vitaliy Vasylovych, PhD student, Kovalskiy Bogdan Mykhailovych, Ph.D., associate professor Technology of preprinting processes department, Ukrainian Academy of Printing, Lviv, Ukraine*

**Abstract.** The autotype equation of color synthesis with four inks was established, one of the inks serves as a parameter. A computer program was developed. A color gamut of autotype colors synthesis was built using computer program. The results of theoretical analysis were confirmed by means of experimental data Fogra

**Keywords:** autotype synthesis of colors, autotype equations, color separation, computer program

The autotype synthesis is a basis of color reproduction in printing. The autotype equations of colors synthesis on a paper in four-ink halftone printing were described in the Neuberger D. [5] and G. Neyhebauer [4] works. Theoretical model of autotype synthesis were confirmed experimentally and proved its appropriateness by numerical methods [3, 7]. However, this model does not apply for digital images separations because of the autotype equations by Neuberger-Neyhebauer have no analytical solution. This is due to the fact that the coordinate transformation of the original RGB space with three variables to color space of imprint CMYK with four unknowns is not a direct and unambiguous. Therefore, the color management systems use the bases of experimental data, the so-called ICC-profiles. The problem of images color separation in classical scheme is that the task of determining the percentage of inks CMYK (cyan, magenta, yellow, black) for the synthesis on a paper a color in color space RGB (red, green and blue channels) is multivalued.

To resolve the problem of separation analytically, in works [8, 9] have been proposed a new information technology for images color separation based on analytical

model of color synthesis on an imprint. The advantage of the technology is the analytical calculation of the relative dot areas of CMYK inks for each color of digital image with optimal ratios.

The aim of this work is to develop a theory of colors synthesis based on Neuberger-Neyhebauer's equations for classical separation technology and define the role of the third colored ink in the autotype synthesis of colors on an imprint.

**Theory.** A color space ICaS was used for a theoretical description of the autotype synthesis of colors. Using this color space analytical solutions of autotype equations were obtained.

The advantage of using color space ICaS is that each color of image is described by three coordinates – achromatic coordinate  $I$ , which describes the "dynamic range" of color images, and two chromatic coordinates  $C$  and  $S$ , which give detailed information about the color characteristics of the image. Transformation of RGB color space coordinates into color space ICaS based on orthogonal transformation Hartley [1]:

$$\hat{\mathbf{H}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \cos(2\pi/3) & \cos(4\pi/3) \\ 1 & \cos(4\pi/3) & \cos(2\pi/3) \end{bmatrix}, \quad \text{cas}(\pi x) = \cos(\pi x) + \sin(\pi x) \quad (1)$$

It was established that the transformation (1) is the only symmetric orthogonal transformation of color images, in which are stored all color and metric characteristics of color space RGB [6].

$$\mathbf{C}_{ICaS}^{(3)} = (1 - \sigma_K) \mathbf{C}_{ICaS}^{(2)}, \quad \mathbf{C}_{ICaS}^{(2)} = \hat{\mathbf{H}} \mathbf{F}_W (1 - \sigma_n)(1 - \sigma_m) + \hat{\mathbf{H}} \mathbf{F}_n \sigma_n (1 - \sigma_m) + \hat{\mathbf{H}} \mathbf{F}_m \sigma_m (1 - \sigma_n) + \hat{\mathbf{H}} \mathbf{F}_{n,m} \sigma_n \sigma_m, \quad (2)$$

where  $\mathbf{C}_{ICaS}^{(3)}$  – vector of color in color space ICaS, synthesized by two colored and black inks;  $\mathbf{C}_{ICaS}^{(2)}$  – vector of color synthesized by two colored inks;  $\hat{\mathbf{H}} \mathbf{F}_W$  – vector of white paper;  $\hat{\mathbf{H}} \mathbf{F}_n, \hat{\mathbf{H}} \mathbf{F}_m, \hat{\mathbf{H}} \mathbf{F}_{n,m}$  – vectors of  $n$ -th and  $m$ -th colored inks and their double overlapping in color space ICaS;  $\sigma_K$  – relative dot area of black ink;  $\sigma_n, \sigma_m$  – relative dot area of  $n$ -th and  $m$ -th colored inks. In four-colored printing as  $n$ -th and  $m$ -th inks stands for cyan and magenta (CM), or magenta and yellow (MY), or cyan and yellow (CY).

There is an autotype equation of color that is synthesized by two colored and black inks with addition a third one:

$$I_{AU}^{(4)} = (1 - \sigma_K) \left\{ I_{AU}^{(2)} + \sigma_j \left[ I_j (1 - \sigma_n)(1 - \sigma_m) + I_{n,j} \sigma_n (1 - \sigma_m) + I_{m,j} \sigma_m (1 - \sigma_n) + I_{n,m,j} \sigma_n \sigma_m \right] - I_W (1 - \sigma_n)(1 - \sigma_m) - I_n \sigma_n (1 - \sigma_m) - I_m \sigma_m (1 - \sigma_n) - I_{n,m} \sigma_n \sigma_m \right\} \quad (4)$$

In works [8, 9] the equation of autotype synthesis of color by two colored and black inks were described:

$$\mathbf{C}_{ICaS}^{(4)} = (1 - \sigma_K) (\mathbf{C}_{ICaS}^{(2)} + \sigma_j \mathbf{C}_{ICaSnew}^{(3)}), \quad (3)$$

where  $\mathbf{C}_{ICaS}^{(4)}$  – color in space ICaS synthesized by four inks (CMYK),  $\mathbf{C}_{ICaSnew}^{(3)}$  – color synthesized by three colored inks (CMY). If a value of relative dot area of fixed ink  $\sigma_j = 0$  will be added  $\mathbf{C}_{ICaS}^{(2)}$  that corresponds to the synthesis of color by two colored and black inks, in the case where fixed quantity of a third ink is 1, reduced by the components of the second addend.

An equation of achromatic coordinate  $I_{AU}^{(4)}$  takes the form (4) in the presence of a third colored ink:

where  $I_{AU}^{(2)}$  corresponds to the achromatic color coordinate which synthesized by two colored and black inks, the next addend also has the structure of  $I_{AU}^{(2)}$  coordinate, but accounted a basic vector of third colored ink and vector of overlapping the other two colored inks and vector double overlapping of all colored inks. The chromatic coordinates are similar  $C_{AU}^{(4)}, S_{AU}^{(4)}$ .

$$\left. \begin{aligned} & \left( \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_W \\ C_{AU}^{(4)} & C_W \end{matrix} + \sigma_j \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_j - I_W \\ C_{AU}^{(4)} & C_j - C_W \end{matrix} \right) (1 - \sigma_n)(1 - \sigma_m) + \left( \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_n \\ C_{AU}^{(4)} & C_n \end{matrix} + \sigma_j \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_{n,j} - I_n \\ C_{AU}^{(4)} & C_{n,j} - C_n \end{matrix} \right) \sigma_n(1 - \sigma_m) + \\ & \left( \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_m \\ C_{AU}^{(4)} & C_m \end{matrix} + \sigma_j \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_{m,j} - I_m \\ C_{AU}^{(4)} & C_{m,j} - C_m \end{matrix} \right) \sigma_m(1 - \sigma_n) + \left( \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_{n,m} \\ C_{AU}^{(4)} & C_{n,m} \end{matrix} + \sigma_j \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_{n,m,j} - I_{n,m} \\ C_{AU}^{(4)} & C_{n,m,j} - C_{n,m} \end{matrix} \right) \sigma_n \sigma_m = 0 \\ & \left( \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_W \\ S_{AU}^{(4)} & S_W \end{matrix} + \sigma_j \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_j - I_W \\ S_{AU}^{(4)} & S_j - S_W \end{matrix} \right) (1 - \sigma_n)(1 - \sigma_m) + \left( \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_n \\ S_{AU}^{(4)} & S_n \end{matrix} + \sigma_j \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_{n,j} - I_n \\ S_{AU}^{(4)} & S_{n,j} - S_n \end{matrix} \right) \sigma_n(1 - \sigma_m) + \\ & \left( \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_m \\ S_{AU}^{(4)} & S_m \end{matrix} + \sigma_j \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_{m,j} - I_m \\ S_{AU}^{(4)} & S_{m,j} - S_m \end{matrix} \right) \sigma_m(1 - \sigma_n) + \left( \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_{n,m} \\ S_{AU}^{(4)} & S_{n,m} \end{matrix} + \sigma_j \begin{matrix} I_{AU}^{(4)} & I_{n,m,j} - I_{n,m} \\ S_{AU}^{(4)} & S_{n,m,j} - S_{n,m} \end{matrix} \right) \sigma_n \sigma_m = 0 \end{aligned} \right\} (5)$$

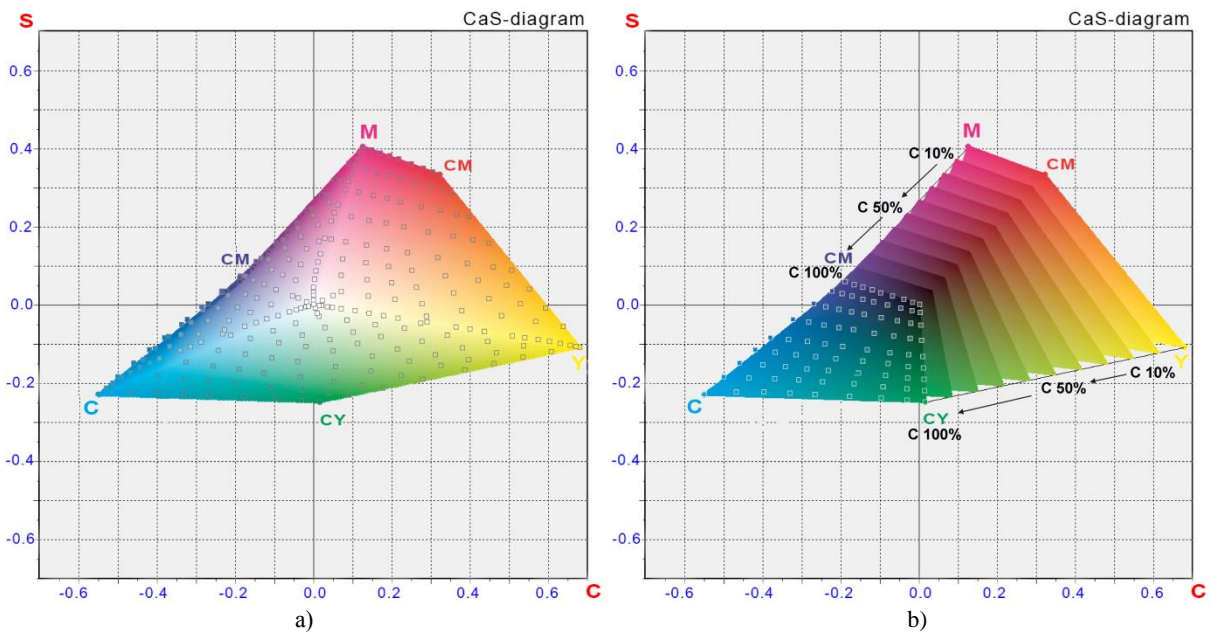
The system of autotype equations (5) has an analytical solution for two colored and black inks, in which the third  $j$ -th colored ink has a fixed value of the relative dot area. Thus, the development a theory for colors synthesis by four inks is an obtained equation of color synthesis in which one of the colored inks is fixed. This makes possible to apply the analytical solutions for the classic images color separation and get a range values of the relative dot areas of inks for each color reproduction of the original.

**Materials and Methods.** An algorithm of modeling of autotype synthesis of colors based on the derived equa-

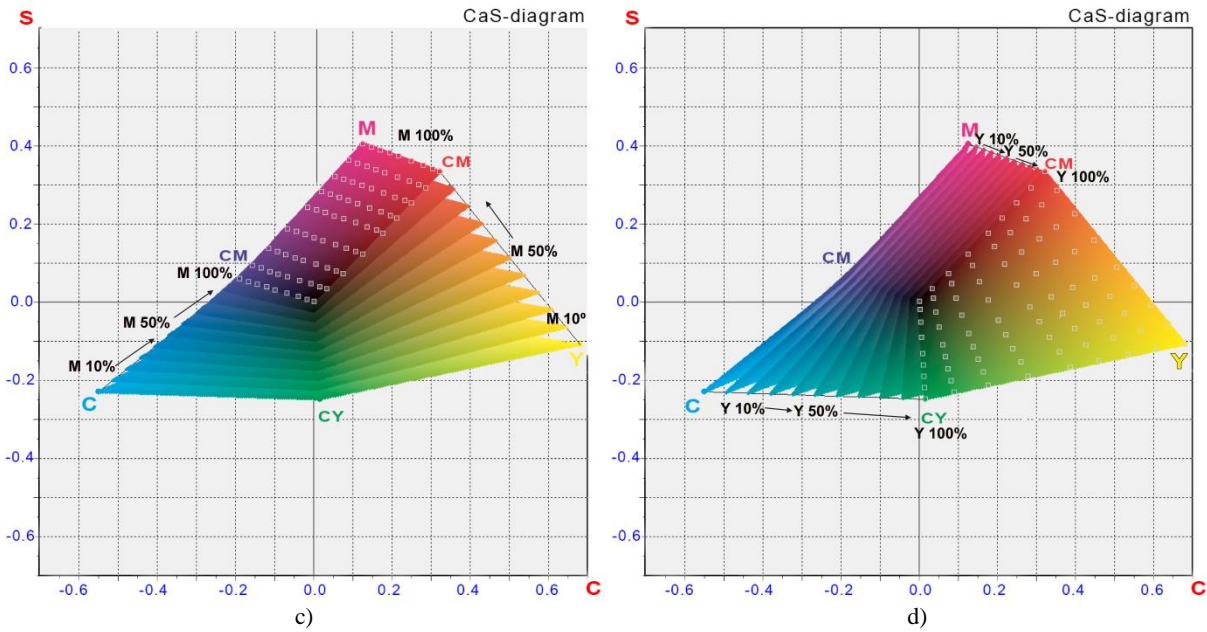
A relative dot area of black ink  $\sigma_K$  based on formula (4), substituted the expression in autotype equation for chromatic coordinates ( $C_{AU}^{(4)}, S_{AU}^{(4)}$ ) and a system of non-linear homogeneous equations (5) were obtained. The coefficients in the equations (5) have a new addend with a common multiplier  $\sigma_j$ :

tions was described. A computer program "ICaS-Color Gamut Inks" allows analyzing and processing the characteristic data in the new color space ICaS and simulation gamut inks. Characteristic data Fogra39 was selected for offset printing on coated paper under the standard ISO 12642-2:2004 [2].

**Discussion of results.** The colors from characteristic data Fogra that are synthesized by two colored inks with a fixed value of the third colored ink were selected. The result presented with points on the chromatic CaS-diagrams (Figures 1a-d).





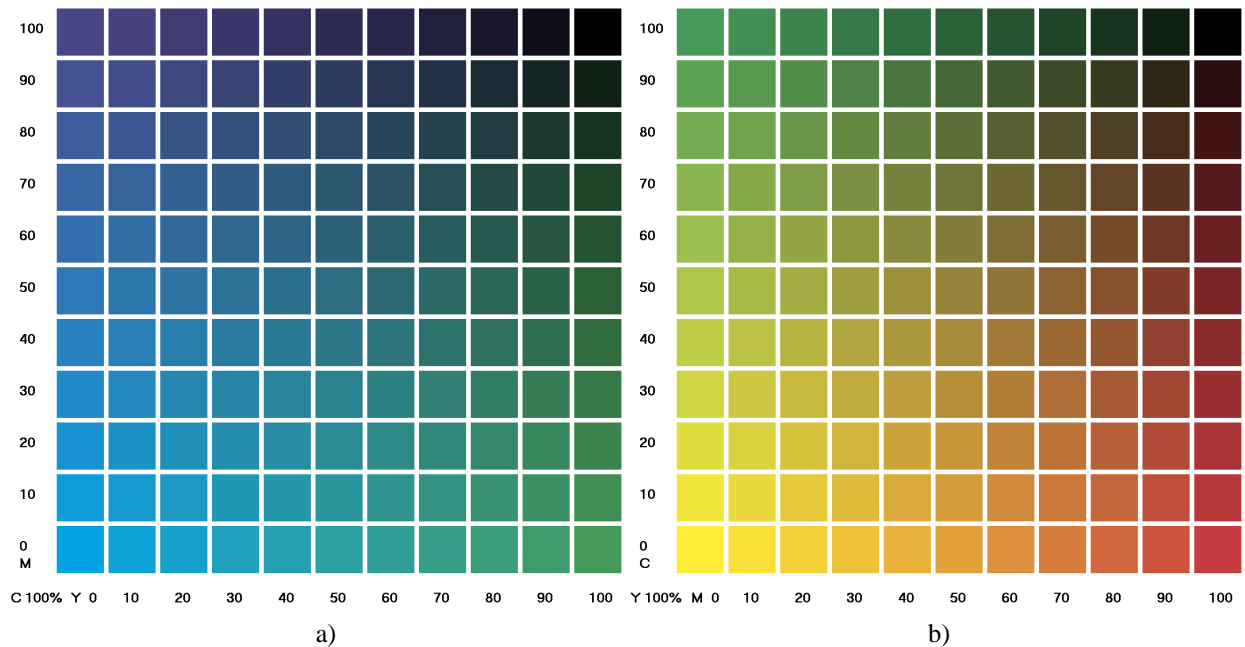


**Fig. 1.** The color surfaces on the CaS-diagram synthesized by two colored inks (a) and adding a fixed percentage of the third cyan (b), magenta (c), yellow (d) ink: points – experimental data Fogra 39.

An autotype synthesis of colors according to equation (2) was modeled and three projections from a largest color surface were received (Fig. 1 a). Also, by modeling an autotype synthesis according to equation (3) were obtained projections of color surfaces synthesized by magenta and yellow inks with a fixed value of 0 to 100 % of cyan in increments of 10% ( Fig. 1 b). Similarly received projections of color surfaces that synthesized by cyan and yellow with fixed value of magenta (Fig. 1 c) and those synthesized by cyan and magenta inks with a fixed value

of yellow ( Fig. 1 d). Theoretical gamut matches with the experimental data. Projections of color surfaces with the addition of a third colored ink cross the origin of CaS-diagram, moving region of achromatic colors in two different color areas, confirming the equation (3).

The developed computer program "ICaS-Color Gamut Inks" makes it possible to generate a control scale based on equation (3) to evaluate and analyze the synthesized colors that are formed by double overlapping of two colored inks with a fixed value of the third colored ink.



**Fig. 2.** Control scale of double overlapping: magenta and yellow with adding 100% cyan ink (a), cyan and magenta colors with adding 100% yellow ink.

**Conclusions.** The autotype equation of color synthesis with four inks with a fixed value of one of the colored inks was established. This makes it possible to apply the analytical solutions for the classic images color separation

and get a range of values of the relative dot areas of inks for each color reproduction of the original.

A computer program "ICaS-Color Gamut Inks" was developed by means of which, on the basis of derived equations can be carried out modeling synthesis of color,

and also have the ability to generate a control scale for the evaluation and analysis of colors which are synthesized

by double overlapping of two colored inks with a fixed value of the third one.

#### REFERENCES (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Брейсуэл Р. Преобразование Хартли. М.: Мир, 1990, 175 с. (Русский перевод: Bracewell R.N. The Hartley Transform. Oxford University Press, New York, 1986.)  
*Breisuel R. Preobrazovanie Hartli. M.: Mir, 1990, 175 s. (Ruskiy perevod: Bracewell R.N. The Hartley Transform. Oxford University Press, New York, 1986.)*
2. Characterization data for standardized printing conditions. Web resource: <http://www.fogra.org/en/fogra-standardization/fogra-characterizationdata/a-icc-en.html>.  
*Characterization data for standardized printing conditions. Web resource: <http://www.fogra.org/en/fogra-standardization/fogra-characterizationdata/a-icc-en.html>.*
3. Ганиев Д. Х. Возможности автотипной колориметрии в высокой печати : автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.15 "Машины, агрегаты и процессы полиграфического производства" / Д. Х. Ганиев.– М., 1975.– 30 с.  
*Ganiev D. H. Vozmognosti avtotipnoy kolorimetrii v vysokoy pechati [Opportunities of autotype colorimetry in letterpress]: avtoref. dis. na zdobuttya stupenya kand. tech. nauk: spec. 05.02.15 "Mashiny, agregaty i processy poligraficheskogo proizvodstva" / D. H. Ganiev– M., 1975.– 30 s.*
4. Neugebauer H. E. J. Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbendrucks // Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie.– 1937. – Vol. 36, p. 36–73; reprinted in Neugebauer Memorial Seminar on Color Reproduction (14–15 Dec. 1989, Tokyo, Japan) // Proc. SPIE, Vol. 1184, P. 194–202 (1990).  
*Neugebauer H. E. J. Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbendrucks // Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie.– 1937. – Vol. 36, p. 36–73; reprinted in Neugebauer Memorial Seminar on Color Reproduction (14–15 Dec. 1989, Tokyo, Japan) // Proc. SPIE, Vol. 1184, P. 194–202 (1990).*
5. Нюберг Н.Д. Теоретические основы цветной репродукции / Нюберг Н.Д.– М.: Советская наука, 1947.– 176 с.  
*Nyuberg N.D. Teoreticheskie osnovy cvetnoy reprodukcii [Theoretical foundations of color reproduction] – M.: Sovetskaya nauka, 1947.– 176 s.*
6. Предко Х. Б. Рівняння хроматичних координат кольору // Х. Б. Предко, М. Р. Крик, М. В. Шовгенюк // Технологія і техніка друкарства : зб. наук. праць. – К., 2010. – С. 28–37.  
*Predko Ch. B. Rivnyannya chromatychnyh koordynat kolyoru [Equation of chromatic coordinates of color] // Ch. B. Predko, M. R. Kryk, M. V. Shovgenyuk // Technologiya i tehnika drukarstva drukarstva : zb. nauk. prats. – K., 2010. – S. 28–37.*
7. Селиванов Ю. П. Основы моделирования и оптимального программирования автотипного процесса / Селиванов Ю. П.– М.: Книга, 1979.– 238 с.  
*Selivanov Y. P. Osnovy modelirovaniya i optimalnogo programmirovaniya avtotipnogo processa [The basics of modeling and optimal programming of autotype process] – M.: Kniga, 1979.– 238 s*
8. Шовгенюк М. В. Аналітичний розв'язок рівнянь автотипного синтезу зображення в колірному просторі ICaS / М. В. Шовгенюк, М. Р. Крик // Доповіді Національної академії наук України : наук.-теор. журн. Президії НАН України – К., 2012.– №11 – С. 81–86.  
*Shovgenyuk M. V. Analitichnyi rozvyazok rivnyan avtotipnogo syntezu zobrajennya v kolirnomu prostori ICaS [The analytical solution of autotype synthesis equations of image in color space ICaS] / M. V. Shovgenyuk, M. R. Kryk // Dopovidi Nacionalnoi akademii nauk Ukrainy: nauk.-teor. jurn. prezydii NAN Ukrainy – K., 2012.– №11 – S. 81–86.*
9. Шовгенюк М. В. Аналітичний розв'язок систем автотипних рівнянь / М. В. Шовгенюк, М. Р. Крик // Наукові записки УАД : наук.-техн. зб. – Львів : УАД, 2010.– №2(18).– С. 37–48.  
*Shovgenyuk M. V. Analitichnyi rozvyazok system avtotypnyh rivnyan [The analytical solution of autotype equations] / M. V. Shovgenyuk, M. R. Kryk // Naukovi zapysky UAD : nauk.-techn. zb. – Lviv : UAD, 2010.– №2(18).– S. 37–48.*

#### Шовгенюк М.В., Семенов В.В., Ковальский Б. М. Развитие теории синтеза цветов четырьмя красками

**Аннотация.** Выведено автотипное уравнения синтеза цветов четырьмя красками, из которых одна цветная краска выступает в качестве параметра. Разработана компьютерная программа, с помощью которой построен цветовой охват автотипного синтеза цветов на оттиске. Полученные результаты теоретического анализа подтверждены экспериментальными данными Fogra.

**Ключевые слова:** автотипный синтез цветов, автотипное уравнения, цветоделение, компьютерная программа.

Shvachych G.G.

Multiprocessor simulating medium in the task of stochastic modeling

Shvachych Gennady Grigorievich, doctor of engineering sciences, professor, Manager by a department, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovs'k, Ukraine

**Abstract.** The work considers the multiprocessors technologies of modeling for Monte Carlo tasks. It is shown that only application of the modern super productive systems permitted the new way to realize the mechanism of corresponding partitioned computations. The calculating schemes that supply to provide the increase of productivity and calculations' speed effectiveness are shown. Effectivity of the proposed method is illustrated in the comparative analyses of solving the definite tasks' class.

**Keywords:** technology, modeling tasks Monte Carlo, distributed computing.

**Introduction.** Among the variety of calculating methods in the modern mathematical solutions it is possible to put attention on the methods such as Monte Carlo [5, 6]. This name unites the group of the calculative methods based on receiving the great amount of the stochastic process realizations. This process demands that its probability could correlate with the analogical values of the solved problem. Monte Carlo methods are widely used in areas of physics, mathematics, economics, optimization, management etc. The national works based on the Monte Carlo methods appeared in 1955–1956. Since that time a lot of the scientific works describing the above mentioned method were written [1–4, 7, 8]. Even the superficial glance shows the efficiency of the Monte Carlo method for solving of applied tasks in the different science and techniques areas. Thus now these methods are applied for solving for some classes of the differential equations in the partial derivatives, integral equations, problems of the eigen-values and linear algebraic equations. The important feature of the Monte Carlo method is its experimental characteristics. We will call this name the procedure including the use of ways of statistic sampling for the approximate solving of the mathematical and physics problems.

Among all methods the Monte Carlo had and has the influence on the development of the methods of applied mathematics, e.g. on the development of the methods of numerical integrating. It also effectively coincides with other calculative methods and makes addition for them. It is widely used especially for the tasks having the theoretical-probable description because of the definite simplification of the solving.

Monte Carlo method is widely used for its simplicity and universality. Low approximation is the essential shortcoming of the method but in this work we will describe its modifications which provide the high order of the convergence; which is possible with the help of special assumptions. Though the calculating procedure becomes more complicated. Monte Carlo approximation is the approximation based on probability. It is known that the approximate methods are often used for solving the practical tasks.

At least we admit that solution accuracy of this method depends on the quality of the generator of the random values that describes the analyzed process and also on the productivity of the so called calculator. Today the tact frequency of the modern processors is higher than Giga-bytes and the volume of the RAM of the PC is also very large. Taking in account that the definite class of tasks will be developed on the personal calculating cluster the calculator productivity is not a problem for solving for

calculating algorithms used to solve multi dimensional tasks. The practical example of the mechanism for applying this method and some special features of its realizing will be considered for the typical thermo – physical tasks.

**Specialty of realization of the parallel calculations with the Monte Carlo Method.** Among the other numerical methods the main role plays the Monte Carlo Method. We have to point that this method helps to get the closest solution of the task in one fixed point without knowing the solution for other points of the grid. This differs the Monte Carlo Method especially for solving the Dirichlet problem from other well-known ways. The simplified scheme is shown on the Fig.1.

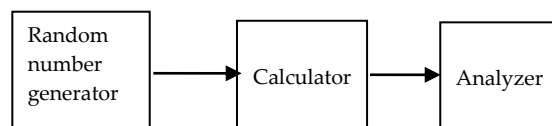


Fig.1. Scheme of calculations with the Monte Carlo Method

Application of this method gives the possibility to review the idea of making nonparallel calculations and using the cluster technologies. Intermediate results may be obtained independently on the different levels and the final results should be arranged on any separate master - blade or analyzer. Fig.2 shows the algorithm of parallel calculations.

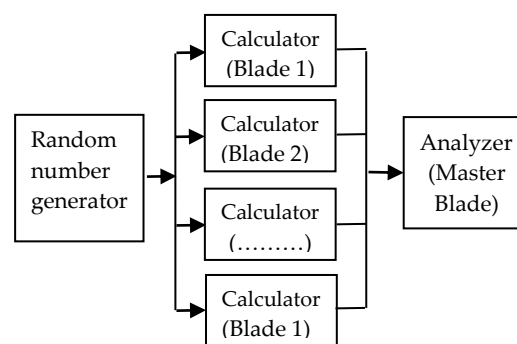


Fig.2. Scheme of parallel calculations

According to this scheme one generator of the random numbers outputs one random value to each "calculator". Information is permanently transferred via latent channels. So the productivity will be low as well as the data speed. Experience of operating of the calculating cluster for such schemes made it available to perfect the scheme on the Fig. 2.

The Fig.3 shows the modified algorithm of calculations

with Monte Carlo Method. Every user has its own generator of random values. This fact allows to escape the presence of the router communicator. This decision definitely accelerates the calculating process. The productivity may be evaluated experimentally.

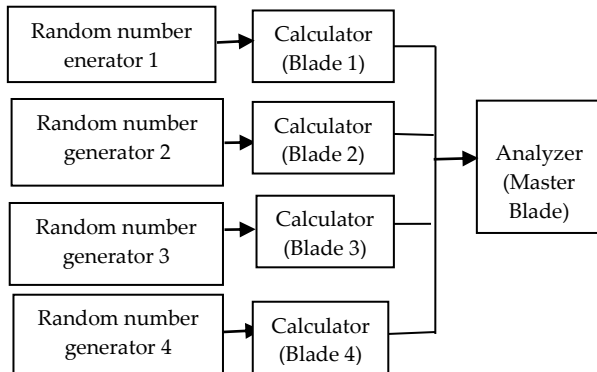


Fig.3. Modified algorithm of parallel calculations based on Monte Carlo Method

Thus Monte Carlo Method based algorithms are the stable relating to any input data, have the maximal parallel form and the minimal time for realization of calculations.

**Investigation of efficiency of the cluster system simulation of tasks by the Monte Carlo Method**

Analysis of the problem of search and solution for boundary value problems. Boundary problems and problems with initial conditions for linear differential equations are the one of the most interesting areas of using the Monte Carlo Method. The connection between two types of these problems is known for long time [2 – 4, 7 – 9]. But only the computers' appearance gave the possibility of using this connection for finding the results of this problem.

To clear the main idea of the method we consider the Dirichlet problem for Laplace equation. We have the definite G-area on which boundary the function f(Q) is defined. We have to find the function U(P) that satisfies the Laplace equation:

$$\Delta U = 0, \tag{1}$$

on boundary of area P accepts values:

$$U|_r = f(Q). \tag{2}$$

Generally this problem is brought to a finite-difference scheme. G-area is covered by the square grid nodes. We look for values of the function U(P) from the following system.

$$U(P) = \frac{1}{4}[U(P_1) + U(P_2) + U(P_3) + U(P_4)]. \tag{3}$$

Symbols {P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>} mean four nodes next to the internal node P: they are arranged inside the G-area or on its bound.

We consider the theoretical probable scheme which is connected with the problem. Imagine the participle that has to move between the grid nodes with integer coordinates (i, j) on the area:

$$x_i = x_0 + i\eta, \quad y_j = y_0 + j\eta, \\ (i, j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

and the step is  $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i, \Delta y_j = y_{j+1} - y_j$ .

Let's say that the grid of S<sub>η</sub> consists of internal and boundary nodes in which boundary conditions of the first kind are set. Boundary nodes represent a set of the linear points of M<sub>pq</sub>(x<sub>p</sub>, y<sub>q</sub>) which approximate the curvilinear Γ boundary of the area G which approximate the curvilinear boundary of the area G to with accuracy η. The particle M realizes the uniform accidental movement between nodes of the grid. In particular, being in the internal node M<sub>i<sub>0</sub>,j<sub>0</sub></sub> of a grid S<sub>η</sub>, this particle for one transition with identical probability equal to 1/4 can move to one of adjacent nodes. In particular in M<sub>i-1,j</sub>(x<sub>i-η</sub>, y<sub>j</sub>), one step back, in M<sub>i+1,j</sub>(x<sub>i+η</sub>, y<sub>j</sub>) one step to the right, in M<sub>i,j-1</sub>(x<sub>i</sub>, y<sub>j-η</sub>) -one a step down or M<sub>i,j+1</sub>(x<sub>i</sub>, y<sub>j+η</sub>) - one step up. Each such transition is absolutely accidental and doesn't depend on the position of a particle and its previous relocation. Let's allow that relocation of M will end as soon as it reaches the boundary Γ<sub>η</sub>. In this case Γ<sub>η</sub> is "the absorbing screen". It is possible to prove [4] that M relocation through a finite number of steps will finish on this boundary.

If the particle of M began the relocation with the fixed point of M<sub>i<sub>0</sub>,j<sub>0</sub></sub> on the grid S<sub>η</sub> that can be written as:

$$M_{i_0,j_0}, M_{i_1,j_1}, \dots, M_{i_S,j_S},$$

and

$$M_{i_k,j_k} \in \Gamma\eta \quad (k = 0, 1, \dots, S - 1).$$

Here expression M<sub>i<sub>k</sub>,j<sub>k</sub></sub> ∈ Γη displays a particle path in case of quantity of steps equal to S. This value is accepted to be called "history of relocation".

Uniform accidental relocation of a particle can be organized by means of uniformly distributed sequence of random numbers [1 – 4, 7] which are equal to: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

For this purpose it is enough to carry out random check from numbers (0 – 9), adhering to the instruction shown in the table 1.

Table 1.

**Determination of the particle step depending on a random number**

Random number	Determination
0 or 4	Δx <sub>i</sub> = η (step right)
1 or 5	Δy <sub>j</sub> = η (step up)
2 or 6	ΔΔx <sub>i</sub> = -η (step left)
3 or 7	ΔΔy <sub>j</sub> = -η (step down)

Random numbers are taken from the ready tables or turn out by the pseudorandom number generator [2]. The last method became popular as it doesn't allow to overload the system memory. The particle which has begun relocation from a point M<sub>i<sub>0</sub>,j<sub>0</sub></sub> after the first step will occur in one of the nodes

- I. M<sub>i,j</sub>, M<sub>i-1,j</sub>, ...;
- II. M<sub>i,j</sub>, M<sub>i+1,j</sub>, ...;
- III. M<sub>i,j</sub>, M<sub>i,j-1</sub>, ...;
- IV. M<sub>i,j</sub>, M<sub>i,j+1</sub>, ...

$$P(i, j, p, q) = \frac{1}{4}P(i-1, j, p, q) + \frac{1}{4}P(i+1, j, p, q) + \frac{1}{4}P(i, j-1, p, q) + \frac{1}{4}P(i, j+1, p, q). \tag{4}$$

Having multiplied two members of equation (4) on boundary values  $\gamma_{pq}$  and having summarized all possible  $p$  and  $q$  values, we will receive.

$$g_{ij} = \frac{1}{4}(g_{i-1,j} + g_{i+1,j} + g_{i,j-1} + g_{i,j+1}). \quad (5)$$

Values  $U_{ij}$  allow the experimental determination, for this purpose it is necessary to replace mathematical expectation by empirical. Then expression will look as:

$$U_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^w \varphi(x_p^{(k)} y_q^{(k)}). \quad (6)$$

The formula (6) gives a statistical assessment of values  $U_{ij}$  and can be used as the best approximation to the solution of the Dirichlet problem.

**Example 1.** To find value  $U(2, 2)$  with the application of the Monte Carlo method where

$$\Delta U(x, y) = 0, \text{ in the area } G \{0 \leq x \leq 4; 0 \leq y \leq 4\}, \quad (7)$$

and conditions are:

$$\begin{aligned} U(x, 0) &= 0, \quad 0 \leq x \leq 4; \\ U(4, y) &= y, \quad 0 \leq y \leq 4; \quad (8) \\ U(x, 4) &= x, \quad 0 \leq x \leq 4; \\ U(0, y) &= 0, \quad 0 \leq y \leq 4. \end{aligned}$$

**Solution.** For the square  $G$  with the boundary  $\Gamma$  we will build the square grid  $S$  with the step  $\eta = 1$ . Coming from the initial position (2,2) the movement finishes on the boundary  $\Gamma$  in the area  $G_k$ , at the given conditions (8) (see table 1). Appearance of numbers 8 and 9 we consider as a stop on one place.

Table 2 shows trajectories of 20 histories for two-dimension random movement at  $N = 20$ .

Due to (8) we get that:

$$U(2,2) = \frac{1}{20} \sum_k \varphi(x_p^{(k)} y_q^{(k)}) = \frac{1}{20} \cdot 20 = 1.$$

In this case the exact solution of the Dirichlet problem is known (7, 8):

$$U(x, y) = \frac{xy}{4}.$$

Thus

$$U(2,2) = \frac{2 \cdot 2}{4} = 1.$$

This is a way we received the exact solution for  $U(2,2)$  applying the statistic method.

**Example 2.** Let us consider the task of the temperature field for the coal adiabatic [10]. This field  $T(x,y)$  has to match the equations

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0, \quad (9)$$

and also the system of randomly selected boundary values of temperature:

$$T = \begin{cases} F_1(x) \text{ along the border } y = \ell, \\ F_2(x) \text{ along the border } y = 0, \\ G_1(y) \text{ along the border } x = L, \\ G_2(y) \text{ along the border } x = 0, \end{cases} \quad (10)$$

It is necessary to define the temperature field of the plate where  $F_1(x) = F_2(x) = l$  and  $G_1(y) = G_2(y) = 0$ , geometry sizes of the plate are :  $l = 1$  and  $L = 2l$ .

Let's make the comparative analysis of solutions for the task using numerically -analytical method and the method of statistical tests. So the rectangular area of the given size is covered with nodes:

$$x_i = x_0 + i\eta, \quad y_j = y_0 + j\eta, \quad (11)$$

with

$$\left. \begin{aligned} Dx1 &= x_{i+1} - x_i = \frac{2}{2m_x}, \quad m_x = 10 \\ Dy1 &= y_{j+1} - y_j = \frac{2}{2m_y}, \quad m_y = 5 \end{aligned} \right\}, \quad \eta = 0,1.$$

Conditions of such rating of nodes bring to:

$$i = \overline{1, 2m_x - 1}, \quad j = \overline{1, 2m_y - 1}.$$

Boundary surface is defined in parameters:

$$x_0 = 0, \quad y_0 = 0, \quad x_{2m_x} = 2, \quad y_{2m_y} = 1,$$

where  $x_{m_x}$   $y_{m_y}$  and  $(x_{m_x}, y_{m_y})$  are coordinates of the average surfaces and the central node. Instead of inde-

Table 2.

**Trajectory of the motion for the working point**

Number of motion, $k$	Trajectory of wandering	Value of the function $u(x,y)$ at exit point on the border $G$
1	(2,2) > (2,3) > (2,2) > (2,1) > > (3,1) > (3,2) > (3,1) > (3,2) > > (2,2) > (2,3) > (2,3) > (2,2) > > (2,1) > (2,0);	0
2	(2,2) > (2,3) > (3,3) > (3,2) > > (4,2);	2
3	(2,2) > (2,3) > (2,2) > (2,3) > > (2,4);	2
4	(2,2) > (1,2) > (1,2) > (0,2);	0
5	(2,2) > (2,3) > (2,4);	2
6	(2,2) > (2,1) > (2,0);	0
7	(2,2) > (1,2) > (2,2) > (3,2) > > (3,1) > (3,2) > (2,2) > (1,2) > > (0,2);	0
8	(2,2) > (1,2) > (0,2);	0
9	(2,2) > (2,1) > (2,2) > (3,2) > > (3,3) > (3,3) > (2,3) > (1,3) > > (0,3);	0
10	(2,2) > (1,2) > (0,2);	0
11	(2,2) > (2,2) > (2,2) > (2,1) > > (2,2) > (3,2) > (3,1) > (3,1) > > (4,1);	1
12	(2,2) > (2,2) > (2,1) > (2,1) > > (4,1);	0
13	(2,2) > (2,1) > (3,1) > (3,0);	0
14	(2,2) > (3,2) > (4,2);	2
15	(2,2) > (2,3) > (2,4);	2
16	(2,2) > (2,3) > (2,3) > (1,3) > > (0,3);	0
17	(2,2) > (3,2) > (4,2);	2
18	(2,2) > (3,2) > (3,1) > (2,1) > > (2,2) > (3,2) > (4,2);	3
19	(2,2) > (3,2) > (4,2);	2
20	(2,2) > (2,3) > (2,3) > (2,3) > > (2,4);	2
	$\Sigma$	20

pendent values  $x$  and  $y$  we enter ones normalized by "one":

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} \in [-1, +1], \\ \varepsilon_y &= \frac{y - y_j}{y_{j+1} - y_j} \in [-1, +1]. \end{aligned} \quad (12)$$

Then equation (9) for nodes  $x_{i+1} - x_i = x_i - x_{i-1}$ ,  $y_{j+1} - y_j = y_j - y_{j-1}$  will occur invariant to the grid nodes:

$$\frac{\partial^2 T(\varepsilon_x, \varepsilon_y)}{\partial \varepsilon_x^2} + \frac{\partial^2 T(\varepsilon_x, \varepsilon_y)}{\partial \varepsilon_y^2} = 0 \quad (13)$$

So we can describe algorithm which includes apriority information. Suppose that the solution of (9) belongs to the class of analytical functions. We can represent the existing of the function in the form of Taylor series:

$$T_{j+\varepsilon_{y,1}}(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_y^n T_{j,n+1}(\varepsilon_x) \quad (14)$$

or

$$T_{i+\varepsilon_{x,1}}(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_x^n T_{i,n+1}(\varepsilon_y). \quad (15)$$

$$(n+1)(n+2)T_{j,n+3}(\varepsilon_x) = -T_{j,n+1}''(\varepsilon_x) \quad (16)$$

or

$$(n+1)(n+2)T_{i,n+3}(\varepsilon_x) = -T_{i,n+1}''(\varepsilon_y). \quad (17)$$

It is easy to see that the Taylors' components (16), (17) may be expressed via the data of the Cauchy task  $\{T_{j,1}(\varepsilon_x), T_{j,2}(\varepsilon_x)\}$ ,  $\{T_{i,1}(\varepsilon_y), T_{i,2}(\varepsilon_y)\}$  and their derivatives by the independent values  $\xi_x, \xi_y$ . Then for different values  $n$ , e.g. 0, 1, 2, 3 corresponding equations may be written as following:

$$\begin{aligned} T_{j,3}(\varepsilon_x) &= -\frac{1}{2!} T_{j,1}''(\varepsilon_x), \\ T_{j,4}(\varepsilon_x) &= -\frac{1}{3!} T_{j,2}''(\varepsilon_x), \\ T_{j,5}(\varepsilon_x) &= +\frac{1}{4!} T_{j,1}^{(4)}(\varepsilon_x), \\ T_{j,6}(\varepsilon_x) &= +\frac{1}{5!} T_{j,2}^{(4)}(\varepsilon_x), \end{aligned} \quad (18)$$

etc.

So instead of Taylor's series we obtain the local solution of the Cauchy task for the nodes ( $j = \overline{1, 2m_y - 1}$ ):

$$T_{y+\varepsilon_{y,1}}(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left[ \frac{\varepsilon_y^{2n}}{(2n)!} T_{j,1}^{(2n)}(\varepsilon_x) + \frac{\varepsilon_y^{2n+1}}{(2n+1)!} T_{j,2}^{(2n)}(\varepsilon_x) \right], \quad (19)$$

at the same time the Cauchy data  $\{T_{j,1}(\varepsilon_x), T_{j,2}(\varepsilon_x)\}$  represents the unknown functions of  $\varepsilon_x$ .

Extending the definition of solution (19) by the boundary conditions of Dirihlet problem and supposing that  $\varepsilon_x = \pm 1$ , we receive partitioned solution of the Cauchy task:

$$\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{(2n)!} T_{j,1}^{(2n)}(\varepsilon_x) = \frac{1}{2} [T_{j+1,1}(\varepsilon_x) + T_{j-1,1}(\varepsilon_x)] \quad (20)$$

Or

$$\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{(2n+1)!} T_{j,2}^{(2n)}(\varepsilon_x) = \frac{1}{2} [T_{j+1,1}(\varepsilon_x) - T_{j-1,1}(\varepsilon_x)] \quad (21)$$

at  $j = \overline{1, 2m_y - 1}$ , and  $T_{0,1}(\varepsilon_x), T_{2m_y,1}(\varepsilon_x)$  which are known boundary functions of the first kind. Differentiation of (19) on  $\varepsilon_y$  and parting with Cauch, we get:

$$\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{(2n)!} T_{j,1}^{(2n)}(\varepsilon_x) = \frac{1}{2} [T_{j+1,2}(\varepsilon_x) + T_{j-1,2}(\varepsilon_x)] \quad (22)$$

or

$$\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{(2n-1)!} T_{j,1}^{(2n)}(\varepsilon_x) = \frac{1}{2} [T_{j+1,2}(\varepsilon_x) - T_{j-1,2}(\varepsilon_x)], \quad (23)$$

where  $\{T_{0,2}(\varepsilon_x), T_{2m_y,1}(\varepsilon_x)\}$  – are the known boundary conditions of the second kind. So supposing that  $n$  aims to ( $n = M \in \mathbb{Z}$ ), we receive mathematical models with the random order of accuracy. If  $M = 1$  we obtain the following finite-difference schemes:

– for the Dirihlet problem:

$$T_1(i, j) = \frac{1}{4} [T_1(i-1, j) + T_1(i+1, j) + T_1(i, j-1) + T_1(i, j+1)] \quad (24)$$

– for the Neumann's task:

$$T_2(i, j) = \frac{1}{4} [T_2(i-1, j) + T_2(i+1, j) + T_2(i, j-1) + T_2(i, j+1)]. \quad (25)$$

The (24) and (25) may be applied for the statistical method. Thus the random motion of the particle on the rectangular grid is easily extended on the Neumann's task and  $T_2(i, j)$  at (25) is the gradient function.

It is natural that the random process challenges the use of a big amount of steps to reach the given point. So it is useful to consider the special methods of sampling corresponding to groups [2].

To solve the task (9), (10) with the boundary conditions (10) we get the output data:

$$\begin{aligned} T[j, 0] &= T[j, 2m_x] = 0, \\ T[0, i] &= T[2m_x, i] = 1, \end{aligned} \quad (26)$$

Moving of the  $M$  particle is determined in accordance with the illustration (table. 2) given higher. For organization of the casual motions we use the equipartition random sequence of numbers neat by means of Personal Cluster System. The results of calculations given in the columns at the different values of  $N$ - size were processed as a relative error :

$$\beta[j, i] = \frac{|T_r[j, i] - T_p[j, i]|}{T_r[j, i]} \cdot 100\%. \quad (27)$$

For  $T_r[j, i]$  there exists the exact solution based on the Monte Carlo method. The results of calculations are shown in a table. 3. From the comparative analysis of results of modeling it is clear that with the increase of number of  $N$  the relative error diminishes. In the angles closest to knots (1, 1), (mj, 1) an error does not diminish through the closeness of maximal knots (0, 0) and (mj, 0), where the function has a break of the first kind.

Table 3.  
**Relative error for results of solving of tasks by the Monte Carlo method at the different values of wandering of a working particle N**

wandering number	N = 1 000		N = 10 000		Analytical decision $T(x,y)$
	$\beta$ , %	$\bar{m}_x$	$\beta$ , %	$\bar{m}_x$	
(1,1)	6,332	0,5273	2,359	0,5076	0,4959
(2,1)	1,314	0,5938	0,614	0,5897	0,5861
(3,1)	1,121	0,6858	0,236	0,6798	0,6782
(4,1)	0,967	0,7725	0,209	0,7667	0,7651
(5,1)	0,913	0,8948	0,101	0,8876	0,8867
(6,1)	0,967	0,7725	0,209	0,7667	0,7651
(7,1)	1,121	0,6858	0,236	0,6798	0,6782
(8,1)	1,314	0,5938	0,614	0,5897	0,5861
(9,1)	6,332	0,5273	2,359	0,5076	0,4959

**Conclusions.** The article describes the process of mathematical design of the applied tasks on the basis of the use of the Personal Cluster System. Experience of exploitation of the first parallel systems showed that their effective work needs the radically change of the structure of numerical methods. In this connection this article shows the features of design of the applied tasks which are described on the basis of application of the Personal Cluster System.

Nowadays it is possible to talk about the revival of the method of Monte Carlo. It is explained by the fact that this method ideally approximates the cluster system. Thus, the more processors will be in a cluster, the more effective the task will be solved. The method of Monte Carlo produced and continues to produce substantial influence on development of methods of calculable mathematics (for example, development of methods of numerical integration). It also is successfully solving many tasks combined with other calculable methods and complements them. The method's application is justified, first of all, to the decision of such tasks as admit assume of theoretical-probable description. It is explained by both: the tasks with the certain set probability and in tasks with probabilistic maintenance and substantial simplification of procedure of decision. The Monte Carlo method is also

used to solve the multidimensional tasks of metallurgy.

Slow convergence of method is its little defect. However in this article we show that with forming selective random numbers in relation to separate groups the accuracy of this method allows to use it widely.

In addition it was shown that the method of Monte Carlo is enough successful adjusted to solve multidimensional tasks. For example, at applying the ordinary method for solving the systems of linear algebraic equalizations for a calculation of one unknown value it is necessary to define also the other ones. In the Monte Carlo method it is not necessary because at each time moment only one necessary co-ordinate is determined.

Regional tasks and tasks with initial conditions for linear differential equalizations are one of the most interesting application of the method of Monte Carlo. It became possible only due to the development of the cluster computer systems. In this work the examples of solution for tasks of Newman and Dirihlet are made by means of the method of Monte Carlo.

Application of this method enables to see the idea of disparallel calculations and use the cluster technologies for calculations. In this article the modified algorithm of parallel calculations is offered based on the Monte Carlo method. Here every calculator has its own random generator of numbers. Thus intermediate calculations come true independently on the different, separately taken blades of cluster, "calculators". The results are already processed on some separately taken *master-blades* ("analyzer"). This allows to get rid from the necessary presence of router-communicator between the random generator of numbers and "calculator". Obviously, that such decision allows to accelerate the process of calculations.

It is shown that the parallel algorithms of the Monte Carlo method are stable to any input data and have the maximal parallel form and, thus, minimal possible time of realization using the parallel computing devices. If it is possible to appoint one processor to one knot of calculation. Thus the realization of calculations becomes possible in all knots of net area in parallel and simultaneously.

#### REFERENCES (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- Березин И.С. Методы вычислений / И.С. Березин, Н.П. Шибков. – М.: Наука. – Т. 1. – 1966. – 632 с.  
Berezin I.S. *Metody vychisleniy [Calculations methods]* / I.S. Berezin, N.P. Shybkov. – M.: Nauka. – T. 1. – 1966. – 632 s.
- Браун Дж. Методы Монте-Карло / Дж. Браун // Современная математика для инженеров; под ред. Э.Ф. Беккенбаха. – М.: Изд-во ин. лит., 1958. – 500 с.  
Braun Dj. *Metody Monte-Carlo [Monte Carlo methods]* / Dj. Braun // *Sovremennaja matematika dlja inzhenerov; pod. red. E.F. Bekkenbacha.* – M.: Izd.-vo in.lit., 1958. – 500 s.
- Демедович Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демедович, И.А. Марон. – М.: Физматгиз, 1963. – 660 с.  
Demidovitch B.P. *Osnovy vychislitel'noy matematiki [Basicsbacking of computational mathematics]* / B.D. Demidovitch, I.A. Maron. – M.: Fizmatgiz, 1963. – 660 s.
- Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы / С.М. Ермаков. – М.: Наука, 1971. – 471 с.  
Ermakov S.M. *Metod Monte-Carlo I smejnye voprosy [Monte Carlo method of and related matters]* / S.M. Ermakov. – M.: Nauka, 1971. – 471 s.
- Михайлов Г.А. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло / Г.А. Михайлов, А.В. Войтишек. – М.: Академия, 2006. – 368 с.  
Mikhayjlov G.A. *Chislennoe statisticheskoe modelirovanie. Metody Monte-Carlo [Numerical statisticalcollation modeling]imagineering* / G.A. Mikhayjlov, A.V. Voytishek. – M.: Akadimiya, 2006. – 368.
- Михайлов Г. А. Оптимизация весовых методов Монте-Карло по вспомогательным переменным / Г. А. Михайлов, И. Н. Медведев // Сиб. матем. журн. – 2004. – № 45. – С. 399 – 409.  
Mikhayjlov G.A. *Optimizatsia vesovyh metodov Monte-Carlo po vspomogatel'nyh peremennym [Optimization of gravimetric Monte Carlo methods to auxiliary variables]* / G.A. Mikhayjlov, I.N. Medvedev // *Sib. matem. Jyrnal.* – 2004. – № 45. – С. 399 – 409.
- Китов Н.А. Электронные цифровые машины и программирование / Н.А. Китов, Н.А. Криницкий. – М.: Физматгиз, 1959. – 572 с.  
Kitov N.A. *Elektronnyye zfyrovye mashyny i programmirovaniye [Electronic digital machines and programming]* / N.A. Kitov, N.A. Krinitskiy. – M.: Fizmatgiz, 1959. – 572 s.
- Соболь И.М. Метод Монте-Карло / И.М. Соболь. – М.:

- Наука, 1968. – 64 с.  
Sobol' I.M. *Metod Monte-Carlo [Monte Carlo Method]* / I.M. Sobol'. M.: Nauka, 1968. – 64 s.
9. Швачич Г.Г. Деякі аспекти кластерних технологій моделювання задач Монте-Карло / Г.Г. Швачич, О.Г. Холод // Питання прикладної математики і математичного моделювання: зб. наук. пр. – Д., 2011. – С. 300 – 322.  
Shvachych G.G. *Dejaki aspekty klasternyh tehnologiy modeljuvannja zadach Monte Carlo [Some/certain/ aspects of cluster technologies/technicology/ of modeling [imagineering/ |tsk| of Monte Carlo tasks]* / Г.Г. Швачич, О.Г. Холод // *Pytannja prykladnoy matematyky I matematychnogo modeljuvannja: zb. nauk. pr. – D., 2011. – S. 300 – 322.*
10. Шнейдер П. Инженерные проблемы теплопроводности / П. Шнейдер; пер. с англ. – М.: Изд-во ин. лит., 1960. – 478 с.  
Shneyder P. *Ingenernye problemy teploprovodnosti [Engineerings problems of heat conductivity]* / P. Shneyder; per. S angl. – M.: Izd-vo in. lit., 1960. – 478 s.

**Швачич Г.Г. Многопроцессорные моделирующие среды в задаче стохастического моделирования**

**Аннотация.** В работе рассматриваются многопроцессорные технологии моделирования задач Монте – Карло. Показано, что только применение современных суперпроизводительных систем позволило по-новому реализовать механизм соответствующих распределенных вычислений. Приводятся соответствующие схемы вычислений, которые обеспечивают увеличение производительности и быстродействие вычислений. Эффективность предложенного подхода иллюстрируется сравнительным решением ряда нестационарных задач.

**Ключевые слова:** многопроцессорные технологии, моделирования задач Монте – Карло, распределенные вычисления.



Ushapivsky I.L.

**Experimental studies of vibrations centrifugal fire pump with defective bearings**

*Ushapivsky Igor Lubomyrovych, Head of the department of emergency response  
General Directorate of State Service for Emergency Situations of Ukraine in Lviv region, Lviv, Ukraine*

**Abstract.** The work deals with an experimental study of vibrations of centrifugal fire pump PN-40UV with defect. A worn-out bearing assembly was selected as internal defect. The vibration accelerations signals have been analyzed by their spectral structure. It was determined that the presence of the worn bearing in the pump leads to an appearance of additional harmonics with specific frequencies. This harmonics arises in the most dynamically loaded regime of operation - the usage of a pump filled with a water but without its filing. These vibrational symptoms of the analyzed type of hidden defects could be used in the procedures of fire pumps technical diagnostics.

**Keywords:** centrifugal fire pumps, diagnostic, technical state, vibrations

**Introduction.** One of the most important elements of the facility of emergency response divisions is the fire engine equipped with centrifugal pumps. Extreme conditions of operation together with long term of using lead to a high level of probability of hidden defects presence in the centrifugal fire-pumps. These defects could significantly decrease the efficiency of the operational activities of the emergency response divisions due to sudden failure or due to negative affect on the fire-pump performance characteristics such as discharge head, which is also reducing efficiency.

An experience of fire pump operation indicates that common defects usually lead to higher vibration levels during the pump operation. Thus, vibration diagnostics can be used as a good tool for identification of technical state of centrifugal fire pumps.

**Testing technique.** The methodology of experimental studies is based on series of measurements, which allows to define a regularity of vibration parameters changing caused by the presence of the hidden defects. Thus, a comparative analysis of changes in the dynamics of the systems with and without defect gives a possibility of definition of hidden defects symptoms. So, give us tools for diagnosis of its technical state.

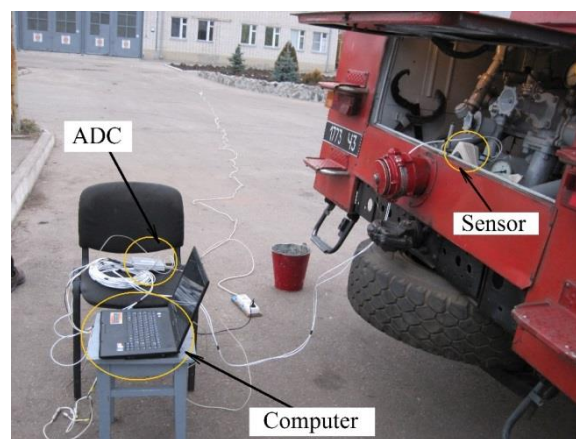
**Experiment conditions and facilities.** In the work, the experimental tests have been done with the centrifugal pump, which has been installed on an active fire engine. Experiments were carried out on the base of a measurement system "Ultra-V-I" [1,2], which has been developed at the Department of the Dynamics and Strength of Machines of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Kharkiv, Ukraine). The measuring system consists of (fig. 1): a detector of vibration accelerations, an analogue-to-digital converter (ADC) and a portable computer. "Ultra-V-I" has a valid certificate of state metrological certification and allows to make a measurement of vibration acceleration at the point of investigated object. Some details of experiments study facilities are presented in the paper [3]. The measurements have been carried out on the body of a suction pipe of the fire pump (fig. 1).

**Vibration analysis of the defected centrifugal fire pump.** The current analysis deals with an experimental study of vibration occurring during the operation of the fire pump PN- 40UV that has a defect of worn-out bearing. The study of pump vibrations has been carried out on

the most loaded regime, that provides to a pump an opportunity to realize different dynamic peculiarities.

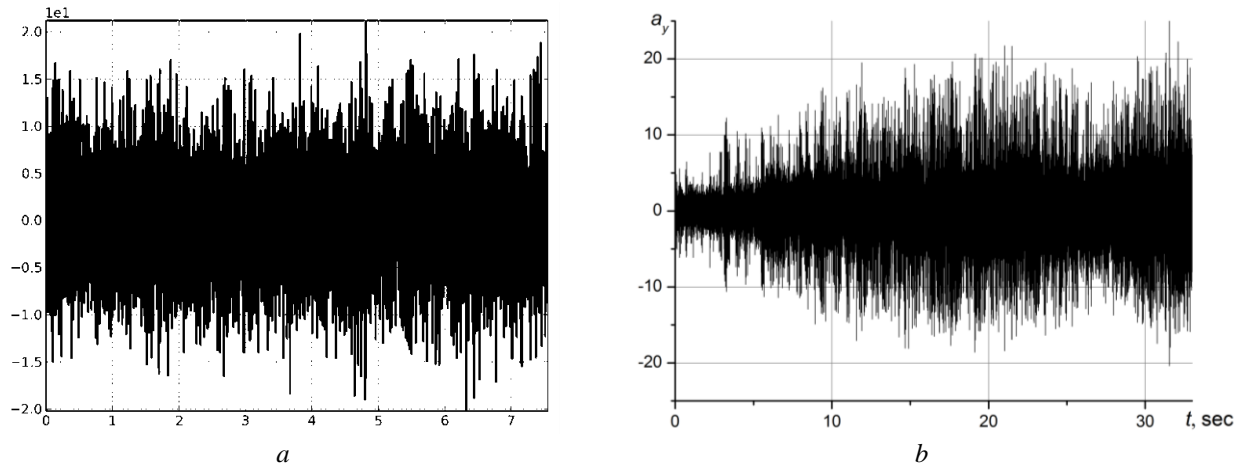
The measurements have been carried out on the body of the suction pipe of the fire pump. During these tests, an angular velocity of rotor was set near the maximum operational value that was slightly more than 2000 rpm. It should be noted that the angular velocity of the pump rotor could not be precisely fixed due to the presence of irregularity of engine motion. Therefore, it is necessary to control the angular velocity of the pump rotor rotation - during measurements. It was decided to use frequency counter during the current investigation. The counter was installed at the connection of the pump rotor with a fire engine shaft. The data have been transmitted to the ADC and recorded on a computer in real time.

Fig. 2a presents an obtained vibrational acceleration in the vertical direction in the measurement point. A presence of the random fluctuations and polyharmonic nature in the signal could be observed.



**Fig. 1.** Measurement system "Ultra-V-I" during the fire-pump vibration tests

Analogous tests with the over values of pump rotor angular velocities have been carried out to obtain more detailed information about the vibrational processes (Fig. 2b). Generalization of these results can be obtained by special tests, when vibrational signal is analyzed during continuous gradual increasing of the frequency of excitation. So, the test was made with the pump, that operates with the angular velocity, which is gradually increased from 800 rpm to 2100 rpm.



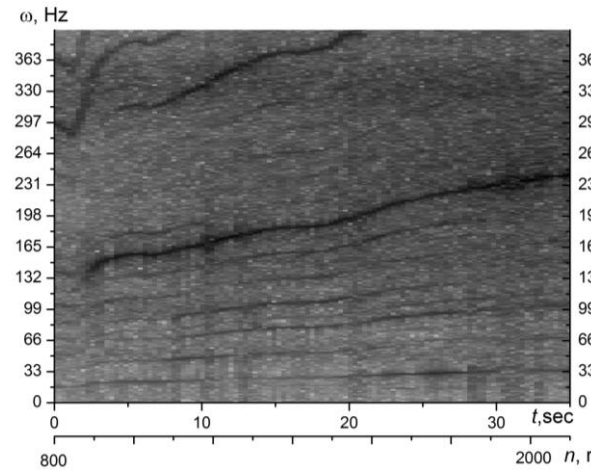
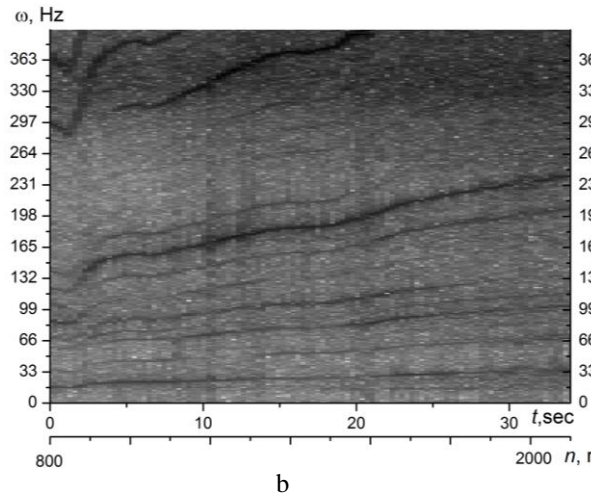
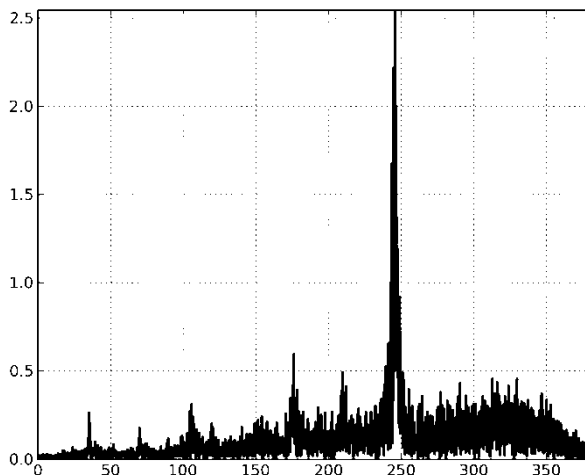
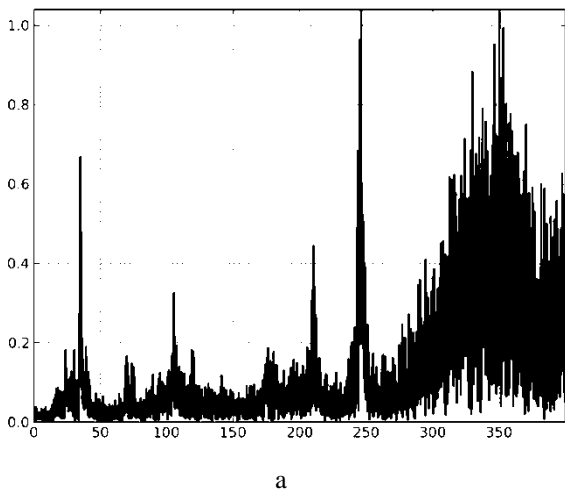
**Fig. 2.** A typical obtained signals during the tests of fire pump vibration a – recorded vibration acceleration signal; b - the test of the pump vibration with the continuous gradual increasing of the frequency of excitation

All the obtained signals was spectrally analysed. A Fast Fourier Transform (FFT) is used for these procedures [4,5]. A vibration acceleration signal, which was obtained at the test with continuous excitation frequency increasing, was analysed using spectrograms [6]. Fig. 4 presents vibration spectra at the fixed value of the pump rotor angular velocity (2000 rpm) and spectrograms for the vibration accelerations in three different directions.

Vibration analysis shows a wide spectrum of harmonics. It is 1, 2, 3, 5, 6 and 7 harmonics and resonance mode is also observed in the range 300-400 Hz. The largest amplitudes are 1, 7. Existence and domination of 7 harmonic

are associated with turbulent flows in the chamber of the pump that forms near the edges driven wheel blades. The pump driven wheel has 7 blades.

The presence of harmonics with a frequency of about 120 Hz is an important observation. The spectrum also has a harmonic with a frequency close to 0.5 from the main rotor angular velocity. Identified the frequencies of vibrations are confirmed by the pattern of the spectrogram, where frequencies of 0.5 and (3.5 - 3.6 ) of the main harmonic are observed at the almost of the full range.



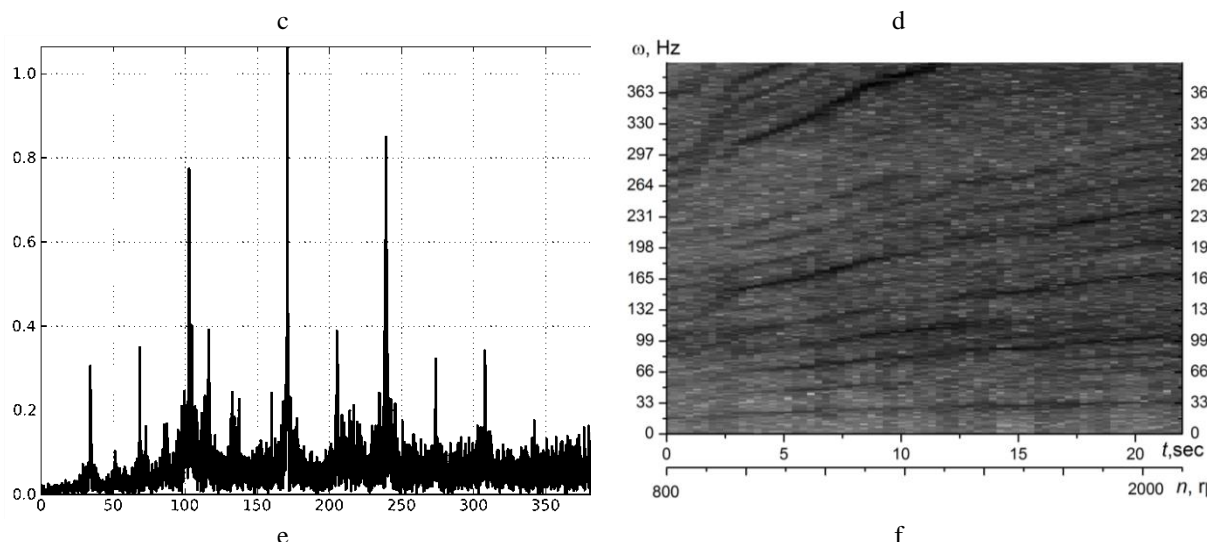


Fig. 6. Spectrums (a, c, e) and spectrograms (b, d, f) of vibration accelerations of the fire pump, which has defect (worn-out bearing) in the vertical (a, b), the axial (c, d) and horizontal (e, f) directions

Vibration in the axial direction has a less amplitudes of harmonics in the spectrum and 7th harmonic is completely dominates. The harmonic with frequency around (116-120 ) Hz is also present in the spectrum. Spectrogram confirms made observations. Vibrations in the horizontal direction is close to the pattern of vibrations in the vertical direction so all the harmonics from 1 to 8 are excited. The largest amplitude has 5 harmonic. The harmonic with a frequency of 116 Hz is also excited.

So, vibrations of the pump with worn-out bearings characterized by the presence of the harmonic with frequency about 120 - 116 Hz, which corresponding to frequencies that characterize the presence of damage in the inner bearing cage or separator.

Comparison of quantitative parameters of vibrations of the pump with worn-out bearings makes possible to detect

that an increase in vibration most strongly formed in the vertical plane XY.

**Conclusions.** Thus in the current experimental studies of vibrations of centrifugal fire pump PN- 40UV. A spectral analysis of vibration have been carried out. It is determined that the vibration spectra of pump with worn-out bearings has special harmonic which is characterize the damage of separator or cage of bearings. These vibrational symptoms of the analyzed type of hidden defects could be used in the procedures of fire pumps technical diagnostics. A usage of this technique will improve system technical check-up and preventive maintenance, that, on the one hand, leads to a reduction of the idle standing of fire equipment that are associated with untimely repair work, and on the other hand will prevent sudden failures of pumps in operation.

#### REFERENCES (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Vodka A.A. Measurement system on the base of MEMS sensor / A.A. Vodka, A.I. Trubaiev, Yu.N. Uliyanov // Bulletin of the Volodymyr Dal Eastern Ukrainian National University. – Lugansk, 2012.– № 9 (180). Vol.1. – Pp.. 140-147 (in Russian).
2. Uliyanov Yu.N. A system for vibration acceleration measurements on the base of MEMS sensor / A.A. Vodka, A.I. Trubaiev, Yu.N. Uliyanov // Proceedings of the III International Scientific conference “The problems of the transport technical and logistics”, Evpatoria, Ukraine, – 2012. – Pp.. 191 (in Russian).
3. Larin O.M. A diagnosis of the technical state of the support of fire pump by the spectra of its vibrations / O.M. Larin, O.O. Larin, V.V. Chigrin // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Science, Vol. 8, Budapest, 2013, Pp. 112-116 (in Ukrainian)
4. Brigham, E. Oran The fast Fourier transform and its applications. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1988
5. Oppenheim, Alan V.; Schafer, R. W.; and Buck, J. R. Discrete-time signal processing. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 1999
6. J.B. Allen. Short Time Spectral Analysis, Synthesis, and Modification by Discrete Fourier Transform. - IEEE Transac. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1977. - ASSP-25 (3): Pp. 235–238

#### Ущипивский И. Л. Экспериментальные исследования вибраций центробежного пожарного насоса с дефектными подшипниками

**Аннотация.** Работа посвящена экспериментальным исследованиям вибрационного состояния центробежных пожарных насосов ПН-40УВ с и без дефектов. В качестве скрытого дефекта был выбран характерный тип неисправности насоса - изношенный подшипниковый узел. Полученные вибрационные сигналы по виброускорениям были проанализированы по их спектральному составу. Определено, что наличие изношенного подшипника в насосе приводит к появлению дополнительных гармоник со специфическими частотами, которые проявляются на наиболее динамично нагруженном режиме работы - использование насоса с водой без ее подачи. Полученные вибрационные сигналы по виброускорениям были проанализированы по их спектральному составу. Полученные вибрационные признаки могут быть положены в методику диагностики технического состояния пожарных насосов.

**Ключевые слова:** центробежные пожарные насосы, диагностика, техническое состояние, вибрации

Vinogradov S.A.

## The usage of high speed impulse liquid jets for putting out of gas blowout

Vinogradov Stanislav Andreevich, philosophy doctor, senior lecturer,  
National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

**Abstract.** The experimental researches of gas flame suppression by means of high speed impulse liquid jet generated by powder impulse hydro-cannon have been carried out. The speed of the impulse jet depending on a charge energy ranged in the experiment from 300 to 600 m/s. By means of the laser non-contact measuring device the speed of the head jet right near the gas flame has been measured, the flow has been photographed. It has been shown that round the high speed impulse liquid jet in the air the high-speed cloud of splashes with the big cross-section is being formed which effectively forces down a flame of the gas flame on distances 10 - 20 m from installation.

**Keywords:** impulse liquid jet, powder impulse hydro-cannon, gas blowout.

**Introduction.** Fire extinguishing represent a complicated man-caused emergency. Response actions to such an emergency require substantial financial expenditure and involvement of a great number of firefighting equipment units and manpower. Open blowouts as for their power level are divided into [1]:

- small-scale with gas output less than 0,5 mln m<sup>3</sup> per day and oil output less than 100 t per day;
- medium-scale with gas output (0,5÷1,0) mln m<sup>3</sup> per day and oil output (100÷300) t per day;
- powerful with gas output (1,0÷10,0) mln m<sup>3</sup> per day and oil output (300÷1000) t per day;
- high-power with gas output more than 10 mln m<sup>3</sup> per day and oil output more than 1000 t per day.

Practice shows that fire and accident occurrence in oil and gas wells amounts on average to 0,12 cases in 100 wells [2]. For instance, in the fields based in Texas number of blowouts during prospecting drilling amounts to approximately 244, during development drilling on a well it makes up 180, during well completion – 64, during well work over (also called reworking) – 197, during well operation – 85. In the fields located on American continental shelf, number of blowouts is lower and makes up respectively 45, 49, 25, 23 and 12. It is due to a smaller quantity of wells and to the usage of more reliable well casing design and down hole and wellhead equipment.

### 1. Modern methods of putting out of gas blowout.

At least ten different methods of fire extinguishing of oil and gas blowouts have been developed because of an outstanding complexity of the technical problem on one hand, and of limited efficiency of each method on the other hand [3]. In the paper [4] are provided main methods of putting out of gas flame fires according to their type.

The carriage barrels (hydraulic monitors), gas-water firefighting cars (AGVT-100 and AGVT -150) and pressure-operated powder flame-arresters (PPP-200) are widely used in Ukraine and in other CIS countries for the purpose of fire extinguishing in open blowouts [3].

The hydraulic monitors are used for putting out of gas, gas-condensate and oil open blow-out of small power, because their barrel should be installed at a 15 m distance, which is not allowable for the putting out of blow-outs with bigger output [5]. Several hydraulic monitors are used for putting out of the open blow-outs of medium-sized power and water delivery is implemented at two levels. For a long time this method of putting out the gas blow-outs has been the leading one. It consists in the following: water jets supplied from hydraulic monitors are

directed on the well mouth at blow-out base. Afterwards the water jets are raised up synchronously until complete flame lift-off from the well.

The gas-water firefighting cars (AGVT-100 and AGVT -150) are used for putting-out of all kind of the blow-outs, but more often for powerful blow-outs. The gas-water jets produced by these plants represent an inert mixture of exhaust gas of a turbojet engine and water spray. The gas-water jets are made up of 60% of water and 40% of gas. The oxygen concentration is not more than 14% at barrel outlet. More far from the nozzle the higher is the oxygen concentration and at a working distance of 12-15 m it makes up 17-18%. The water evaporates partially at gas burning hot jets, water at sprayed state arrives to burning zone [3].

The pressure-operated powder flame-arresters PPP-200 are used for putting out of high-power blow-outs [3]. The putting-out is done due to powder influence on the burning torch. The powder discharge is carried out at the expense of compressed air energy. The fire extinguishing powder concentration is created during a short period (1-2 s) by directed volley discharge.

The similar principle is implemented in devices based on tank chassis T-62 (Impulse-1, Impulse-2, Impulse-3 as well as Impulse-Storm). The device has 50 barrels (Impulse-1 has 40 barrels), each of them has 30 kg of powder. The Impulse-Storm device can deliver 1,5 tons of extinguishing powder in 4 seconds. This permits to create a powerful fire extinguishing impact at once and simultaneously through the whole area and volume. The main feature of this device is its powerful impact action on the fire seat together with its fire extinguishing effects produced by special powder mix.

The method of high explosive detonation is often used. The impact wave of high speed is generated (up to 1000 m/s) [2-5]. High explosive charge is delivered to the mouth of the well through wire rope or by a rail track car. The main weak points of this method are high danger, big and complicated preparation work and big quantity of high explosive necessary (100 – 1000 kg).

Methods of open gas and oil blowouts killing with prior flame extinguishing and subsequent elimination of flowing well as an exploration site have become widely spread in the world practice [2, 6].

It is worth pointing out that along with advantages of above listed methods all of them are characterized by a common disadvantage. This drawback consists in short delivery distance of fire extinguishing agent and that is inadmissible in the presence of high heat radiation of gas

flame. Thus, while extinguishing method by means of carriage barrels and gas-water extinguishing cars the optimal delivery distance is 15 m [3, 4, 5], and safety distance  $L_{safety}$  for manpower from flame with the output  $V=0,5$  mln.  $m^3/day$  is equal approximately to 50 m (fig. 1).

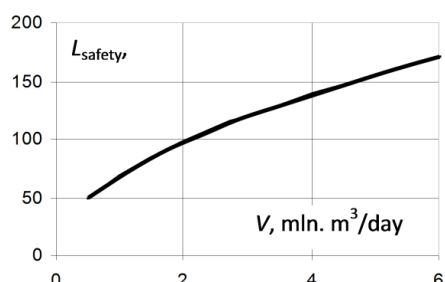


Fig. 1. Safety distance from burning gas flame

Thus, for fire-fighting and putting-out of gas blowouts the most promising of technologies is to develop devices that can guarantee the discharge of fire-extinguishing mixtures from distances which are safe for personnel considering heat emission.

**2. Promising areas of development of gas blowout extinguishing devices.** In all times the most available and simple fire-fighting resource has been water. Water is widely used in firefighting practice. It is evident that among gas blowout extinguishing mediums water is the most used agent compared to other extinguishing means due its availability, cheapness, simple delivery and use, as well as its high fire extinguishing properties.

For the time being the most promising fire-fighting method is the use of fine-water mist. The main mechanism of putting out the fire by fine-water mist is cooling of burning material and formation of a steam cloud, which localizes the burning center. If the drops do not have enough kinetic energy, they will not be able to overcome the barrier of convective stream of hot gas, which is generated by flame, and as the result will not be able to reach the flame surface and neutralize this process. In this case fine-water mist could only be used as an auxiliary mean and not the main fire-fighting method.

The drop diameter influences mainly the effectiveness of putting out procedure. Decreasing of drop diameters in fine-water mist can considerably decrease water rate necessary for putting out of the flame. At the same time decreasing of particle size obstructs maintenance of drop high speed and promotes faster drop evaporation in zone, which is previous to flame. This factors decrease the effectiveness of fine-water mist putting out. The analysis of different authors prove that optimal drop diameter is equal to  $d_{drop} \in (100 \div 150)$  mkm [7].

For water delivery from safety distance to the burning flame it is necessary to support the high speed at fire-fighting device output. Calculated value of this speed should take into account losses during the jet flight and provide required speed directly before blow out for overcoming of convective stream as well as “separated” impact on blow out. The equilibrium position of blow-out flame drifts with flow with increasing of the flow speed. This is the substance of “separated” impact. The recent aero-steam ignitable mixture becomes more and more diluted with moving away due to reciprocal diffusion with

steam. This mixture speed decreases proportionally to the dilution degree and exceeds the burning speed at some critical steam value; the jet is broken for a moment, and the flame is driven upward and separated from it.

The speed of flame separation can be calculated on the basis of the following empirical formula [8]

$$V_{separation} = 100\sqrt[3]{d}, \quad (1)$$

where  $d$  – initial diameter of flame blow-out in meters.

The analysis of specific data concerning flame character changes with increasing of the speed of burning jet shows that separation of diffusion flame is going on at 80 – 100 m/s. It is evident that mentioned values of speed from safety distance (110 – 130 m) could be guaranteed with high speed liquid jets. These jets are generated by devices which are similar to impulse hydro cannons.

**3. Schemes of the performance of the experiment.** In order to prove the possibility of putting out of gas flames by high speed impulse liquid jets and to define necessary extinguishing parameters experimental studies have been carried out. The purpose of these experiments were to determine whether it is possible to put out gas blow-outs by impulse hydro cannon, to determine the running speed of cross flow of liquid in which the flame is extinguished, and to define the zone to which the jet should be aimed in order to guarantee flame extinguishing process.

Gas blowout model has been calculated on the basis of aerodynamical similarity factor, which characterizes the processes of gas mixing with surrounding atmosphere. It depends on pressure and gas jet thickness.

$$K_{an} = \frac{w_0^2}{2gd_0}, \quad (2)$$

where  $w_0$  – gas outflow velocity, m/s,  $g$  – speed-up of free fall,  $d_0$  – well diameter, m.

Gas blowout modeling for blow-out burning with output  $(1 \div 3) \cdot 10^6$   $m^3/day$  has been carried out. Mas tree wells diameters (0,065÷0,3) m. In the experiments the simulative fire seat of gas blow-out corresponding to average parameters has been used.

In fig. 2 the scheme of performance of the experiment aimed at speed definition of the cross flow of the liquid enough to put out the gas flame.

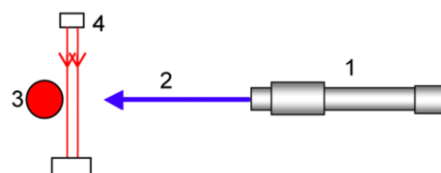
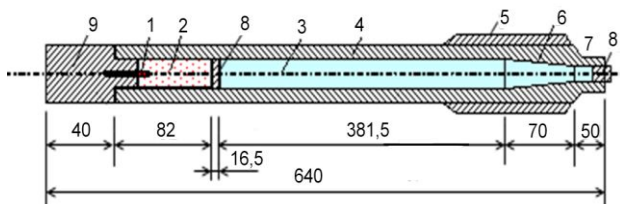


Fig.2. Scheme of experiment performance that is aimed at speed definition of the cross flow of the liquid when the gas flame is extinguished: 1 – powder impulse hydro-cannon, 2 impulse jet, 3 – simulative gas blow-out fire seat, 4 – speed measuring device.

From the impulse-type hydro-cannon 1 a series of shots with high-speed impulse jet 2 have been made onto the simulative gas blow-out fire seat 3. Qualitatively the burn termination has been registered and the high-speed jet speed at the torch has been measured with the help of speed measuring device 4 at different distances from the impulse water-gun to the torch. The distance from the plant to the torch has been measured by measuring tape.

Layout of the powder impulse hydro-cannon by means of which was carried out the experimental research is described in the fig. 3 [9].



**Fig. 3.** Powder impulse water-gun: 1 – igniter, 2 – combustion chamber, 3 – water, 4 – barrel, 5 – binding belt, 6 – nozzle, 7 – collimator, 8 – wad, 9 – gate.

The barrel 4 of powder water-cannon, that at the end has a conical nozzle 6 with a collimator 7 is filled up with water 3. Charge of gun-powder 2 is separated from water charge 3 by means of a wad 8. For reinforcement of the most stressed section of the barrel is strengthened by a binding belt 5, fixed on the barrel with backward tension. Gun-powder charge 2 in the casing of water-gun is fixed by a gate 9, inside which there is an igniter 1. At the start time the igniter 1 is actuated and fires the gun-powder charge 2. Powder gases that are generated during powder burning start expulsing and ejecting water charge 3 through the conical nozzle 6 in the form of impulse liquid jet. The outflow of liquid jet starts with a relatively small velocity that increases with increasing the pressure of powder gases. Detailed description of the powder impulse water-gun and theoretical calculations of its main parameters are presented in the work [10].

**4. Experiments of putting out the simulative/model gas blow-out by means of a hydro-cannon.** In the first stage of experimental research the motion speed of cross flow of the dropping liquid, at which the simulative gas blow-out fire seat is extinguished has been defined. A series of fire shots have been made from distances of 5, 10, 12 and 15 meters for powder charges of 5, 10 and 15 g. In the experiments the speed of impulse jet head section before the torch has been measured, the jet has been photographed and video filmed at its different diffusion stages. The speed of the head section of the jet was measured by means of non-contact laser speed measuring device that allows to record the speed in the range from 50 to 3000 m/sec. The results of such experiments are shown in the table 1.

The analysis of the videogram in the fig. 6 has shown that the jet approaches the gas torch (b) and isolates the burning zone from arrival of fresh gas and air mix (c, d). Further (e, f) the jet impact zone increases, between the burner and the flame is generated a rupture out of gas, water and liquid drops mix. The gas concentration in the rupture zone is lower than the concentration limit of flame diffusion, that prevents from burning renewal. The restarting of burning is prevented as well by the fact that the speed of after-burning of combustible gas is higher than the speed of arrival of new combustion products.

The carried out experiment have shown that impulse liquid jet of powder hydro-cannon can extinguish a simulative gas blow-out fire seat at a distance of 10 meters and more. Further research of gas torch extinguishing by high-speed impulse liquid jets must be aimed at studying how

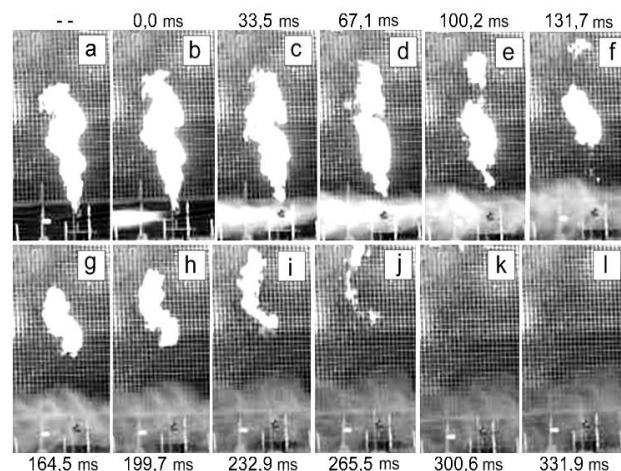
to optimize the parameters of powder hydro-cannon, at studying of the choice of efficient layout of impulse hydro-cannon and at analyzing of diffusion dynamics of impulse liquid jet in the air.

Table 1.

Results of experimental research				
№	Powder mass, g	Distance from hydro-cannon to the torch, m	Speed at the torch, m/sec	Result of putting out the torch: + - extinguished - - not extinguished
1	5	5	227	+
2		10	87	+
3		15	63	-
4		12	71	-
5	10	5	338	+
6		10	105	+
7		15	69	-
8		12	82	+
9	15	5	428	+
10		10	125	+
11		15	78	-
12		12	108	+

Thus it has been stated that the motion speed of the cross flow of dropping liquid at which the extinguishing of simulative gas blow-out fire seat occurs is in the range (80÷90) m/sec that confirms our theoretical assumptions.

The torch extinguishing process by means of high-speed jet has been studied through video filming. In the fig. 6 the videogram of this process is provided.



**Fig. 6.** Videogram of extinguishing of gas blow-out fire seat by impulse high-speed jet

**Conclusion.** The experimental researches of simulative gas blow-out fire seat extinguishing by means of high-speed liquid impulse jets generated by powder impulse hydro-cannon have been carried out. In the experiments by means of laser non-contact speed measuring device the speed of dropping liquid cross flow at which the extinguishing of simulative gas blow-out fire seat occurs, has been measured, as well as the aiming zone with the jet from impulse-type hydro-cannon that will cause the blow-out extinguishing has been defined. Maximum design speed of the impulse jet depending on charge energy ranged from 300 to 600 m/sec, that complies with the measured values.

Experimental research has shown that the speed of dropping liquid cross flow at which the extinguishing of

simulative gas blow-out fire seat occurs is in the range of (80÷90) m/sec.

**REFERENCES (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

1. Malevanskiy V.D., 1963, Open gas blow-outs and their extinguishing, Moscow, Gostoptechizdat, 288 pp.(in Russ.)
2. Chabayev L.U., 2009, Technological and methodological basis of prevention and fire extinguishing of gas blow-outs during well operation and maintenance, Thesis abstract of a Doctor's degree in Technical Sciences, spec. 05.26.03 "Fire and industrial safety (oil and gas complex)", Ufa, Lecha Usmanovich Chabaev: 47 (in Russ.).
3. Vinogradov S.A., Gritsyna I.N., 2011, "Analysis of fire extinguishing methods in oil and gas blow-outs" // Proceedings of XIII Pan Ukrainian research and practice conference of rescue workers. Kiev, September 20-21, 2011: 202-205 (in Russ.).
4. Field manual of firefighting service (approved by a President decree of Committee on State Control and Supervision in the field of Emergency Situations of the Ministry for Emergency Situations of Kazakhstan Republic from 27.12.05 No. 373) (in Russ.).
5. Mamikonyants G.M., 1971, Fire extinguishing in oil and gas gushers, Moscow, Nedra: 95. (in Russ.).
6. Holand P. Offshore Blowouts. Causes and control / Holand P. - Gulf Publishing Company Houston, Texas, 1997. - 163 p.
7. Abramov Yu.A., 2001, Processes modeling in fire-hose nozzles, Kharkov, Folio, 195 pp. (in Russ.).
8. Mikheyev V.P., 1966, Gas fuel and its burning, Leningrad, Nedra, 327 pp. (in Russ.).
9. Semko A.N., 2007, Impulse jets of high-pressure liquid, Donetsk, Veber (Donetsk branch), 149 pp. (in Russ.).
10. Vinogradov S.A. Raising efficiency of extinguishing of gas blowouts:– A manuscript: thesis abstract on competition of a scientific degree of candidate of technical sciences: spec. 21.06.02 "Fire safety" / S.A. Vinogradov.- Kyiv, 2012. – 24 p (in Ukr.)

**Виноградов С.А. Использование импульсных высокоскоростных струй жидкости для тушения газовых фонтанов**

**Аннотация.** Проведены экспериментальные исследования по тушению газового фонтана импульсными высокоскоростными струями жидкости, генерируемыми пороховой гидропушкой. Скорость струи в зависимости от порохового заряда колебалась от 300 до 600 м/сек. С помощью лазерной бесконтактной системы измерения скорости были проведены замеры скорости движения головы струи около пламени. Кроме этого, проведена скоростная видеосъемка процесса тушения факела. Установлено, что эффективное поперечное сечение высокоскоростной струи формируется на расстоянии 10-20 м от сопла гидропушки.

**Ключевые слова:** импульсная струя жидкости, пороховая гидропушка, газовый фонтан.

**Бомба А.Я., Востріков В.П.**  
**Математичне моделювання процесу нагрівання середовища «грунт-повітря»**  
**лінійними джерелами тепла**

*Бомба Андрій Ярославович, доктор технічних наук, професор  
 Востріков Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент,  
 Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна*

**Анотація.** Запропоновано математичні рівняння та розраховано температурне поле кусково-однорідного середовища «грунт-повітря», що обігривається лінійними джерелами тепла. Проведено аналіз їх розташування та отримано співвідношення для знаходження оптимальної глибини залягання обігривача та його необхідної температури за умови сталої температури на заданій висоті.

**Ключові слова:** математичне моделювання, нагрівання, середовище «грунт-повітря», лінійні джерела тепла, розрахункова область, тепловий потік.

**Вступ.** На даний час задачі прогнозування процесів нагрівання середовищ, зокрема ґрунту, пластинами, трубами, точковими джерелами тепла тощо є досить актуальними в будівельному виробництві та сільсько-господарській практиці. У сільському господарстві для теплової меліорації ґрунтів використовують системи повітряного, поверхневого чи внутрішньогрунтового обігріву з використанням оболонко-рукавів, трубопроводів, електричних кабелів тощо.

Актуальним є клас задач із розрахунку температурного поля у декількох, різних за властивостями середовищ, зокрема в середовищах «грунт-повітря» та на їх межі. Причому, з метою економії певних затрат, окрім традиційних постановок задач на розрахунок температурних полів, виникає необхідність оптимізації тих чи інших параметрів процесу теплопередачі та знаходження оптимальної температури джерела тепла та оптимальних параметрів систем обігріву.

**Огляд публікацій.** Задачі на розрахунок температурних полів у різних за властивостями середовищах, зокрема в ґрунті та приземному шарі повітря, розглядались у багатьох роботах. При цьому використовуються математичні залежності, що ґрунтуються на законах теплопровідності. Стационарний процес нагрівання пористих середовищ, зокрема ґрунту інженерними лінійними засобами, розглядався в роботах А.В. Ликова [5], А.В. Куртєнера і А.Ф. Чудновського [3], С.С. Кутателадзе [4], И.А. Иоффе [2] та інші. Проте в цих та інших роботах недостатньо повно розглянуто математичне моделювання процесу теплопередачі для варіанту розташування лінійних джерел тепла на поверхні ґрунту, що має важливе значення для систем поверхневого обігріву, а також недостатньо враховані можливості впливу характеристик процесу на характеристики середовища.

**Мета роботи.** Метою роботи є розроблення математичних залежностей та проведення розрахунку температурного поля у поперечному перерізі кусково-однорідного середовища «грунт-повітря» при обігріві його лінійними джерелами тепла, розташованими у різних місцях середовища.

**Матеріали і методи.** Розв'язок поставленої задачі було виконано нами з використанням математичного апарату закону теплопровідності та рівняння нерозривності за А.В. Куртєнером і А.Ф. Чудновським [4, 5], методів чисельного розв'язання обернених нелінійних крайових задач на конформні та квазіконформні відо-

браження [1, 7, 8], а числові розрахунки за допомогою комплексу програм MATLAB [9].

**Результати та їх обговорення.** Для виведення необхідних математичних залежностей розглянемо стационарний двовимірний процес нагрівання кусково-однорідного нескінченно великих розмірів середовища «грунт-повітря»

$$G = \{(x, y, z) : -\infty < x < +\infty, -\infty < y < \infty, -\infty < z < +\infty\}$$

паралельно розміщеними в ґрунті джерелами тепла. Розв'язок задачі шукатимемо у площині поперечного перерізу, де труби (джерела тепла) інтерпретовані точками. Припустимо, що межею спряження областей ґрунту і повітря є пряма лінія, а ґрунтове і повітряне середовища характеризуються відповідно коефіцієнтами теплопровідності  $k(x, y) = k_1$ , при  $y > 0$  та  $k(x, y) = k_2$ , при  $y < 0$ . Оберемо координатні осі  $Ox$  та  $Oy$  так, щоб вісь  $Ox$  співпала з цією лінією. Тоді рівняння межі  $\Gamma = \{x = 0, y \in (-\infty, +\infty)\}$ . Приймаємо, що джерела тепла розміщені на однаковій відстані одне від одного в точках  $(ml, -y_0)$ ,  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  і являються витоками тепла. Точки  $(ml, a)$ ,  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  відповідно будемо вважати витоками тепла (див. рис.1). Розрахункова, плоска область  $G_z$ , матиме вид:

$$G_z = \{z = x + iy : -\infty < x < +\infty, 0 < y < +\infty, k = k_2, -\infty < y < 0, k = k_1\}.$$

Процес теплопровідності описуємо на основі закону теплопровідності та рівняння нерозривності:

$$\bar{q}_i = -k_i \text{grad} T, \quad i = 1, 2, \quad \text{div} \bar{q}_i = 0, \quad (1)$$

де  $T = T(x, y)$  – температура в точці  $(x, y)$ ,  $k_i$ ,  $i = 1, 2$  – коефіцієнти теплопровідності відповідно у двох. Вважаємо відомими наступні параметри:  $T^*$  – температура на джерелі тепла

$$(T|_{y=-b, x=ml} = +\infty, \quad m = -\infty, +\infty),$$

$T|_{y=L; -\infty < x < +\infty} = T_* = \text{const}$  – температура на висоті  $L$  від поверхні ґрунту,  $Q$  – повний тепловий потік,  $l$  – відстань між джерелами тепла,  $b$  – глибина залягання джерел тепла ( $l, b$  – невідомі величини, ке-



руючі параметри),  $T_*^*$  - мінімально допустима температура, що необхідна для виробничих умов на деякій (заданій) висоті  $L^*$ .

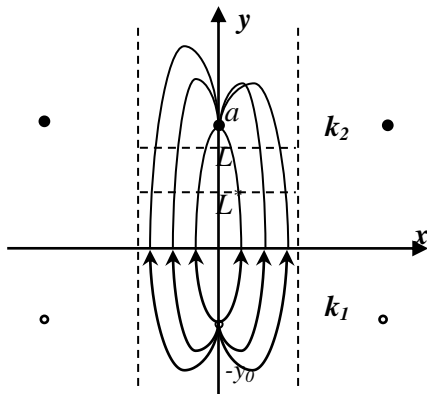


Рис. 1. Розрахункова область задачі

Задача, що розглядається нами, полягає у розрахунку температурного поля (температури, питомої витрати, динамічної сітки тощо) у області  $G_z$  та знаходженні мінімального із можливих значень параметру  $y_0$ , щоб температура  $T=T(x,y)$  у зазначеній області  $G_z^0 = \{z = x + iy : -\infty < x < +\infty, 0 < y < L^*\}$  була не меншою заданого її значення  $T_*^*$  (тобто  $T(x,y) \geq T_*^*$ ), при умові, що потрапляння тепла

вглиб ґрунту  $Q_0$  не перевищувала деякого значення  $Q_0^0$ , а також потрібно визначити необхідну температуру на джерелі тепла, за умови сталого значення температури на висоті  $L$ .

**Розрахункові формули.** Введемо тепловий потенціал  $\varphi = \varphi(x, y)$  за формулою  $\varphi = k_i \frac{-T + T_*^*}{T_*^* - T_*}$  та функцію течії  $\psi = \psi(x, y)$  (комплексно спряжену до  $\varphi(x, y)$ ). Температуру на джерелі задамо на екіпотенціальній лінії, що проходить через точки  $\overline{y_0}$  та  $\underline{y_0}$ , при чому  $|\overline{y_0} - y_0| < \varepsilon$  та  $|\underline{y_0} - y_0| < \varepsilon$ .

У випадку кусково-однорідного середовища розділеного віссю  $Ox$  на дві зони, що характеризуються двома сталими коефіцієнтами  $k_1, k_2$  та інтенсивністю  $Q$  двох точкових джерел (витоку та втоку розміщених відповідно в точках  $(0, a)$  та  $(0, -b)$ , відповідний процес описується рівняннями  $v_{jx} = k_j \frac{\partial \varphi_j}{\partial x} = \frac{\partial \psi_j}{\partial y}$ ,

$v_{jy} = k_j \frac{\partial \varphi_j}{\partial y} = -\frac{\partial \psi_j}{\partial x}$  та умовами спряження вздовж прямої  $y = 0$  [8,10], де

$\varphi_1(x, y), \varphi_2(x, y), \psi_1(x, y), \psi_2(x, y)$  - теплові потенціали та функції течії відповідно у верхній та нижній півплощинах, маємо:

$$\begin{aligned} \varphi_1(x, y) &= \frac{Q}{2\pi} \left( \ln \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} + \frac{k_1-k_2}{k_1+k_2} \ln \sqrt{(x+x_0)^2 + (y-y_0)^2} \right), \\ \psi_1(x, y) &= \frac{Q}{2\pi} \left( \operatorname{arctg} \frac{y-y_0}{x-x_0} + \operatorname{arctg} \frac{y+y_0}{x-x_0} + s(x-x_0, y-y_0) + s(x-x_0, y+y_0) \right), \\ \varphi_2(x, y) &= \frac{k_2 Q}{\pi(k_1+k_2)} \ln \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}, \\ \psi_2(x, y) &= \frac{k_2 Q}{\pi(k_1+k_2)} \left( \operatorname{arctg} \frac{y-y_0}{x-x_0} + s(x-x_0, y-y_0) \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Якщо  $k(x, y) = k_1 (k_2)$  при  $y < 0 (y > 0)$ ; у точках  $(mx_0, y_0)$ ,  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , розміщені витoki однакових інтенсивностей  $Q$ , то потенціали

$\varphi_1(x, y)$  та  $\varphi_2(x, y)$  (відповідно нижньої та верхньої півплощин) згідно принципу суперпозиції одержимо у вигляді:

$$\begin{aligned} \varphi_1(x, y) &= \frac{Q}{2\pi} \left( \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \ln \sqrt{(x-mx_0)^2 + (y-y_0)^2} + \frac{k_1-k_2}{k_1+k_2} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \ln \sqrt{(x+mx_0)^2 + (y-y_0)^2} \right), \\ \varphi_2(x, y) &= \frac{k_2 Q}{\pi(k_1+k_2)} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \ln \sqrt{(x-mx_0)^2 + (y-y_0)^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Вимагаючи виконання нерівності  $T(x, y) \geq T_*^*$  проходимо до таких рівнянь для знаходження параметру

$$y_0 : \frac{Q(T_*^* - T_*)}{2\pi k_1(-T_*^* + T_*)} \left( \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \ln \sqrt{(x-mx_0)^2 + (y-y_0)^2} + \frac{k_1-k_2}{k_1+k_2} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \ln \sqrt{(x+mx_0)^2 + (y-y_0)^2} \right) = 0,$$

якщо джерело знаходиться в нижній півплощині,

та  $\frac{Q(T_*^* - T_*)}{\pi(-T_*^* + T_*)(k_1+k_2)} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \ln \sqrt{(x-mx_0)^2 + (y-y_0)^2} = 0$ , якщо джерело знаходиться в верхній півплощині.

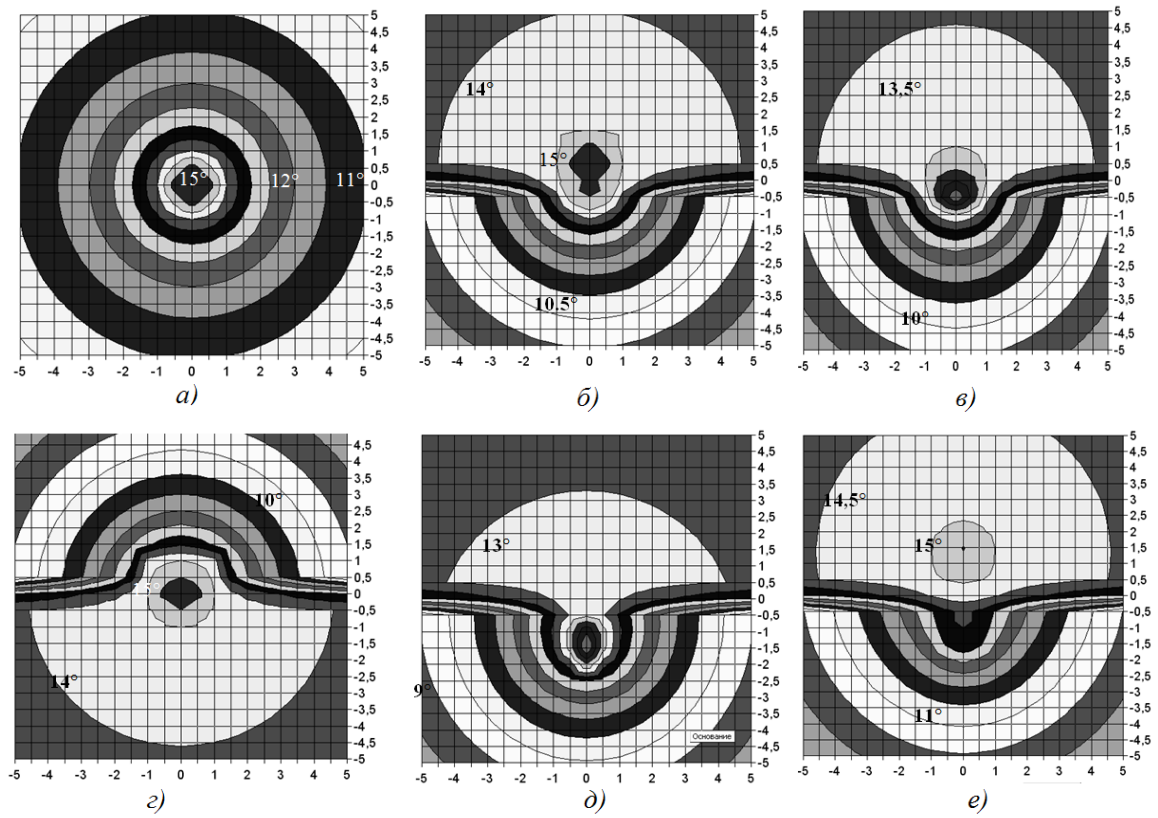


Рис. 2. Розподіл температур при різному розміщенні джерела тепла

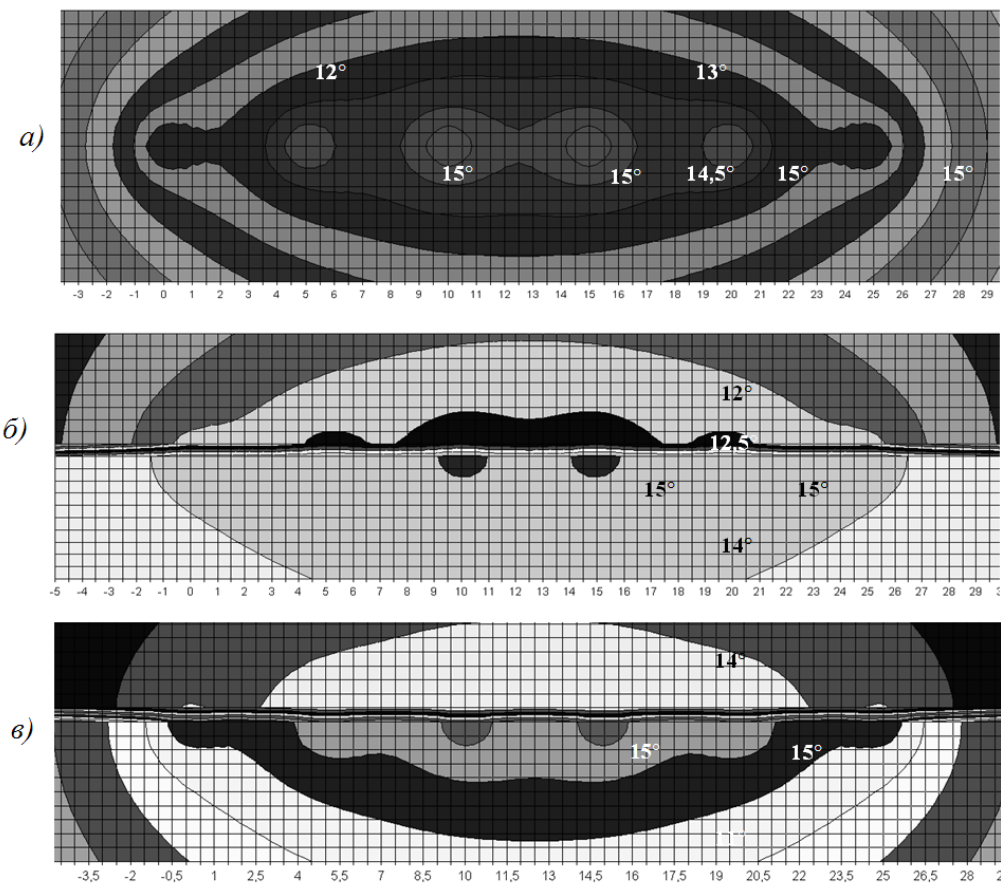


Рис. 3. Розподіл температур при обігріві ґрунту шістьма джерелами тепла

**Числові розрахунки** за допомогою комплексу програм MATLAB [9] були проведені для коефіцієнта теплопровідності повітря  $k_1 = 0,026$  та для різних типів ґрунтів: 1) піщаний ґрунт  $k_2 = 1,16$  2) ґрунт, в якому 10% води  $k_2 = 1,75$ ; 3) ґрунт, в якому 20% води  $k_2 = 2,1$ ; Температура на висоті  $L = 50$  рівна  $T_* = 30$ , джерела тепла розміщені на глибині  $y_0 = 10$ , відстань між джерелами тепла  $l = 10$ .

Одержані результати у вигляді ізотермічних областей представлені на рис. 2. Розрахунки показали таке: у випадку піщаного ґрунту для досягнення необхідної температури на висоті  $L$  температура на джерелі повинна бути найбільшою ( $T^* \approx 66$ ), якщо маємо 10% води в ґрунті, то  $T^* \approx 54$ , і якщо 20% води, то  $T^* \approx 49$ .

При  $l = 10$ ,  $T_* = 30$ ,  $T_*^* = 35$ ,  $T^* = 50$ ,  $Q = 1$ , отримуємо відповідне оптимальне значення залягання джерела тепла, яке становитиме  $y_0 = 9,8$ . Зі збільшенням ширини між джерелами тепла глибина залягання нагріваючого джерела зменшується, а саме: якщо  $l = 12, 14$ , то  $y_0 = 9,26, 8,98$  відповідно.

На рис. 2 зображені ізотермічні області у випадках: а) коефіцієнти провідності у двох досліджуваних середовищах рівні, а саме  $k_1 = k_2 = 1,16$  (нагрівник

знаходиться в піщаному ґрунті); б) джерело тепла заходиться на поверхні ґрунту; в) нагрівник наполовину знаходиться в ґрунті,  $k_1 > k_2$ ; г) нагрівник наполовину знаходиться в ґрунті,  $k_1 < k_2$ ; д) джерело тепла повністю знаходиться під поверхнею ґрунту; е) джерело тепла розміщене в повітрі на деякій висоті.

На рис. 3 зображені ізотермічні області у випадку обігріву середовища «ґрунт-повітря» серією джерел тепла за умов: а)  $k_1 = k_2$ ; б)  $k_1 > k_2$ ; в)  $k_1 < k_2$

**Висновки.** Одержано аналітичні рівняння для розрахунку температури ґрунту і повітря при стаціонарному процесі нагрівання, які можуть бути використані для наближених розрахунків і аналізу теплових процесів у кусково-однорідному середовищі «ґрунт-повітря». Проведено числові розрахунки і знайдено температурне поле у вигляді ізотермічних областей для різних випадків розташування лінійних джерел тепла.

Запропонована методологія постановки та розрахунку задач теплопровідності в ґрунті та в середовищі «ґрунт-повітря» дозволяє не тільки розрахувати температурний режим, але й оптимізувати певні параметри джерел тепла та розрахункової області. Побудований алгоритм розв'язання модельної задачі теорії теплопровідності дозволяє враховувати зворотній вплив характеристик процесу на характеристики середовища.

#### ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Бомба А.Я., Каштан С.С. Чисельне розв'язання обернених нелінійних крайових задач на конформні та квазіконформні відображення // Волинський математичний вісник. - 2001.- Вип. 8.- С. 9-22.
2. Bomba A.Y., Kashtan S.S. Chyselne rozv'iazanna obrnennykh nelineinykh krajyvykh zadach na konformni ta kvazikonformni vidobrazhennia [Numerical solution of inverse nonlinear boundary value problems for conformal and quasi-conformal reflections] // Volynskii matematichnii visnik. - 2001.- Vip. 8.- S. 9-22.
3. Иоффе И.А. О стационарном теплообмене в почве, обогреваемой системой трубопроводов. // Сб. трудов по агрономической физике. - Л.: 1971. Вып. 3. - С. 58-62.
4. Ioffe I.A. O stazionarnom teploobmene v pochve, obogrevaemoi sistemoi truboprovodov [On the stationary heat transfer in soil heated piping system] // Sb. trudov po agronomicheskoi fizike. - L.: 1971.- Vip.3 - S. 58-62.
5. Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Агротеморологические основы тепловой мелиорации почвы. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. - 231с.
6. Kurtener D.A., Chudnovskii A.F., Agrometeorologicheskie osnovi teplovoi melioratsii pozhvi [Agrometeorological basis thermal of thermal land- reclamation of soil] - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979. - 231s.
7. Кутателадзе С.С., Рабинович А.Л. Расчет почвенного обогрева теплиц // Отопление и вентиляция. - 1935. № 12. - С. 24-26.
8. Kutateladze S.S., Rabinovich A.L. Raschet pochvenogo obogreva teplits [Calculation of soil heating greenhouses] // Otoplenie i ventilatsiya. - 1935. № 12. - С. 24-26.
9. Лыков А.В. Теплообмен. - М.: Энергия, - 1970. - 560с.
10. Likov A.V. Teplomassoobmen [Heat-mass transfer] - M.: Energi, - 1970. - 560 s.
11. Ортега Д., Рейнболдт В. Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений со многими неизвестными. - Москва: Мир, 1975. - 558 с.
12. Ortega D., Reinboldt V. Iteratsionnie metodi reshenii nelineinikh sistem uravnenii so mnogimi neizvestnymi [Iterative methods for solving systems of nonlinear equations with many unknowns] - Moskva: Mir, 1975.- 558 s.
13. Радыгин В.М., Голубева О.В. Применение функции комплексного переменного в задачах физики и техники. - Москва: Высшая школа, 1983. - 161 с.
14. Radigin V.M., Golubeva O.V. Primenenii funktsii kompleksnogo peremennogo v zadachakh fiziki i tekhniki [Application of function complex variable in the tasks of physics and technique] - Moskva: Visshai shkola, 1983. - 161 s.
15. Самарский А.А., Бабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. - Москва, 2003. - 782с.
16. Savarski A.A., Babishshevich P.N., Vichislitelnai teploperedacha [Computational Heat Transfer] - Moskva, 2003. - 782c.
17. Чарльз Генри Эдвардс, Дэвид Э. Пенни. Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB. 3-е издание. - Киев.: Диалектика-Вильямс, 2007.
18. Carlz Genri Edvars, Dtvld E. Penni. Diffrentsislnie uravnenii i kraevie zadach: modelirovanie i vichislenie s pomoshchiu Mathematica, Maple u MATLAB [Differential equations and boundary value problems: modeling and calculation by means Mathematica, Maple and MATLAB]. - 3-e izdanie. - Kiev.: Dialektika-Viliams, 2007.

**Bomba A.Y., Vostrikov V.P.**

**Mathematical design of process of heating of environment "soil - air" by the linear sources of heat**

**Abstract.** The aim of work is development of mathematical equations that describe the process of stationary heat conductivity and allow to expect the temperature field in the cross section of environment "soil - air" at her heating by the linear pipeline sources of heat and to optimize the parameters of sources of heat. The decision of task is executed with the use of mathematical vehicle of law of heat conductivity, equations of indissolubility and methods of numeral decision of reverse nonlinear regional tasks on conformal and quasi-conformal reflections. In the derivation of mathematical equations the process of heating of piece-homogeneous environment is considered "soil-air" infinitely largenesses with the sources of heat accommodated in parallel in soil. Thus the sources of heat are interpreted by points. The calculation area of task is certain as a piece-homogeneous environment with the line of division on the surface of soil as a straight line. Soil and air environment are characterized the considerably differing permanent coefficients of heat conductivity. The sources of heat are interpreted by the points placed on identical distance in soil (on soil), and in mid air, accordingly, the flows of heat are interpreted as the symmetrically placed points. Mathematical transformations are get equations for determination of values of thermal potentials and thermal streams in overhead and lower semi planes of calculation area. The equations are got for determination of height of placing of sources of heat for providing of the set temperature of air. Calculations are conducted with the use of complex of the programs of MATLAB and results are got as isothermal areas of distribution of temperatures at the different placing of sources of heat on a depth and at heating of soil by six sources of heat, placed on her surface. Offer methodology of formulation and calculation of tasks of heat conductivity in an environment "soil-air" allows to expect the temperature condition of environment and optimize the parameters of sources of heat and calculation area, and also to take into account reverse influence of descriptions of process of heat transfer on descriptions of calculation environment.

**Keywords:** *mathematical design, heating, an environment is "soil-air", linear sources of heat, calculation area, thermal stream.*

**Бомба А.Я., Востриков В.П. Математическое моделирование процесса нагревания среды «почва-воздух» линейными источниками тепла**

**Аннотация.** Целью работы является разработка математических уравнений, которые описывают процесс стационарной теплопроводности и позволяют рассчитать температурное поле в поперечном сечении среды «почва-воздух» при ее обогреве линейными трубопроводными источниками тепла и оптимизировать параметры источников тепла. Решение задачи выполнено с использованием математического аппарата закона теплопроводности, уравнения неразрывности и методов численного решения обратных нелинейных краевых задач по конформным и квазиконформным отображениям. При выводе математических уравнений рассмотрено процесс нагревания кусочно-однородной среды «почва-воздух» бесконечно больших размеров с параллельно размещенными в почве источниками тепла. При этом источники тепла интерпретированы точками. Расчетная область задачи определена в виде кусочно-однородной среды с линией раздела на поверхности почвы в виде прямой линии. Почвенная и воздушная среда характеризуются значительно различающимися постоянными коэффициентами теплопроводности. Источники тепла интерпретированы точками, размещенными на одинаковом расстоянии в почве (на почве), а в воздухе, соответственно, интерпретированы стоки тепла в виде симметрично размещенных точек. Математическими преобразованиями получены уравнения для определения значений тепловых потенциалов и тепловых потоков в верхней и нижней полуплоскостях расчетной области. Получены уравнения для определения высоты размещения источников тепла для обеспечения заданной температуры воздуха. Проведены расчеты с использованием комплекса программ MATLAB и получены результаты в виде изотермических областей распределения температур при разном размещении источников тепла по глубине и при обогреве почвы шестью источниками тепла, размещенных на ее поверхности. Предложенная методология постановки и расчета задач теплопроводности в среде «почва-воздух» позволяет рассчитать температурный режим среды и оптимизировать параметры источников тепла и расчетной области, а также учитывать обратное влияние характеристик процесса теплопередачи на характеристики расчетной среды.

**Ключевые слова:** *математическое моделирование, нагревание, линейные источники тепла, расчетная область, тепловой поток, среда «почва-воздух».*

Волошин Н.В.

## Представления, методы и алгоритмы при проектировке автоматической системы иридодиагностики

Волошин Николай Владимирович, аспирант

Отделение гибридных моделирующих и управляющих систем в энергетике

Института проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова, НАН Украины, Киев, Украина

**Аннотация.** В статье сформированы методы определения радужной оболочки глаза, идентификация иридопризнаков и лакун в автоматических системах иридодиагностики. Распознавание реализовано на основе метода усиления простых классификаторов с использованием метода локальных бинарных шаблонов. Идентификация лакун проводится с помощью интрофизического метода, а получение иридопризнаков происходит путем фильтрации изображения на основе цветовых пространств.

**Ключевые слова:** иридодиагностика, интрофизика, ЛБШ, AdaBoost, распознавание, идентификация

**Введение.** Большинство исследований в области распознавания объектов наблюдения сосредоточены на повышении точности, надежности и вычислительной эффективности. При этом достаточно часто применяются универсальные статистические подходы, согласно которым распознавание сводится к задаче статистической классификации выборки признаков изображения. К сожалению, качество получаемого решения все еще недостаточно высоко для большинства практически важных приложений. В связи с возросшими требованиями к обеспечению безопасности и здоровья человека, необходимы исследования и разработка новых, высокоэффективных методов, которые повысят точность и достоверность диагностики заболеваний.

**Обзор публикаций.** Определение или выделение радужной оболочки наиболее часто используется для наблюдения за вертикальным либо горизонтальным положением глаза [6], [8], [12]. Большинство начальных систем определения зрачка используют упрощение, что зрачок является кругом и что его центр можно рассчитать как пересечение соответствующих горизонталей и вертикалей. На практике, даже круглый зрачок принимает эллиптический вид при нецентральной позиции глаза. D. Zhu, S.T. Moore и T. Rarhan предложили использовать криволинейные характеристики контура зрачка и поместили их в эллипс [12]. Большинство из предложенных на сегодняшний день методов определения зрачка глаза, не предусматривают использование помехоустойчивых алгоритмов.

Для того чтобы отделить радужку от деталей на изображении, в простом случае можно использовать определение краев (путем анализа первой производной) и последующую аппроксимацию границ радужки простыми геометрическими объектами. Так, окружность зрачка и внешнюю границу радужки можно найти при помощи преобразования Хафа (Hough transform) [7]. Другие методы дополнительно определяют границу радужки и век двумя параболой, как Wildes, или просто отсекают те части изображения, которые могут не относиться к радужке, как Daugman и Ma [7], [11].

Если для захвата изображения не использовалась специальная аппаратура, может понадобиться предыдущее подавление нежелательных эффектов, таких как отблеск внутри зрачка от вспышки или другого яркого источника света, если эти артефакты мешают

корректной работе алгоритму определения радужки [9].

**Цель.** Повышение эффективности методов биометрического распознавания для оценки состояния организма по радужке глаза представляет немалые трудности. Иридодиагностика является методом нетрадиционной медицины, в котором состояние организма и патология органов определяются по рисунку радужки. На практике процесс контроля и измерения информативных параметров, распознавания и идентификации является достаточно трудоемким, проводится в основном вручную и конечный результат в значительной степени зависит от выбора эксперта/оператора. Целью работы есть разработка и реализация автоматического иридодиагностического комплекса. Он должен: локализовать радужную оболочку глаза; идентифицировать иридопризнаки; идентифицировать лакуны; составлять диагноз.

Материалы и методы

Метод AdaBoost один из лучших по соотношению показателей (эффективность распознавания)/(скорость работы). Этот детектор основан на усилении простых классификаторов. Усиление простых классификаторов – подход к решению задач классификации (расознавания), путем комбинирования примитивных "слабых" классификаторов в один "сильный" [10]. Под "силой" классификатора в данном случае понимают эффективность (качество) решения задачи классификации. Слабый классификатор имеет вид:

$$h(x, f, p, \Theta) = \begin{cases} 1, & pf(x) < p\Theta \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1)$$

где  $f$  – признак,  $p$  – полярность, которая показывает направление неровности,  $\Theta$  – пороговое значение.

Финальный сильный классификатор имеет вид:

$$C(x) = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^T \alpha_i h_i(x) \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^T \alpha_i \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

где  $\alpha_i = \log \frac{1}{\beta_i}$ .

Распознавание образов проходит путем использования локальных бинарных шаблонов (ЛБШ). ЛБШ – описание окрестности точки изображения в двоичной

форме. Оператор ЛБШ, который применяется к точке изображения, использует восемь точек окрестности, принимая центральную точку в качестве порога. Пиксели, которые имеют значение больше, чем центральный пиксель (или равны ему), принимают значения "1", те, которые меньше центрального, принимают значение "0". Таким образом, получается восьмиразрядный бинарный код, который описывает окрестность пикселя [4].

Изображение разбивается на  $k \times k$  областей и в каждой области для каждого пикселя изображения вычисляется ЛБШ-код. Потом все гистограммы областей объединяются в одну гистограмму. Эта гистограмма формирует вектор признаков изображения.

При классификации изображений используется метод нахождения наименьшего расстояния между гистограммами  $\chi^2$ . Расстояние между изображениями  $S$  и  $M$  определяется по формуле:

$$\chi^2(S, M) = \sum_{j=1}^k \left( \frac{\sum_{i=1}^k (S_{i,j} - M_{i,j})^2}{S_{i,j} + M_{i,j}} \right) \quad (3)$$

**Результаты.** Применение вышеописанных методов может быть применено как в биометрии так и в медицине. Большинство существующих методов идентификации учитывают только максимальный прыжок интенсивности, но упускают такую важную деталь как текстура радужной оболочки, которая необходима для оценки ее плотности [9]. Для того чтобы закодировать текстуру можно использовать метод локальных бинарных шаблонов [4]. Каждый ЛБШ-код представляет собой тип микроизображения структуры, а их распределение можно использовать в качестве описания текстуры.

При проектировке автоматической системы иридодиагностики важно заложить идентификацию лакун. Главным критерий при проектировке такого модуля – легкость обучения, т.к. очень многое зависит от условий съемки, а система должна иметь возможность переобучиться на "своих" данных. Для решения данной задачи используется интроформационный метод предложенный доктором технических наук Теслей Ю.Н. [5]. Для данного метода нужна статистическая выборка из соответствующих элементов, которые принадлежат к классу лакун – цифровые изображения лакун в градациях серого (цветные изображения несут избыточную информацию). Для того чтобы закодировать текстуру используется метод ЛБШ. На основе расстояний (3) строится статистическая выборка, которая позволит оценить проявления "события появления" лакуны на изображении ( $D_0$ ), а также условия ( $b_j, j = \overline{1, n}$ ):

$$\begin{aligned} p_0 &= p(D_0) \\ p_j &= p(D_0 / b_j), j = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (4)$$

По известным вероятностям проявления (действия) системы рассчитывается ее определенность по отношению к этим проявлениям:

$$d_j = \begin{cases} +0.5 \cdot \sqrt{\frac{p_j}{1-p_j} + \frac{1-p_j}{p_j}} - 2, & p_j \geq 0.5 \\ -0.5 \cdot \sqrt{\frac{p_j}{1-p_j} + \frac{1-p_j}{p_j}} - 2, & p_j < 0.5 \end{cases}, j = \overline{0, n} \quad (5)$$

По известной определенности системы рассчитывается ее информированность:

$$i_j = \sqrt{d_j^2 + 1}, j = \overline{0, n} \quad (6)$$

Вычисляется суммарное, по всем действиям на систему, приращение определенности действия системы. При этом используется интроформационное представление изменения импульса объектов:

$$\Delta d^P = i_0 \sum_{j=1}^n d_j - d_0 \sum_{j=1}^n i_j \quad (7)$$

либо интроформационное представление изменения кинетической энергии:

$$\Delta d^E = \begin{cases} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^4}{4} + \alpha^2}}, \operatorname{sgn} \left( \sum_{j=1}^n (d_j \cdot i_0 - d_0 \cdot i_j) \right) \geq 0 \\ - \sqrt{\frac{\alpha^2}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^4}{4} + \alpha^2}}, \operatorname{sgn} \left( \sum_{j=1}^n (d_j \cdot i_0 - d_0 \cdot i_j) \right) < 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{, где } \alpha = \sum_{j=1}^n \left[ \operatorname{sgn}(d_j \cdot i_0 - d_0 \cdot i_j) \cdot \frac{(d_j \cdot i_0 - d_0 \cdot i_j)^2}{\sqrt{(d_j \cdot i_0 - d_0 \cdot i_j)^2 + 1}} \right]$$

На основе интроформационного представления вычисляется приращение информированности системы:

$$\Delta i = \sqrt{\Delta d^2 + 1} \quad (9)$$

Потом можно вычислить новую определенность действий системы:

$$d_\Sigma = \Delta d \cdot i_0 + d_0 \cdot \Delta i \quad (10)$$

и новую информированность действия системы:

$$i_\Sigma = \sqrt{d_\Sigma^2 + 1} \quad (11)$$

Вычисляется соответствующее физическим законам вероятности действие системы:

$$p_\Sigma = p(D_0 / b_1, \dots, b_j, \dots, b_n) \approx 0,5 + \frac{d_\Sigma}{2i_\Sigma} \quad (12)$$

Такой подход состоит в том, что он указывает на ожидаемую "реакцию" на воздействие. Данный метод действует на основе полученного опыта, статистической выборки класса "лакуны" и "не лакуны".

Как метод для распознавания используется метод AdaBoost [10], а набор для классификации создается на основе построенных ЛБШ-кодов и их распределения. Обобщенный алгоритм распознавания [3]:

1. Создается набор для классификации на основе ЛБШ-кодов;
2. Выбирается лучший "слабый" набор;
3. Строится компонент  $h$  (1) и добавляется к  $C$  (2);
4. Если не достигнут определенный критерий продуктивности (критерий определяется в ходе исследований экспериментальным путем), то обучающие образцы переопределяются и весь цикл повторяется со 2-го шага; если критерий продуктивности достигнут – формируется исходный набор классификаторов  $C(x)$ .

Используя цветовые пространства, можно построить любые классификаторы под любые потребности

классификации объектов наблюдения на изображении [2]. Используя цветовое пространство YCbCr можно построить классификатор, который будет фильтровать изображение, оставляя только иридопризнаки. Перевод изображения радужной оболочки с цветового пространства RGB в пространство YCbCr:

$$\begin{aligned} Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ Cb &= -0.169R - 0.322G + 0.500B \\ Cr &= 0.500R - 0.419G - 0.081B \end{aligned} \quad (13)$$

где  $R, G, B$  – компоненты красного, зеленого и синего оттенков изображения соответственно.

Если на полученном изображении существуют области, компоненты цветового пространства, которых удовлетворяют условиям:

$$Y > 26, Cb < -8, Cr > 7,$$

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Волошин Н.В., Еремеев Б.Н., Парнюк А.Н. Моделирование параллельных процессов в информатике и медицине: Монография. – Черкассы: ЧНУ, 2011. – 124 с.  
*Voloshin N.V., Yeremeyev B.N., Parnyuk A.N. Modelirovaniye parallel'nykh protsessov v informatike i meditsine [Modeling of parallel processes in science and medicine] Monograph. – Cherkasy: ChNU, 2011. – P. 124*
2. Волошин Н.В. Модели описания объекта и достоверность идентификации в системах компьютерного зрения // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2010. – № 4/7 (46). – 56-63 с.  
*Voloshin N.V. Modeli opisaniya ob'yekta i dostovernost identifikatsii v sistemakh komp'yuternogo zreniya [Description of the object model and the accuracy of its identification in computer vision systems] // East European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov, 2010. – № 4/7 (46). – P. 56-63*
3. Волошин Н.В. Особенности применения методов AdaBoost и ЛБШ к задачам компьютерного зрения // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2012. – № 5/2 (59). – 18-22 с.  
*Voloshin N.V. Osobennosti primeneniya metodov AdaBoost i LBSh k zadacham komp'yuternogo zreniya [Particular application of methods of AdaBoost and LBP to the problems of computer vision] // East European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov, 2012. – № 5/2 (59). – P. 18-22*
4. Маслий Р.В. Использование локальных бинарных шаблонов для распознавания лиц на полутоновых изображениях // ВНТУ. – 2008. – №4. – 1-6 с.  
*Masliy R.V. Ispol'zovaniye lokal'nykh binarnykh shablonov dlya raspoznavaniya lits na polutonovykh izobrazhebiyakh [Using local binary patterns for face recognition on half-tone images] // VNTU. – 2008. – №4. – P. 1-6*
5. Тесля Ю.Н. Введение в информатику природы: Монография. – К.: Маклаут, 2010. – 255 с.  
*Teslya Yu.N. Vvedeniye v informatiku prirody [Introduction to Computer Science of Nature]: Monograph. – K.: Maclaut, 2010. – P. 255*
6. Dongheng L. A hybrid algorithm for video-based eye tracking combining feature-based and model-based approaches // CVPR. San Diego, 2005. – P. 79
7. Ma L. Iris Recognition Using Circular Symmetric Filters // ICPR. Boston, 2002. – P. 20414-20418
8. Moore S.T., Haslwanter T., Curthoys I.S., Smith S.T. A geometric basis for measurement of three dimensional eye position using image processing // Vision research, 1996. – №36. – P. 445-459
9. Tisse C., Martin L., Torres L., Robert M. Person identification technique using human iris recognition // Vision Interface, 2002. – P. 294-299
10. Viola P., Jones M. Robust Real-Time Face Detection // International Journal of Computer Vision. – 2004. – №57(2). – P. 137-154.
11. Wildes R. Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology // Oregon, 1997. – P. 1344-1347
12. Zhu D., Moore S.T., Raphan T. Robust pupil center detection using a curvature algorithm // Computer methods and programs in biomedicine, 1999. – №3 (59). – P. 145-157

#### Voloshin N.V. Representations, methods and algorithms during projecting the automated iridology system

**Abstract.** In this paper discusses the application methods for the determination of the iris, and the identification of iris signs and lacunas in automated iridology systems. Recognition is realized based on the additional boosting of simple classifiers with uses method of local binary pattern. The identification of lacunas conducted by an introphysical method and getting the iris signs by filtration images based on color spaces.

**Keywords:** iridology, introphysics, LBP, AdaBoost, recognition, identification

Голубнык Т.С., Ющик О.В.

## Способ определения величины сдвига страниц набора при комплектовании вкладкой

Голубнык Татьяна Святославовна, ассистент

Ющик Олег Владимирович, кандидат технических наук, доцент

Украинская академия печати, г. Львов, Украина.

**Аннотация:** Разработан автоматизированный способ определения величины сдвига страниц набора в тетради издания при формировании монтажных спусков страниц изданий вкладкой

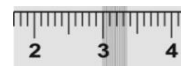
**Ключевые слова:** спуск страниц, сдвиг, комплектование тетради, бумага

**Введение.** Планируя спуск страниц для конкретного издания, используя схему из шаблона программы, или задать спуск по новой схеме, которая учитывает ряд факторов для рационального использования площади бумаги и обеспечения правильной последовательности страниц. Важным при выполнении спуска является точность параметров собранных и спущенных страниц, что предотвращает неточность приводки.

При выполнении спуска изданий, отпечатанные листы которых после фальцовки будут комплектоваться вкладыванием, нужно учитывать неприятный эффект "сползания", который возникает при количестве страниц более 4. Нужно определить, на какую величину нужно корректировать "сползание" в конкретном издании. Понятно, что эта величина зависит от количества страниц в издании и от толщины бумаги, на которой оно будет печататься. Суть этого эффекта в том, что при большом количестве листов, внешние листы имеют больший радиус изгиба и, соответственно, меньший размер корешкового поля. То есть, страница набора на внешних страницах, как бы "сползает" к корешку, а внутренние листы имеют меньшие внешние поля после обрезания [3, 4].

**Краткий обзор публикаций по теме.** Воспользуемся одной из программ для выполнения подобных задач — дополнением (plug-in) к Adobe Acrobat Quite Imposing Plus. Известно, что компенсировать "сползание" можно также и в программе для вёрстки In Design CS2, используя дополнение In Booklet. В этом дополнении есть возможность изменять корешковое поле (увеличить, но не уменьшить) в поле Gap, а значение в поле Creep добавляет промежутки, которые позволяют учесть и компенсировать толщину бумаги в тетради [1, 2, 5].

Для данного исследования выберем функцию Quite Imposing, обозначаемую как Trim & Shift (Срезать и Сместить). Предварительно необходимо определить, на какую величину нужно корректировать "сползание" в конкретном издании. Величину компенсации "сползания" можно достаточно точно определить и самостоятельно. Для этого нужно собрать и сфальцевать макет из такой же бумаги и точно с таким же количеством листов, как в будущем издании. Необходимо раскрыть его посередине и измерить расстояние между краями внутреннего и внешнего листов, чтобы установить величину компенсации "сползания". Если макет содержит 15 страниц информации, доводим его до кратности 4, поскольку наименьшее количество страниц тетради 4. Следовательно, в макете будет 16 страниц. В данном случае, как хорошо видно из рис. 1, оно составит 3,5 мм.



**Рис. 1.** Определение величины сползания страниц в тетради измерительной линейкой

Вызываем функцию Plug Ins — Quite Imposing Plus — Trim & Shift — и выполняем следующие действия.

- **Шаг 1.** Начальные параметры операции. Установим верхний флажок Create a new document instead of modifying this one (Создать новый документ вместо изменения существующего). Поскольку мы будем обрабатывать весь документ сразу, установим переключатель Entire document. И внизу укажем диапазон обработки "All pages in range" (Все страницы диапазона).

- **Шаг 2.** Выбор опций обрезания. В данном случае выбираем Leave all the pages unchanged (Оставить размеры страниц без изменения).

- **Шаг 3.** Здесь укажем рассчитанную величину компенсации сползания. Для этого выберем переключатель Shift the contents of each page for booklet folding ("creep") Сдвиг содержимого страниц для создания брошюры ("сползание").

В окошке введения данных подставим следующие значения.

- Creep each group of: (Компенсировать "сползание" для каждой группы из:). Здесь указываем количество страниц в издании (если комплектовка вкладкой одной тетрадью) или количество страниц при комплектовке каждой тетради подборкой.

- Shift outside pages by: (Сдвиг для внешних страниц :) Здесь подставляем рассчитанную нами величину компенсации сползания, а именно — 3,5 мм

- Shift inside pages by: (Сдвиг для внутренних страниц:) Здесь мы ставим нулевое значение, поскольку нет необходимости изменять размер корешкового поля на развороте.

Теперь нажмем Finish — и программа сместит содержимое страниц к их внешнему краю. При этом величина сдвига будет равномерно изменяться от 0 на внутреннем листе до 3,5 мм — на внешнем.

После того, как будет выполнен спуск функцией Create Booklet, мы получаем следующий оригинал-макет (рис. 2). В данном случае для наглядности была установлена большая величина компенсации сдвига (порядка 15 мм). Видно, что корешковые поля на внешних листах больше, чем на внутренних. После брошюрования и подрезания внешние поля всех страниц издания будут одинаковыми, поскольку сползание уже компенсировано.



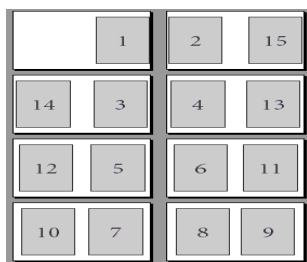


Рис. 2. Результат формирования скомпенсированного спуска 16 страницной тетради вкладыванием

Цель. Цель данного исследования – разработка способа определения величины сдвига страниц набора

ра в тетради издания при формировании монтажных спусков страниц изданий на печатные формы.

Материалы и методы. Проведен анализ широкого ассортимента бумаг, которые применяются для изготовления тетрадей книжных изданий и выбрано для исследования наиболее часто применяемые.

Образцы бумаги, которые были отобраны для исследований, фальцевались вручную во взаимно перпендикулярных направлениях для получения 8 страничных, 16 страничных и 32 страничных тетрадей. Размеры образцов бумаги 210×297 мм. Полученные данные заносились в статистические таблицы, на основании которых строились графики.

Таблица 1.

Определение величины сдвига страниц в тетради

	Масса бумаги, г/м <sup>2</sup>	Величина сдвига, мм										Среднее арифметическое значение, мм	Среднее отклонение	Среднее квадратичное отклонение	Дисперсия	Стандартное отклонение	Экссес	Медиана
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
8 страничная тетрадь	45	0,25	0,15	0,3	0,5	0,4	0,35	0,45	0,4	0,5	0,6	0,39	0,102	0,159	0,01766	0,13291	-0,12911	0,4
	60	0,4	0,35	0,45	0,4	0,55	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	0,58	0,15	0,306	0,034	0,18439	-0,89476	0,575
	65	0,6	0,7	0,65	0,7	0,9	1,1	1,15	1	1,15	1,1	0,905	0,195	0,447	0,04969	0,22292	-1,98900	0,95
	66,5	0,4	0,4	0,45	0,3	0,2	0,4	0,45	0,45	0,55	0,6	0,42	0,08	0,116	0,01288	0,11352	0,76905	0,425
	70	0,6	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	0,75	0,8	0,7	0,6	0,7	0,09	0,115	0,01277	0,11303	-0,84701	0,7
	80	0,65	0,65	0,7	0,75	0,85	1	0,95	0,9	0,8	0,8	0,805	0,096	0,132	0,01469	0,12122	-1,04555	0,8
	130	0,45	0,35	0,35	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,25	0,25	0,315	0,041	0,030	0,00336	0,05797	2,83031	0,3
	150	1,1	0,9	0,9	0,9	0,75	0,75	0,7	0,7	0,6	0,65	0,795	0,124	0,207	0,02302	0,15174	0,21997	0,75
	150м	0,55	0,55	0,55	0,5	0,5	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,525	0,025	0,006	0,00069	0,02635	-2,57142	0,525
	200	0,75	0,8	0,75	0,75	0,75	0,7	0,85	0,9	1,05	1,1	0,84	0,108	0,169	0,01877	0,13703	0,10291	0,775
250	1,3	1,25	1,3	1,3	1,25	1,15	1,1	1,1	0,85	0,8	1,14	0,142	0,304	0,03377	0,18378	0,00311	1,2	
300	0,7	0,75	0,75	0,8	0,95	1,05	1,15	1,25	1,25	1,3	0,995	0,205	0,497	0,05525	0,23505	-1,91363	1	
16 страничная тетрадь	45	0,6	0,95	0,8	0,75	0,6	0,75	0,8	0,75	0,8	0,9	0,77	0,08	0,111	0,01233	0,11105	-0,02230	0,775
	60	0,8	0,82	0,9	1	0,9	0,85	0,82	0,85	0,9	0,95	0,879	0,051	0,035	0,00398	0,06314	-0,15391	0,875
	65	0,9	0,9	0,95	0,9	1	1	0,95	0,9	0,95	1	0,945	0,036	0,017	0,00191	0,04377	-1,73372	0,95
	66,5	0,75	0,65	0,85	1	1,15	0,95	1	0,95	1,1	1,15	0,955	0,125	0,247	0,02747	0,16574	-0,32443	0,975
	70	1,3	1,15	1,4	1,2	1	1,1	1,2	1,25	1,35	1,4	1,235	0,105	0,155	0,01725	0,13133	-0,58951	1,225
	80	0,95	1,05	1,1	1,2	1	1,1	1,25	1,3	1,25	1,2	1,14	0,1	0,124	0,01377	0,11737	-1,19793	1,15
	130	1,4	1,4	1,35	1,3	1,3	1,25	1,2	1,25	1,2	1,25	1,29	0,06	0,049	0,00544	0,07378	-1,06495	1,275
	150	1,8	1,6	1,9	1,85	1,85	1,8	1,8	1,75	1,75	1,75	1,785	0,058	0,060	0,00669	0,08181	2,41355	1,8
	150м	1,5	1,25	1,2	1,3	1,25	1,15	1,1	1,15	1,2	1,3	1,24	0,08	0,114	0,01266	0,11254	2,62032	1,225
	200	2,1	2	2	2,1	2,05	2	2	2	1,95	1,95	2,015	0,041	0,025	0,00280	0,05296	-0,40584	2
250	2,05	2,1	2,1	2,15	2,1	2,15	2,1	2,2	2,1	2,15	2,115	0,031	0,015	0,00169	0,04116	1,23699	2,1	
300	2,5	2,5	2,55	2,6	2,6	2,65	2,7	2,8	2,85	2,85	2,66	0,112	0,164	0,01822	0,13498	-1,39710	2,625	
32 страничная тетрадь	45	0,65	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,15	1	0,9	1,1	0,94	0,15	0,309	0,03433	0,18529	-1,01103	0,95
	60	1,6	1,7	1,9	1,6	1,8	2	1,9	2	2,15	2,2	1,885	0,168	0,400	0,04447	0,21088	-1,07883	1,9
	65	1,65	1,7	1,75	1,9	1,95	1,65	1,8	2	2,1	2,3	1,88	0,17	0,406	0,04511	0,21239	0,02192	1,85
	66,5	1,7	1,7	1,65	1,55	1,85	1,65	1,6	1,5	1,4	1,35	1,595	0,116	0,202	0,02247	0,14990	-0,17988	1,625
	70	1,9	1,9	1,9	1,8	1,9	2,1	2	2,05	2	2,1	1,965	0,085	0,090	0,01002	0,10013	-1,01390	1,95
	80	1,85	2	2,05	2,2	2,3	2,4	2,5	2,3	2,4	2,6	2,26	0,188	0,499	0,05544	0,23546	-0,63037	2,3
	130	2,05	2,15	2,2	2,3	2,4	2,5	2,3	2,4	2,4	2,55	2,325	0,125	0,221	0,02458	0,15679	-0,54811	2,35
	150	3,7	3,8	3,9	3,8	3,9	4,3	4,4	4,15	4,5	4,1	4,055	0,235	0,692	0,07691	0,27733	-1,29346	4
	150м	2,85	2,7	2,55	2,75	2,5	2,45	2,4	2,35	2,25	2,2	2,5	0,17	0,415	0,04611	0,21473	-0,93778	2,475
	200	3,95	4,1	4,3	4,15	4,1	4,1	4,05	4,05	4,1	4,2	4,11	0,064	0,079	0,00877	0,09368	1,47529	4,1
250	4,55	4,65	4,7	4,6	4,7	4,65	4,75	4,6	4,65	4,8	4,665	0,058	0,050	0,00558	0,07472	-0,15179	4,65	
300	4,7	5,2	5,3	5,1	5,4	5	5	4,9	4,7	4,9	5,02	0,184	0,496	0,05511	0,23475	-0,78402	5	

Среднее арифметическое значение вычислялось по формуле:  $(1/n) \sum x$ .

Среднее отклонение вычислялось по формуле:  $(1/n) \sum |x - \bar{x}|$ .

Среднее квадратичное отклонение вычислялось по формуле:  $\sum (x - \bar{x})^2$ .

Дисперсия вычислялась по формуле:  $\sum (x - \bar{x})^2 / (n - 1)$

где  $\bar{x}$  – выборочное среднее СРЗНАЧ (число 1; число 2;), а n – размер выборки.

Стандартное отклонение вычислялось по формуле:  $\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 / (n - 1)}$

где  $\bar{x}$  – выборочное среднее СРЗНАЧ (число 1; число 2;), а n – размер выборки.

Экссес вычислялся по формуле:  $\{n(n+1)/[(n-1)(n-2)(n-3)] \sum ((x_i - \bar{x})/s)^3 - [3(n-1)^2] / [(n-2)(n-3)]\}$

где s – стандартное отклонение выборки.

При симметричном распределении набора чисел все три значения центральной тенденции будут совпадать. При несимметричном распределении набора чисел они могут быть разными.

Коэффициент корреляции вычислялся по формуле:

$$\rho_{x,y} = (1/n) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / (\sigma_x \sigma_y)$$

где  $\bar{x}$   $\bar{y}$  – выборочные средние значения СРЗНАЧ (массив 1) и СРЗНАЧ (массив 2).

Для сглаживания данных использовались полиномиальная (3-го порядка) и линейная аппроксимации.

В эксперименте использовались сфальцованные вручную 8, 16 и 32 страничных тетради изготовлены из листов бумаги граматурой 45, 60, 65, 66,5, 70, 80, 130, 150, 150м, 200, 250 и 300 г/м<sup>2</sup>.

Для проведения исследований применялся микроскоп с увеличением 30<sup>x</sup> ценой деления 0,1 мм.

Объектами исследований были 12 образцов бумаги, которые отображают спектр использования бумажной продукции для книжных изданий.

Построение графиков и анализ статистических данных проводились с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007 (табл.1).

**Результаты и их обсуждение.** По полученным результатам измерений строились графики зависимости угла деформации образцов бумаги разного типа от расстояния между краями внутреннего и внешнего листов, один из графиков показан на рис 3.

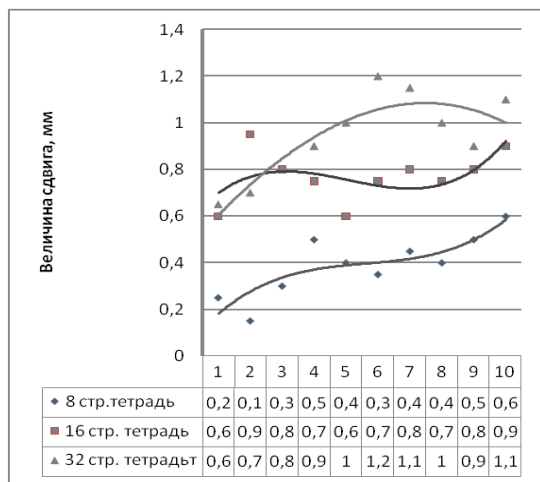


Рис. 3. Величины сдвига для бумаги массой 45 г/м<sup>2</sup>

Из полученных результатов измерений величины сдвига страниц набора в тетради наибольшую величину сдвига имеет бумага из граматурой 300 г/м<sup>2</sup>, а

наименьшую – бумага из граматурой 45 г/м<sup>2</sup>. Коэффициент корреляции между 8 страничными и 16 страничными тетрадями для всех граматур бумаги составляет 0,95, между 8 страничными и 32 страничными – 0,60, а между 16 страничными и 32 страничными – 0,64.

Анализируя все полученные результаты исследования можно свести все величины сдвигов в итоговый график (рис. 4) с линейной аппроксимацией.

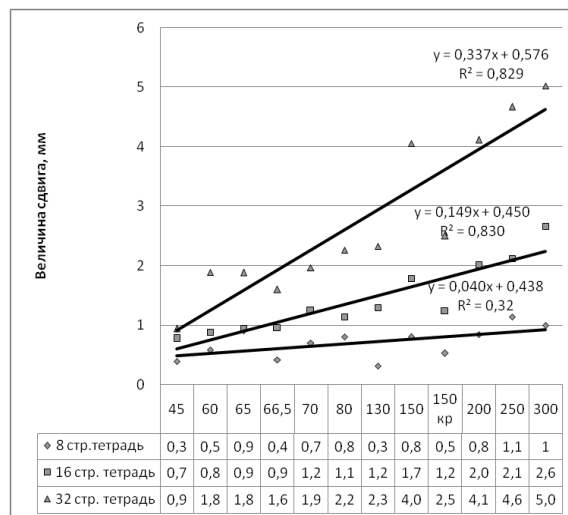


Рис.4. Зависимость величины сдвига страниц от массы 1 м<sup>2</sup> бумаги

**Выводы.** Таким образом, рассмотрены практические возможности программного дополнения Quite Imposing Plus для выполнения операции спуска страниц pdf-файлов и установлено, что Quite Imposing является продуктом модульным. Комбинируя возможности разных модулей, можно добиваться поразительных результатов, однако схемы комбинирования и их оптимальное использование в каждом конкретном случае – это уже дело каждого специалиста допечатной подготовки.

Исследование показало, что на величину сдвига страниц набора влияют тип бумаги и количество страниц в тетради.

Разработан результирующий график определения величины сдвига страниц для различных удельных масс бумаги, который может быть использован полиграфическими предприятиями, выпускающими книжную продукцию.

**ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

1. Горбачев С. Компьюарт, 2003, №5. *Gorbachev S. Komp'yuart, 2003, №5.*
2. In Booklet CE. Компьюарт, 2006, №4. *In Booklet CE, Komp'yuart, 2006, №4.*
3. Дмитриев И. Фальцовка // Бумага и жизнь, 2007, №10. *Dmitriev I. Fal'covka // Paper and life, 2007, №10.*
4. Дмитриев И. Фальцовка 2 // Бумага и жизнь, 2007, №11. *Dmitriev I. Fal'covka // Paper and life, 2007, №11.*
5. <http://www.mindmix.ru/.../85-462-spusk-polos-v-adobe-acrobat-read.shtml>.

**Golubnyk T.S. Yuschik O.V. Pages offset value in the imposition of book block method was developed**

**Abstract.** A method for determining the shift amount of pages set in collation tab.

**Keywords:** descent pages, shift, collation notebook paper.

**Домінік А.М.**  
**Дослідження вогнестійкості циліндричної колони в умовах пожежі**

Домінік Андрій Михайлович, викладач  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

**Анотація.** Досліджено напружено - деформований стан несучої бетонної конструкції циліндричної форми в умовах пожежі. Запропоновано методику визначення і дослідження температурного поля в конструкції, обумовленого різкою зміною температури зовнішнього середовища. Теплообмін між конструкцією і середовищем відбувається за законом Ньютона. Визначено та досліджено напружено - деформований стан конструкції, обумовлений температурою. На основі проведених досліджень запропонована методика визначення межі вогнестійкості циліндричної колони за ознакою втрати несучої здатності, втрати цілісності і теплоізоляційної здатності.

**Ключові слова:** вогнестійкість бетонних конструкцій, температурне поле, переміщення.

**Актуальність теми.** При експериментальному дослідженні температурного поля будівельних конструкцій або окремих елементів їх поміщають у піч, яка нагрівається по заданому температурному режимі. Такий метод є високо енерговитратним і потребує значного часу для його проведення. Аналітичні дослідження дають можливість за короткий час зробити аналіз температурного поля в конструкціях різних геометричних розмірів з урахуванням теплофізичних властивостей матеріалів (бетон, цегла, метал та інші).

В роботі досліджено циліндричну колону радіусом R, яка нагрівається під дією зовнішнього середовища за стандартною температурною кривою. Для знаходження зміни температурного поля по радіусу колони і часу розв'язано диференціальне рівняння нестационарної теплопровідності [1-2].

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r}, \quad (1)$$

де  $\tau$  - час, хв.,  $t_0$  - початкова температура  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $a = \frac{\lambda}{c_v \cdot \rho}$  - коефіцієнт теплопровідності,  $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ ;

$c_v$  - теплоємність при сталому об'ємі,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;  $\rho$  - густина,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ .

Вираз (1) є диференціальним рівнянням нестационарної теплопровідності другого порядку. Для знаходження розв'язку рівняння (1) необхідно задати одну початкову і дві граничні умови:

$$t(r, 0) = t_0 = \text{const}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$-\frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} + \alpha [(t_{\text{max}} - t_0) e^{-k\tau} - t(R, \tau)] = 0, \quad (4)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт теплообміну,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;  $t_{\text{max}}$  - максимальна температура в середовищі за розглядуваний період часу,  $^{\circ}\text{C}$ .

Застосовуючи перетворення Лапласа до рівняння (1) і умов (2)-(4) одержуємо шуканий розв'язок:

$$t(r, \tau) = (t_{\text{max}} - t_0) \left[ 1 - \frac{J_0(\sqrt{Pd} \frac{r}{R})}{J_0(\sqrt{Pd}) - \frac{1}{Bi} \sqrt{Pd} \cdot J_1(\sqrt{Pd})} e^{-\sqrt{Pd} \cdot Fo} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{1 - \frac{\mu_n^2}{Pd}} J_0(\mu_n \frac{r}{R}) \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo) \right] + t_0 \quad (5)$$

де  $A_n = \frac{2Bi}{J_0(\mu_n) [\mu_n^2 - Bi^2]}$ ;  $Pd = \frac{k \cdot R^2}{a}$  - критерій

Предводителя;  $Fo = \frac{a\tau}{x^2}$  - критерій Фур'є;  $Bi = \frac{\alpha x}{\lambda}$

- критерій Біо;  $J_0(\sqrt{Pd})$  - функція Бесселя першого роду;  $\mu_n$  - корені характеристичного рівняння

$$\mu_n = \frac{Bi \cdot J_0(\mu_n)}{J_1(\mu_n)}.$$

За формулою (5) проведені розрахунки температурного поля в бетонній колоні, для якої прийняті такі теплофізичні характеристики:  $\lambda = 1,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

$$C_v = 850 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad \rho = 2200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Результати досліджень зображено графічно на рисунку 1.

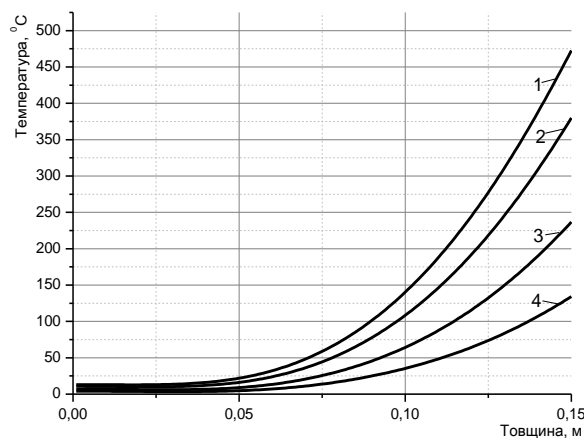


Рис.1. Зміна температури в бетонній колоні на проміжку часу 30 хвилин при

- 1)  $\alpha = 36 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;    2)  $\alpha = 24 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;  
3)  $\alpha = 12 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;    4)  $\alpha = 6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

Як відомо за границю вогнестійкості будівельних конструкцій приймається час їх нагріву при стандартних випробуваннях до виникнення одного із трьох граничних станів вогнестійкості [3]:

- за ознакою втрати несучої здатності;
- за ознакою втрати цілісності;
- за ознакою втрати теплоізоляційної здатності.

При оцінці несучої здатності конструкції за умов пожежі необхідно враховувати термонапружений стан конструкції зумовлений зміною температури, величиною температурного градієнта і часом нагріву.

Температурні напруження, які виникають в конструкціях, можна вивчати незалежно від механічних напружень, оскільки внаслідок лінійності рівнянь термопружності повні величини напружень одержують шляхом додавання температурних і механічних напружень.

З метою дослідження впливу цих параметрів на напружено-деформований стан розглянемо циліндр, торці якого защемлені, тобто осьове відносне видовження  $\varepsilon_z = 0$ . Радіальне переміщення  $U$  точок поперечного перерізу можна знайти, розв'язавши диференціальне рівняння [4]:

$$\frac{d^2U}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU}{dr} - \frac{U}{r^2} = \frac{1+\nu}{1-\nu} \cdot \alpha_t \cdot \frac{dt}{dr}, \quad (6)$$

де  $U$  - переміщення, м;  $\nu$  - коефіцієнт Пуассона;  $\alpha_t$  - температурний коефіцієнт лінійного розширення,  $K^{-1}$ .

Проінтегрувавши рівняння (6) одержимо:

$$U = A \cdot r + \frac{B}{r} + \frac{1+\nu}{1-\nu} \cdot \alpha_t \cdot \frac{1}{r} \cdot \int_0^r t(r, \tau) \cdot r dr, \quad (7)$$

де  $A, B$  - сталі інтегрування, які знаходимо із граничних умов.

Напруження, що діють в радіальному ( $\sigma_r$ ), кільцевому ( $\sigma_\phi$ ) та осьовому ( $\sigma_z$ ) напрямках запишемо у вигляді [5]:

$$\sigma_r = -\frac{\alpha_t \cdot E}{1-\nu} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \int_0^r t(r, \tau) \cdot r dr + \frac{E}{1+\nu} \cdot \left[ \frac{A}{1-2\nu} - \frac{B}{r^2} \right],$$

$$\sigma_\phi = \frac{\alpha_t \cdot E}{1-\nu} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \int_0^r t(r, \tau) \cdot r dr + \frac{E}{1+\nu} \cdot \left[ \frac{A}{1-2\nu} + \frac{B}{r^2} \right] - \frac{\alpha_t \cdot E}{1-\nu} \cdot t(r, \tau),$$

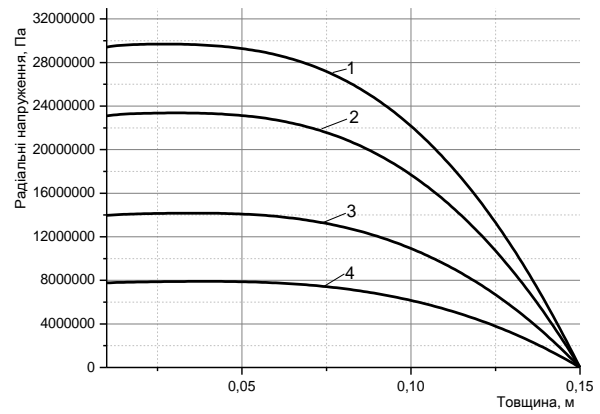
$$\sigma_z = A \frac{2E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} - \frac{E \alpha_t t(r, \tau)}{(1-\nu)}, \quad (8)$$

де  $E$  - модуль Юнга, Па;  $\alpha_t$  - температурний коефіцієнт лінійного розширення для заданого матеріалу,  $1/K$ .

Постійні інтегрування  $A$  і  $B$  знайдемо з відсутності переміщень (7)  $U = 0$  при  $r = 0$ , а також рівності нулю радіальних напружень  $\sigma_r = 0$  при  $r = R$ .

Відносні видовження в напрямку паралельному вісі циліндра рівні нулю з умови початкового навантаження колони.

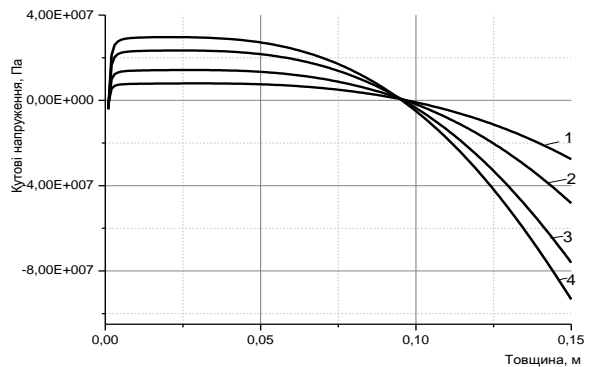
Підставивши вирази (7) і перший вираз (8) та використавши умови одержимо систему з двох алгебраїчних рівнянь для знаходження двох невідомих  $A, B$ . Підставивши значення фізико-механічних характеристик бетону:  $c_v = 840$ ,  $\lambda = 1,15$   $\rho = 2200$ ,  $E = 0,23 \cdot 10^{11}$   $\alpha_t = 1,2 \cdot 10^{-5}$   $\nu = 0,16$  знайдено переміщення і напруження. Отримані результати зобразимо графічно на рис 2.



**Рис.2.** Розподіл радіальних напружень у бетонній колоні при нагріванні за стандартною температурною кривою при часі дослідження 30 хв (температура середовища  $864 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$$1) \alpha = 36 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 2) \alpha = 24 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

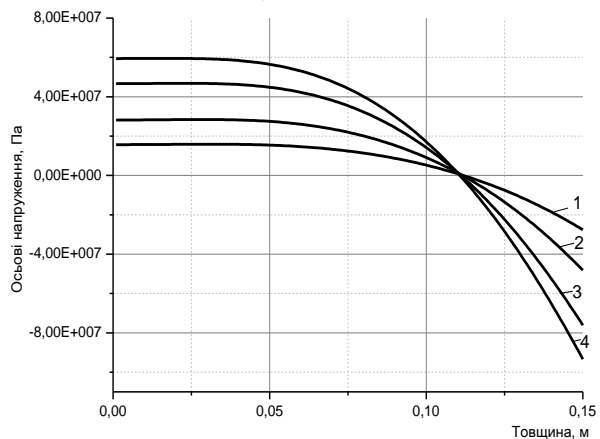
$$3) \alpha = 12 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 4) \alpha = 6 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$



**Рис.3.** Розподіл кутових напружень у бетонній колоні при нагріванні за стандартною температурною кривою при часі дослідження 30 хв (температура середовища  $864 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$$1) \alpha = 6 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 2) \alpha = 12 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$3) \alpha = 24 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 4) \alpha = 36 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$



**Рис.4.** Розподіл осьових напружень у бетонній колоні при нагріванні за стандартною температурною кривою при часі дослідження 30 хв (температура середовища  $864 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$$1) \alpha = 6 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 2) \alpha = 12 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$3) \alpha = 24 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}; \quad 4) \alpha = 36 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

### Висновки.

1) Аналіз одержаних залежностей показує, що при різних інтенсивностях теплообміну  $\alpha$  між поверхнею колони і зовнішнім середовищем температура поверхні нижча на 100-300 °С від температури середовища, яке нагріває конструкцію.

2) Радіальні і кільцеві температурні напруження (рис. 2-3) найбільші значення приймають в центрі поперечного перерізу і є напруженнями розтягу. Кільце-

ві напруження в при поверхневих шарах є стискаючими. Осьові напруження є стискаючими напруженнями і найбільше значення досягають на боковій поверхні (рис. 4).

3) Запропонована модель дослідження наружено-деформованого стану дозволяє дослідити температурні напруження і переміщення в залежності від координат і часу.

### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. ДСТУ Б В 1.1-4-98 Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги. Київ: Держбуд України, 1999. – 21с.  
*DSTU B 1.1-4-98 protection from fire. Building construction. Methods of test for fire resistance. General requirements. Kyiv: Ukraine State Building, 1999. – 21s*
2. Коляно Ю.М. Термомеханика: Библиографический указатель отечественной и иностранной литературы за 1965-1976гг. / Ю.М. Коляно, М.М. Семерак, О.Я. Яворская. – Львов: изд-во Львовская научная библиотека им. В. Стефаника АН УССР, 1979. Ч I, II. – Кн. I. – 360 с. Кн. II. – 477 с.  
*Kolyano Y.M. Termomehanyka: Byblyohrafycheskyu pointer vitchiznyanoi and ynostrannoy literature for 1965-1976 [Termomehanyka: bibliographical directory native foreign literature for 1965-1976.] / Y.M. Kolyano, M.M. Semerak, O.Y. Yavorskaya. - Lviv: Publishing House Lvovskaya nauchnaya Library. Stefanik USSR Academy of Sciences, 1979. M I, II. - Book. MI - 360. Book. II. – 477s.*
3. Кривцов Ю., Ламкин О., Рубцов В., Габдулин Р. Огнезащита железобетонных несущих конструкций тонкослойными покрытиями // Мир и безопасность. №4 (66) июль – август - М.: 2006, - с. 23-26.  
*Kryvtsov Y., Lamkin G., Rubtsov V., Gabdulin R. [Fireproofing of reinforced concrete bearing constructions by thin sealer coats] // Peace and Security. Number 4 (66) july - august - M.: 2006. 23-26s.*
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа 1967. – 600с.  
*Lykov A.B. Theory thermal conduction. Moscow: Higher School, 1967. – 600s.*
5. Timoshenko S. Theory of elasticity London 1975. – 576 s.

### Dominik A.M. Fire investigation cylinder columns under fire

**Abstract.** The stress-strain state of a cylindrical carrier concrete construction forms in fire conditions. The method of determination and the study of temperature field in the design due to the sudden change in temperature of the environment. Heat exchange between the design and the environment is by Newton's law. Defined and studied the stress-strain state of the structure due to the temperature. Based on these studies the technique of determining the fire resistance of a cylindrical tower on the grounds of loss of bearing capacity, loss of integrity and insulation ability. The research results are depicted graphically.

**Keywords:** fire resistance concrete structures, temperature field, displacement.

### Доминик А.М. Исследование огнестойкости цилиндрической колонны в условиях пожара

**Анотация.** Исследовано напряженно-деформированное состояние несущей бетонной конструкции цилиндрической формы в условиях пожара. Предложена методика определения и исследования температурного поля в конструкции обусловленного резким изменением температуры внешней среды. Теплообмен между конструкцией и средой происходит по закону Ньютона. Определены и исследованы напряженно-деформированное состояние конструкции обусловлен температурой. На основе проведенных исследований предложена методика определения предела огнестойкости цилиндрической колонны по признаку потери несущей способности, потери целостности и теплоизоляционной способности. Результаты исследований изображены графически.

**Ключевые слова:** огнестойкость бетонных конструкций, температурное поле, перемещения.

**Мельник К.В., Глушко В.Н.**

## **Применение аппарата Байесовых сетей при обработке данных из медицинских карточек**

*Мельник Карина Владимировна, ассистент,  
Глушко Виталий Николаевич, ассистент*

*Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков, Украина*

**Аннотация.** Медицинские информационные технологии представляют собой незаменимый инструмент для решения различного рода медицинских задач, чему посвящено большое количество публикаций. На сегодняшний день медицинские учреждения стали переходить на электронный документооборот, это обусловлено удобным хранением информации о пациенте, легким и быстрым доступом к информации, а также повышением эффективности работы медицинского учреждения при обработке медицинских данных. Использование статистической информации из электронной базы пациентов помогает выявить разнообразные факторы риска развития различных заболеваний на обслуживаемой территории. Зачастую пациенты обращаются не регулярно в медицинские учреждения, поэтому процесс постановки диагноза представляет собой задачу классификации на неполной информации. Подходящим математическим аппаратом для решения подобных задач является аппарат байесовых сетей доверия. В статье приведен обзор применения байесовых сетей доверия при проведении процесса диагностирования различных заболеваний. Анализ практических реализаций байесовых сетей показал целесообразность данного подхода для решения задач диагностирования. Поэтому в данной работе для определения рисков возможных заболеваний при проведении процесса раннего диагностирования в условиях неопределенной и неполной информации, полученной из карточек пациентов, предлагается применять байесовы сети доверия. В статье предложена сеть, которая помогает обнаружить нарушения работы сердечнососудистой системы. Информация, используемая для построения байесовой сети, была разбита на три группы: первая группа – это факторы риска, влияющие на возникновение и развитие определенных заболеваний; вторая группа – это совокупность рассматриваемых диагнозов; третья группа представляет собой наблюдения врача, различные симптомы и результаты лабораторных или приборно-компьютерных анализов. В статье приведен пример использования разработанной байесовой сети.

**Ключевые слова:** медицинские информационные технологии, байесовы сети доверия, обработка медицинских данных, сердечнососудистая система.

**Введение.** На сегодняшний день медицинские информационные технологии (МИТ) представляют собой незаменимый инструмент для решения различного рода медицинских задач. Например, с помощью МИТ можно эффективно выполнять такие задачи, как постановка диагноза, обработка лабораторных анализов, осуществление доступа к специальной медицинской литературе или медицинской карточке пациента. Большое количество публикаций посвящено решению подобных задач. Подробный обзор применения МИТ в различных сферах медицины приведен в работе [1].

На сегодняшний день медицинские учреждения стали переходить на электронный документооборот. Многие больницы, клиники, медпункты стали использовать электронные медицинские карточки, это обусловлено удобным хранением информации о пациенте, легким и быстрым доступом, а также повышением эффективности работы медицинского учреждения при обработке этих данных. Вопросы обработки медицинских данных из электронных карточек пациентов в медицинских учреждениях с применением разных подходов более подробно освещены, например, в работах [2, 3]. Истории болезней, результаты различных медицинских процедур, дата следующего профосмотра - эта и многая другая информация хранится в электронной карточке. Использование статистической информации из электронной базы пациентов помогает выявить разнообразные факторы риска развития различных заболеваний на обслуживаемой территории. Эта информация, в свою очередь, может использоваться при обработке данных каждого пациента в отдельности для задач раннего диагностирования.

**Вопросы обработки медицинских данных.** В основном обработка информации из электронных карточек пациентов связана с процессом диагностирова-

ния состояния пациента. Этот процесс можно рассмотреть для двух постановок задачи. В первом случае рассматривается классическая задача постановки диагноза при наличии полной информации о пациенте (перечень симптомов, результаты лабораторных анализов, результаты приборно-компьютерных процедур), решения для которой предлагает большое количество авторов, что отражено, например, в работе [2]. Вторая постановка рассматриваемой задачи представляет больший интерес. В этом случае рассматривается задача классификации на неполной информации. Подходящим математическим аппаратом для решения подобных задач является аппарат Байесовых сетей доверия (БСД или БС) [4].

Анализ разных источников информации показал, что существуют различные успешные реализации байесовых сетей в медицине, например, Alarm [5] – медицинское диагностическое приложение для наблюдения за пациентом, реализованное на основе БС объемом в 37 узлов. Сеть выдает 8 диагнозов и использует 16 различных симптомов, выдавая при этом пользователю специфические текстовые сообщения о возможных проблемах в организме пациента. БС Asia или Lung Cancer [6], состоящая из 8 узлов, диагностирует наличие рака легких или туберкулеза в зависимости от некоторых факторов риска. БСД Diabetes [7], состоящая из 413 узлов, применяется для коррекции дозы инсулина в зависимости от состояния пациента. БС Pathfinder [8] состоит из 135 узлов, применяется как аппарат для определения заболеваний лимфатической системы пациента. Сеть Munin [9] используется для определения нервно-мышечных заболеваний. Данная сеть существует в нескольких вариациях: в виде одной полной сети (размер – 1041 узлов), а также в виде совокупности 4 подсетей (3 подсети размером около 1000 узлов, четвертая – 186 узлов).

БС Нераг размером в 70 узлов предложена в работе [10] для диагностирования заболеваний печени. В данной сети рассматривается 16 заболеваний, остальные узлы – это различные характеристики, например, симптомы или результаты лабораторных исследований.

Анализ практических реализаций БС показал целесообразность данного подхода для решения задач диагностирования. Поэтому в данной работе для определения рисков возможных заболеваний при проведении процесса раннего диагностирования в условиях неопределенной и неполной информации, полученной из карточек пациентов, предлагается применять БСД.

**Использование байесовой сети доверия при проведении раннего диагностирования.** БСД представляют собой вероятностный ориентированный граф, в вершинах которого находятся различные понятия, а ребра отображают условную зависимость одной вершины от другой. Применительно к диагностике заболеваний в роли вершин могут выступать вредные привычки, нездоровый образ жизни, неблагоприятная наследственность, заболевания и их симптомы.

Для эффективной оценки состояния пациента необходимо использовать различные байесовы сети, каждая из которых направлена на определенную группу заболеваний. Например, для диагностики нарушений работы сердечнососудистой системы (ССС) необходимо использовать сеть, которая определяет риски заболеваний ССС; для обнаружения возможных заболеваний дыхательной системы необходимо использовать сеть, которая отражает информацию о дыхательной системе.

Рассмотрим в работе БСД, которая помогает обнаружить риски заболеваний ССС. Для оценивания состояния сердца пациента необходимо использовать анамнез, который представлен в карточке. Вся доступная информация разбивается на три группы: первая группа – это факторы риска, влияющие на возникновение и развитие определенных заболеваний; вторая группа – это совокупность рассматриваемых диагнозов; третья группа представляет собой наблюдение

врача, различные симптомы и результаты лабораторных или приборно-компьютерных анализов.

В качестве диагнозов были выбраны четыре заболевания ССС, которые имеют между собой весьма сильную связь: атеросклероз, артериальная гипертензия (АГ), стенокардия, ишемическая болезнь сердца (ИБС). Атеросклероз представляет собой болезнь кровеносных сосудов, которая проявляется в том, что на внутренней поверхности сосуда образуются наросты, так называемые бляшки, которые затрудняют течение крови. Основными симптомами служат повышенное давление, увеличение холестерина, а также нарушения сердечного ритма. В свою очередь, давление, неправильный сердечный ритм и боль в груди являются симптомами для стенокардии; повышенное давление, головная боль и бессонница – это симптомы АГ; а для ИБС являются симптомами все вышеперечисленные. В качестве симптомов были выбраны следующие характерные показатели работы сердечнососудистой системы: боли в области сердца, изменения на электрокардиограмме, повышенное артериальное давление, маркер биохимического анализа крови – уровень холестерина, результаты клинического анализа крови. В роли факторов риска были выбраны разнообразные характеристики жизни и привычек пациентов, которые не являются причиной этих заболеваний, но способствуют их развитию. Для заболеваний ССС существуют следующие факторы риска: курение, злоупотребление алкоголем, ожирение, гиподинамия – отсутствие физической нагрузки, наличие диабета, стресс.

В результате анализа информации о работе сердечнососудистой системы была БСД, которая представлена на рисунке 1. Структура сети имеет следующие характеристики: часть узлов, которые отвечают за наличие определенных факторов риска в жизни пациента, представляют собой независимые вершины; некоторые вершины имеют большое количество родительских вершин – вершины, отвечающие за диагнозы и их симптомы; часть вершин не имеет потомков, но имеет предков – вершины-симптомы.

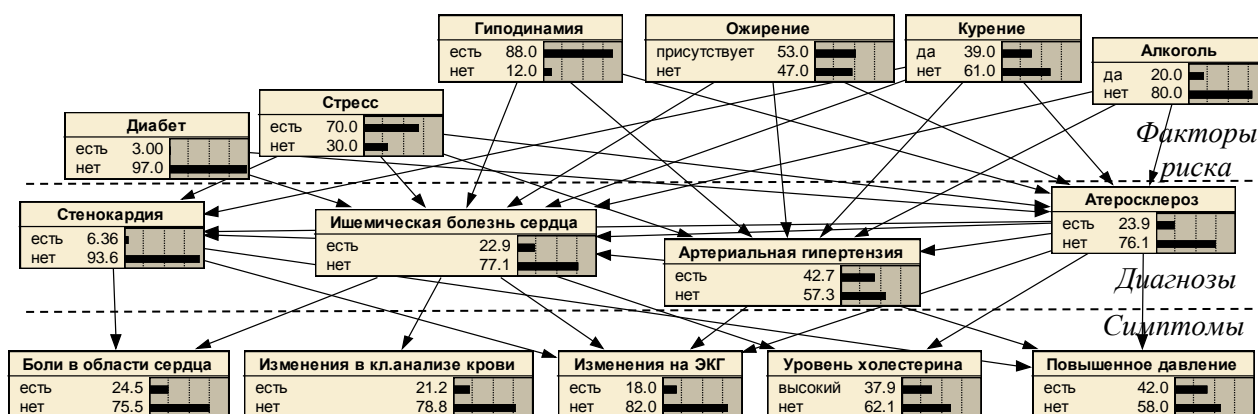


Рисунок 1. Структура БСД

Начальные параметры рассматриваемой сети заданы экспертами с помощью программного средства Netica, поэтому сеть готова к использованию для принятия различных медицинских решений по обработке имеющихся данных. Фрагмент таблицы вероятностей

для узла под названием "атеросклероз" представлен на рисунке 2.

Для уменьшения субъективизма и увеличения достоверности принимаемых решений необходимо сеть пополнять новыми медицинскими наблюдениями и

данными, то есть проводить процесс обучения. Существует два различных подхода к обучению БС. Первый подход приводит к изменению топологии сети, так как при построении начальной версии сети эксперт мог не учесть некоторые латентные переменные, которые существенно влияют на результаты исследований. Методы обучения второго подхода позволяют скорректировать значения условных вероятностей в узлах рассматриваемой сети. Если медицинские данные, которые подаются на обучение, не имеют пробелов, то тогда в качестве метода обучения используется классический байесовский подход к вычислению условных вероятностей, основываясь на теореме Байеса; в противном случае рекомендуется применять алгоритм максимизации математического ожидания (expectation maximization) [4].

Smoke	Alcohol	Stress	Diabetes	Gipodinamiya	Fat	true	false
true	true	true	true	true	true	88	12
true	true	true	true	true	false	85	15
true	true	true	true	false	true	85	15
true	true	true	true	false	false	80	20
true	true	true	false	true	true	80	20
true	true	true	false	true	false	10	90
true	true	true	false	false	true	60	40
true	true	true	false	false	false	10	90
true	true	false	true	true	true	80	20
true	true	false	true	true	false	60	40

Рисунок 2. Таблица вероятностей для атеросклероза

Алгоритм максимизации математического ожидания основывается на том факте, что наблюдаемое событие заменяется на ожидаемое количество выполнения события. Это происходит следующим образом: если данные, с помощью которых необходимо обучить сеть, имеют пробелы, то пробелы необходимо заполнить возможностями появления того или иного события. Например, причиной повышенного давления могут служить атеросклероз, артериальная гипертензия и стенокардия, а в наборе данных для сети нет информации о стенокардии, тогда одна строка данных заменяется на два случая: когда при этих исходных условиях есть стенокардия и когда она отсутствует. После рассчитывается ожидаемое количество выполнения события по формуле,  $N(x) = \sum_k I(x / D(k))$  где  $I(x / D(k))$  - функция ин-

дикатор, которая равна единице, если событие  $x$  происходит в обучающем процессе  $D(k)$ , нулю – если не происходит. Итоговая вероятность подчиняется бета-биномиальному распределению. При этом учитываются те данные, которые уже есть в сети.

Рассмотрим использование построенной сети на примере обработки данных из одной конкретной карточки. Исходные данные пациента представлены в таблице 1 в строке под названием "I вариант". Затем пациент прошел ряд обследований. Информация о результатах различных анализов и процедур была записана в карточку. Новые данные из медкарты отражены в таблице 1 в строке "II вариант".

Таблица 1.

**Исходные данные пациента**

Набор данных о пациенте	Диабет	Стресс	Гиподинамия	Ожирение	Алкоголь	Курение	Боли в сердце	Кл. анализ	Измен. ЭКГ	Холестерин	Давление
I вариант	нет								нет	да	
II вариант	нет		есть	есть	нет	есть	нет	нет	нет	да	есть

Вероятности возникновения заболеваний ССС у конкретного пациента в результате применения разработанной БСД до и после обследований представлены в таблице 2. Новые данные, которыми пополнилась карточка пациента, изменили риски возможных заболеваний: риск заболеть ИБС практически исчез, а вероятности заболеть АГ и атеросклерозом существенно увеличились. Теперь лечащему врачу нужно обратить внимание пациента на устранение факторов риска, присутствующих в жизни пациента, которые могут привести к этим заболеваниям.

Таблица 2.

**Результаты применения БСД**

Результаты обработки	Стенокардия	ИБС	АГ	Атеросклероз
До исследований	3,82	31,9	59,1	64,9
После исследований	0,69	0,65	86,6	91,5

**Выводы.** В данной работе были получены следующие результаты:

1. Проведен анализ математических моделей, которые применяются для решения задачи раннего диагностирования, в результате которого был обоснован выбор БСД.
2. Разработана БС объемом в 15 узлов, из которых 6 узлов представляют собой факторы риска, 5 узлов – симптомы заболеваний, 4 узла – заболевания ССС.
3. Приведен пример использования построенной сети для обработки медицинских данных из карточки пациента. Предложенный математический аппарат может использоваться не только для определения рисков, но и для прогнозирования возникновения определенного симптома.

**ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

1. Мельник К.В. Задача создания информационной системы скрининга в медицинских учреждениях // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2012. – №1 /11(55). – с.55-57.  
Mel'nik K.V. Zadacha sozdaniya informatsionnoy sistemy skrininga v meditsinskikh uchrezhdeniyakh [The task of creating a screening information system in healthcare facilities] // Vostochno-yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. – Kharkiv. – 2012. – №1 /11(55). – s.55-57.
2. Мельник К.В., Ершова С.И. Проблемы и основные подходы к решению задачи медицинской диагностики // Системы обработки информации. – Харьков. – 2011. – №2 (92). – с.244-248.  
Mel'nik K.V., Ershova S.I. Problemy i osnovnyye podkhody k resheniyu zadachi meditsinskoy diagnostiki [Issues and approaches to solving the problem of medical diagnosis] // Sistemy obrobki informatsii. – Kharkiv. – 2011. – №2 (92). – s.244-248.



3. Melnik K., Cherednichenko O., Glushko V. Towards medical screening information technology: the healthgrid-based approach. H.C.Mayr et al.(Eds.): UNISCON 2012, LNBIP 137. – Springer, 2013. – P. 202-204.
4. Richard E. Neapolitan. Learning Bayesian networks. North-eastern Illinois University. Chicago, Illinois: Prentice Hall, 2003. – 674 p.
5. I. A. Beinlich, H. J. Suermondt, R. M. Chavez, and G. F. Cooper. The ALARM Monitoring System: A Case Study with Two Probabilistic Inference Techniques for Belief Networks. In Proceedings of the 2nd European Conference on Artificial Intelligence in Medicine. Springer-Verlag, 1989. – P. 247-256.
6. S. Lauritzen, D. Spiegelhalter. Local Computation with Probabilities on Graphical Structures and their Application to Expert Systems (with discussion). Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology), 50(2):157-224, 1988.
7. S. Andreassen, R. Hovorka, J. Benn, K. G. Olesen, and E. R. Carson. A Model-based Approach to Insulin Adjustment. In Proceedings of the 3rd Conference on Artificial Intelligence in Medicine. Springer-Verlag, 1991. – P. 239-248
8. D. Heckerman, E. Horwitz, and B. Nathwani. Towards Normative Expert Systems: Part I. The Pathfinder Project. Methods of Information in Medicine, 31:90-105, 1992.
9. S. Andreassen, F. V. Jensen, S. K. Andersen, B. Falck, U. Kjærulff, M. Woldbye, A. R. Sørensen, A. Rosenfalck, and F. Jensen. MUNIN - an Expert EMG Assistant. In Computer-Aided Electromyography and Expert Systems, Chapter 21. – Elsevier (Noth-Holland), 1989.
10. A. Onisko. Probabilistic Causal Models in Medicine: Application to Diagnosis of Liver Disorders. Ph.D. Dissertation, Institute of Biocybernetics and Biomedical Engineering, Polish Academy of Science, Warsaw, March 2003.

**Melnik K.V., Glushko V.N. Application of Bayesian networks for data processing from medical cards**

**Abstract.** Medical information technologies are the essential tool for solving various health problems. It is reflected in a large number of publications. Nowadays medical facilities have started to use electronic documents. There are many reasons for this: a convenient storage of the patient information, easy and quick access to information, increasing the efficiency of the healthcare facility in medical data processing. Using statistical information from the electronic database of patients helps to identify risk factors for various diseases in the service area. Patients don't visit medical institutions regularly, so the diagnosis is a classification task on incomplete information. Bayesian networks are the appropriate mathematical tool to solve such problems. An overview of the application of Bayesian networks for disease diagnosis is provided in the article. Analysis of practical implementations of Bayesian networks showed the feasibility of this approach for diagnosis. Therefore, Bayesian belief networks are encouraged to apply for early diagnosis in uncertain and incomplete information from patients cards. The paper proposes a network, which helps to detect violations of the cardiovascular system. The information used to construct a Bayesian network was divided into three groups: the first group is risk factors that influence the emergence and development of certain diseases, the second group is a collection of diagnoses under consideration, and the third group is a doctor's supervision, a variety of symptoms and results of laboratory or instrument-computer analyses. The article shows how to use the developed Bayesian network.

**Keywords:** *medical information technologies, Bayesian networks, medical data processing, cardiovascular system.*

**Придатко О.В.**

## Ефективно-вартісний аналіз ризиків запровадження інноваційних технологій управління якістю освітніх проектів

*Придатко Олександр Володимирович, старший викладач  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна*

**Анотація.** В статті представлений ефектно-вартісний аналіз, призначений для оцінки ризиків пов'язаних із впровадження розроблених інноваційних технологій підвищення якості освітніх проектів системи цивільного захисту України. В основу запропонованого методу оцінки ризиків закладено SWOT-аналіз нововведених критеріїв ефективності та затратності.

**Ключові слова:** освітній проект, інноваційні технології, оцінка ризиків.

**Вступ.** Безперерйне функціонування системи цивільного захисту України потребує постійної підготовки та ротатції висококваліфікованих кадрів здатних якісно виконувати покладені на них завдання. Процес формування освітнього продукту в системі цивільного захисту забезпечується багаторівневою структурою за різними освітньо-кваліфікаційними рівнями (робітник, кваліфікований робітник, молодший спеціаліст, бакалавр, спеціаліст та магістр). До складу такої структури відносять відомчі навчальні заклади Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) та навчально-методичні центри цивільного захисту і безпеки життєдіяльності (НМЦ) при Головних управліннях (управліннях) ДСНС України в областях. Очевидно, що основним критерієм якості освітнього продукту такої структури є практичні вміння та навички, які визначають компетенцію рятувальника. Проте в умовах глобального фінансового обмеження процесів навчання, стає досить актуальним питання збереження якості освітнього продукту. Як відмічено в попередніх працях управління якістю процесами формування освітнього та інтелектуального продукту в умовах фінансової обмеженості потребує інноваційного та проектного-орієнтованого підходу.

**Аналіз деяких досліджень з напрямку.** Питаннями управління навчальними середовищами та управління освітніми проектами займаються багато науковців у провідних наукових школах. Основні наукові аспекти висвітлені в роботах [11] авторів В.А. Рача, А.Ю. Борзенко-Мірошниченко, [8] автора В.П. Лясковського, [6] автора А.О. Білошицького, [3] автора В.І. Жованика, [7,12] авторів Ю.Н. Тесля, І.Ю. Потаї, [5] автора І.С. Ясенової та інших роботах. Проте в оглянутих працях досліджені методології управління освітніми проектами розвитку тільки вищих навчальних закладів, які здійснюють формування освітнього продукту за освітньо-кваліфікаційними рівнями бакалавра, спеціаліста та магістра. А поза увагою залишаються освітні проекти підготовки рятувальників нижньої ланки управління у НМЦ із врахуванням специфіки функціонування навчальних закладів із особливими умовами навчання.

**Ціль наукової праці.** Як відмічено в праці [10] в освітніх установах системи ДСНС, які здійснюють підготовку майбутніх рятувальників, важливу роль в процесі становлення майбутнього спеціаліста відіграє практична складова. Проте сучасний стан її фінансової підтримки зумовлює виникнення ряду проблем, пов'язаних з обмеженням матеріальних, часових та людських ресурсів:

$$\{a_i\} + \{a_j\} + \{a_m\} \rightarrow \min (1)$$

де  $a_i$  – вартість формування продукту освітнього проекту (матеріальні ресурси);

$a_j$  – персонал формування продукту освітнього проекту (людські ресурси);

$a_m$  – тривалість формування продукту освітнього проекту (часові ресурси).

З виразу (1) очевидно, що мінімізація ресурсів у освітніх проектах може призвести до зниження якості продукту проекту. Виходячи з цього виникає необхідність здійснення управлінських дій спрямованих на запобігання виникнення негативних наслідків такого провадження. Одним із дієвих методів підвищення якості продукту освітнього проекту в умовах обмежених фінансових ресурсів є використання інноваційних технологій (ІТ), які не потребують значного залучення ресурсів.

У попередніх наукових працях представлені особливості та переваги застосування розроблених ІТ, досліджена їх ефективність в процесі підготовки сучасного рятувальника у вищих навчальних закладах. Проте недослідженим залишається питання аналізу ризиків неефективності запровадження ІТ та ризиків затратності пов'язаних з їх використанням в освітніх проектах підготовки фахівців нижньої ланки управління у НМЦ. В світовій практиці зустрічається ряд методів оцінки ризиків (наприклад "Дерево рішень", метод експертних оцінок тощо), вибір яких залежить від специфіки конкретного випадку. Щодо аналізу ризиків освітніх проектів в умовах обмежених ресурсів, як висвітлено в науковій праці [2], найбільш гнучким і ефективним є метод SWOT-аналізу. Тому з метою передбачення, і відповідно, запобігання виникнення ризиків з'являється гостра необхідність розробки ефективно-вартісного аналізу розроблених ІТ управління якістю освітніх проектів системи цивільного захисту, в основу якого закладено аналіз сильних і слабких сторін та можливостей і загроз, що виникають при їх реалізації.

**Основна частина.** В основу розробки сучасних інноваційних технологій управління якістю освітніх проектів, очевидно, закладено поняття "інновація". Як відмічено в роботі [4], інновація (в перекладі з латинської "novatio" – оновлення, зміна, а приставка "in" – в напрямку) – це впроваджене нововведення направлене на якісне зростання ефективності процесів, продукції або функціонування будь-якої системи. Як зазначено в [1] інновація означає підвищення ефективності діючої системи, що забезпечується рухом в пряму змін. Отже, використання інноваційного підходу буде корисним тільки в тому випадку, якщо він підвищує ефективність функціонування існуючої сис-

теми. В нашому випадку метою використання ІТ в освітньому проектному середовищі є покращення якості освітнього продукту з одночасною мінімізацією часу і затрат на його формування. До переліку ІТ, розроблених науковцями Львівського державного університету безпеки життєдіяльності можна відносити інтерактивні комп'ютерні тренажери, анімаційні засоби відтворення будь-яких фізичних, хімічних або технологічних процесів, інтерактивні лабораторні роботи, 3-D плакати тощо.

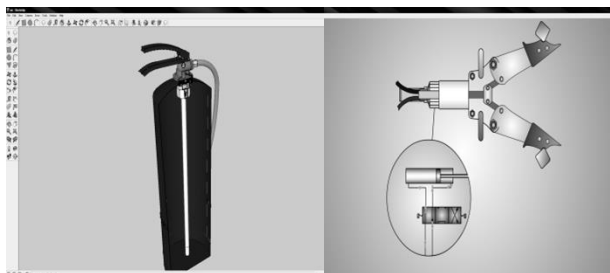


Рисунок 1. Робочі вікна розроблених інноваційних технологій управління якістю освітнього продукту

Ризик запровадження розроблених технологій управління якістю освітнім продуктом в системі цивільного захисту може бути пов'язаним з неефективністю (відсутністю користі від впровадження) або затратністю (збільшення матеріальних затрат). Зважаючи на основні чинники, оцінка ризиків з використанням ефектно-вартісного аналізу проводиться за двома критеріями: критерій ефективності ( $i_k$ ) та критерій затратності ( $i_z$ ). Перший критерій є обернено пропорційний прогнозованому рівню ризику, а критерій затратності – прямо пропорційний.

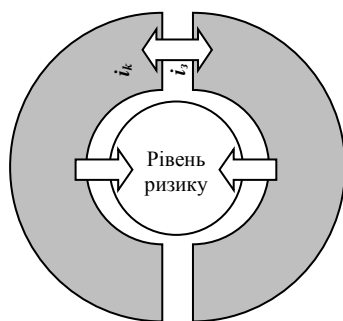


Рисунок 2. Критерії для оцінки рівня ризику запровадження ІТ управління якістю

Критерій ефективності визначається індексом компетентності продукту освітнього проекту [10]. Індекс компетентності включає в себе знання + навички (вміння) + досвід та визначений в діапазоні  $i_k = 0 ; 1$ . Результат, який вказує на відсутність ризику впровадження ІТ управління якістю відповідає  $i_k = (0,51 ; 1) \rightarrow max$ . Критерій ефективності визначається середнім арифметичним значенням прогнозованих знань, навичок та досвіду (2). Прогнозування проводиться з використанням методів математичної статистики на підставі експериментально отриманих даних.

$$i_k = 1/n_i \sum i_z + i_v + i_d (2)$$

де  $i_z$  – знання;  $i_v$  – навички (вміння);  $i_d$  – досвід.

Для застосування прогнозованих результатів в ефективно-вартісному аналізі необхідно проводити їх ко-

дування відносно стандартного значення. Прогнозування рівня отриманих знань та навичок, в результаті використання розроблених ІТ в процесі формування освітнього продукту, визначається як згадувалось, методами математичної статистики та відповідає  $\leq 1$ . Визначення здобутого досвіду проводиться на підставі кількості навчальних циклів, які проводяться в межах годин відведених навчальними планами і програмами та відповідає  $\leq 1$ .

Критерій затратності визначає рівень ресурсів, залучення яких необхідне в процесі використання розроблених ІТ для формування освітнього продукту. Критерій затратності включає значення необхідних матеріальних, часових та людських ресурсів. Результат, який вказує на відсутність ризику впровадження ІТ управління якістю відповідає  $i_z \leq 1$  при умові позитивного значення критерію ефективності. Критерій затратності визначається виразом (3).

$$i_z = 1/n_i \sum a_i + a_j + a_m (3)$$

де  $a_i$  – матеріальні ресурси;  $a_j$  – людські ресурси;  $a_m$  – часові ресурси.

Аналогічно, для застосування результатів критерію затратності в ефективно-вартісному аналізі необхідно проводити їх кодування відносно стандартного значення. Кількість необхідних матеріальних, часових та людських ресурсів, які залучаються в процесі формування освітнього продукту за стандартною методикою (без ІТ) буде = 1. Перевищення, або навпаки, економія ресурсів, при умові певного показника критерію ефективності буде вказувати на наявність або відсутність ризиків впровадження ІТ. Впровадження розроблених ІТ є нерентабельним у випадку  $i_z > 1$  та  $i_k < 0,51$ , адже у такому випадку не забезпечується необхідна якість освітнього продукту одночасно з високим показником затратності.

Згідно Державного стандарту професійно-технічної освіти України за рішенням навчальної установи, що здійснює підготовку кадрів нижньої ланки управління ДСНС України, дозволяється самостійно визначати варіативний компонент змісту освіти до 20% від фонду часових та відповідно матеріальних і людських ресурсів. І відповідно, з метою аналізу ризиків, які можуть виникнути в процесі мінімізації ресурсів, в роботі пропонується розробка ефектно-вартісного аналізу ІТ управління якістю освітніх проектів. Для досягнення мети запропонована матриця ризиків яка входить в основу ефектно-вартісного аналізу (таблиця).

Таблиця 1.

**Матриця ефективно-вартісного аналізу**

		Критерій затратності		
		$i_z < 1$	$i_z = 1$	$i_z > 1$
Критерій ефективності	$0,91 \leq i_k \leq 1$	А	Б	В
	$0,71 \leq i_k \leq 0,9$	Б	Б	В
	$0,51 \leq i_k \leq 0,7$	В	В	Г

Результатом ефектно-вартісного аналізу повинні бути ефективні рішення, які стосуються певної реакції щодо впровадження ІТ. Опираючись на наукові досягнення в роботах [2,9] визначену оцінку ефектно-вартісного аналізу можна інтерпретувати таким чином:

- "А" – найвища пріоритетність впровадження ІТ управління якістю освітніх проектів в системі цивіль-

ного захисту. Передбачається підтримка та розвиток процесу.

- "Б" – висока пріоритетність впровадження ІТ управління якістю освітніх проектів в системі цивільного захисту. Проте необхідно звернути увагу на запобігання загроз затратності і неефективності.

- "В" – необхідно детальніше дослідити актуальність впровадження ІТ в окремих випадках. Основні дії необхідно спрямовувати на подолання слабких сторін затратності або ефективності.

- "Г" – впровадження ІТ управління якістю освітніх проектів в системі цивільного захисту є не рентабельним із принесенням затратної шкоди або шкоди якості продукту освітнього проекту. Виникає необхідність

розробки стратегій зміцнення потенціалу і відвернення загроз.

**Висновки.** В статті розглянута проблема сучасного стану фінансової підтримки практичної складової процесу підготовки рятувальника нижньої ланки управління ДСНС України. Як дієвий метод підвищення якості продукту такого освітнього проекту пропонується використання розроблених інноваційних технологій. Для оцінки ризиків пов'язаних із впровадження ІТ запропоновано метод їх ефективно-вартісного аналізу, в основу якого закладено SWOT-аналіз. В основу методу покладено оцінку за двома критеріями: критерієм ефективності та вперше введеним критерієм затратності.

#### ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Бушуев С.Д. Інноваційні механізми інтуїтивного управління проектами та програмами/ С.Д. Бушуев, Ю.В. Яцишин // Управління розвитком складних систем: Зб.наук.пр. – Київський нац. ун-т буд. і арх-ри, 2011. - № 6. – С. 27-32.
2. Бушуев С.Д. *Inovatsyini mehanizmy intuitivnogo upravlinnya proektami i programami* [Innovative mechanisms of intuitive project management and program] / S.D. Bushuev, Y.V. Yacyshyn // *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system.* – KNUBA, 2011. - № 6. – S. 27-32.
3. Драч І.С. Вибір методів оцінки проектних ризиків вищого навчального закладу в умовах фінансової кризи / І.С. Драч // Збірник тез доповідей дев'ятої міжнародної конференції "Управління проектами у розвитку суспільства". – Київ: Київський національний університет будівництва та архітектури, 11-12 травня 2012. – С. 72-73.
4. Драч І.С. *Vybir metodiv ocinky proektnykh ryzykiv vyshchogo navchalnogo zakladu v umovah finansovoi kryzy* [Choice methods for assessing project risks institution of higher education in the financial crisis] / I.E. Drach // *Zbirnyk tez dopovidei IX miznarodnoi konferencii "Upravlinnya proektami u rozvytku suspilstva"*. – KNUBA, 11-12 travnya 2012. – S. 72-73.
5. Жованик В.І. Формування структури управління ВНЗ в середовищі раціональних академічних ресурсів, її когнітивна модель/ В.І. Жованик // Управління розвитком складних систем: Зб.наук.пр. – Київський нац. ун-т буд. і арх-ри, 2011. - № 5. – С. 95-102.
6. Жованик В.І. *Formuvannya struktury upravlinnya VNZ v seredovyi racionalnyh akademichnyh resursiv, kongnityvna model* [Formation of the management structure of the university in the academic environments sustainable resources, its cognitive model] / V.I. Zovanyk // *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system.* – KNUBA, 2011. - № 5. – S. 95-102.
7. Креативные технологии управления проектами и программами: Монография / Бушуев С.Д., Бушуева Н.С., Бабаев И.А. и др. – К.: "Саммит-Книга", 2010. – 768 с.
8. *Kreatyvne tehnologiyi upravlenya proektami i programami* [Creative Technology Project and program management]: *Monografiya* / Bushuev S.D., Bushueva N.S., Babyev I.A. – Kiev: "Sammit-Kniga", 2010. – 768 s.
9. Методи та моделі інформаційної технології управління навчальним навантаженням у вищому навчальному закладі: автореф. дис. канд. техн. наук. / І.С. Ясенова; Київський нац. ун-т буд. і арх-ри. – Київ, 2008. – 21 с. – укр.
10. *Metody i modeli informaciynoi tehnologii upravlinyam navchalnym navantajenyam u VNZ* [Methods and models of information technology management workload in higher education]: *avtoreferat dysertacii kandidata tehnicnih nauk* / I.S. Yasenova; KNUBA. – Kyiv, 2008. – 21 s. – ukr.
11. Методи та моделі комплексного інформаційно-освітнього середовища в умовах розвитку вищого навчального закладу: автореф. дис. канд. техн. наук. / Білошицький А.О.; Київський нац. ун-т буд. і арх-ри. – Київ, 2007. – 23 с. – укр.
12. *Metody ta modeli kompleksnogo informaciyno-osvitnogo seredovysha v umovah rozvytku vyshchoho navchalnogo zakladu*: *avtoref. dis. kand. tehn. nauk.* / Biloshytskyi A.O.; Kyivskyi naц. un-t bud. i arch-ri. – Kyiv, 2007. – 23 s. – ukr.
13. Моделі і структури мультипроекту модернізації системи управління якістю підготовки спеціалістів з вищою освітою: автореф. дис. канд. техн. наук. / І.Ю.Потай; Нац. ун-т кораблебудування ім.адмірала Макарова. – Миколаїв, 2006. – 24 с. – укр.
14. *Modeli i struktury multiproektu modernizacii systemy upravlinya yakystyu pidgotovky specialistiv z vushchoju osvitoju* [Model and structure modernization project quality management system of training specialists with higher education]: *avtoreferat dysertacii kandidata tehnicnih nauk* / I.Y. Potay; NUK im.admirala Makarova. – Mykolaiv, 2006. – 24 s. – ukr.
15. Моделі, методи і алгоритми побудови проектів систем організаційного управління вищим навчальним закладом: автореф. дис. канд. техн. наук. / Лясковський В.П.; Київський нац. ун-т буд. і арх-ри. – Київ, 2001. – 20 с. – укр.
16. *Modeli, metody i algoritmy pobudovy proektiv systemy organizaciyного upravlinya vyshchim navchalnym zakladom*: *avtoref. dis. kand. tehn. nauk.* / Lyaskovskyy V.P.; Kyivskyi naц. un-t bud. i arch-ri. – Kyiv, 2001. – 20 s. – ukr.
17. Обґрунтування регіональних портфелів проектів удосконалення безпеки життєдіяльності: автореф. дис. канд. техн. наук. / Зачко О.Б.; Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. – Львів, 2010. – 20 с. – укр.
18. *Obgruntuvannya regionalnyh portfeliv proektiv udoskonalenyа bezpeky jytiedyalnosti* [Justification of regional portfolios of life safety improvement projects]: *avtoreferat dysertacii kandidata tehnicnih nauk* / Zachko O.B.; LDUBGD. – Lviv, 2010. – 20 s. – ukr.
19. Придатко О.В. Інноваційні технології підвищення якості освітніх проектів в системі цивільного захисту / О.В. Придатко, Ю.Р. Лозинський // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності: Зб.наук.пр. – Львівський держ. ун-т БЖД, 2013. - № 7. – С.125-133.
20. *Prydatko O.V. Inovatsyini tehnologiyi pidvujenya yakosti osvitynih proektiv v systemi cyvilnogo zahystu* [Innovative technology improving the quality of educational projects in civil

- protection] / O.V. Prydatko, Y.R. Lozunskyi // *Visnik Lvivskogo derjavnogo universytetu bezpeky jtyediyalnosti*. – LDUBGD, 2013. - № 7. – S.125-133.
11. Рач В.А. Проектно-орієнтовані моделі управління та оцінки діяльності вищих навчальних закладів / В.А. Рач, А.Ю. Борзенко-Мірошніченко // *Управління проектами та розвиток виробництва*. Зб.наук.праць – Луганськ: вид-во СЛУ ім.В.Даля, 2009. - №1(29). – С. 81-89.
- Rach V.A. *Proektno-orientovani modeli upravlinya ta ocinky diyalnosti VNZ [Project-oriented management model and estimation of activity higher education institutions]* / V.A. Rach, A.Y. Borzenko-Miroshnychenko // *Upravlinya proektamy ta rozvytok vyrobnyctva*. – Lugansk: SNU im. V. Dalya, 2009. - №1(29). – S. 81-89.
12. Тесля Н.Ю. Модель мультипроекту модернізації системи управління якістю підготовки спеціалістів ВНЗ всіх видів акредитації / Ю.Н. Тесля, І.Ю. Потай // *Управління проектами та розвиток виробництва*. Зб.наук.праць – Луганськ: вид-во СЛУ ім.В.Даля, 2006. - №2 (18). – С.72-85.
- Teslya N.Y. *Model multyproektu modernizacyi systemy upravlinya yakistju pidgotovky specialistiv VNZ vsih vydiv akredytacyi [Model multyproektu upgrading the quality management system of training specialists of all kinds of university accreditation]* / N.Y. Teslya, I.Y. Potay // *Upravlinya proektamy ta rozvytok vyrobnyctva*. – Lugansk: SNU im. V. Dalya, 2006. - №2 (18). – S.72-85.

**Prydatko O.V. Efficiently value analysis of risks implementation of innovative technologies quality management of educational projects**

The article presents spectacularly-cost analysis designed to assess the risks associated with the introduction of innovative technologies developed by improving the quality of educational projects of Civil Defense of Ukraine. The basis of the proposed method of risk assessment founded SWOT-analysis of performance criteria's.

**Keywords:** *educational project, innovative technology, risk assessment.*

**Придатко А.В. Эффективно-стоимостный анализ рисков внедрения инновационных технологий управления качеством образовательных проектов**

В статье представлен эффектно-стоимостный анализ, предназначен для оценки рисков, связанных с внедрения разработанных инновационных технологий повышения качества образовательных проектов системы гражданской защиты Украины. В основу предложенного метода оценки рисков заложен SWOT-анализ введенных критериев эффективности и затратности.

**Ключевые слова:** *образовательный проект, инновационные технологии, оценка рисков.*

Романко Р.М., Петраковська О.С.

## Методи і моделі моніторингу земель, що зазнають впливу екзогенних геологічних процесів

Романко Роман Миколайович, аспірант,  
Петраковська Ольга Сергіївна, доктор технічних наук, професор,  
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

**Анотація.** Доведено тісний взаємозв'язок систем моніторингу земель та моніторингу геологічного середовища, що зумовлює необхідність вдосконалення інформаційної взаємодії між ними в межах реалізації державної системи моніторингу доквілля. Визначено систему показників ЕГП, що повинні враховуватись при здійсненні моніторингу земель.

**Ключові слова:** моніторинг земель, моніторинг геологічного середовища, показники та фактори ЕГП.

**Вступ.** Актуальними викликами сьогодення є часте виникнення стихійних та небезпечних природних явищ: ендегенних та екзогенних геологічних процесів (повеней, паводків, снігових лавин, селів), гідрологічних та гідрометеорологічних (повеней, підтоплення, затоплення), які мають як природне походження, так і спричинені впливом діяльності людини.

У 1944 р. В.І.Вернадський ввів поняття про “ноосферу” – сферу розуму, де людина стає найбільшою геологічною силою”. Підтвердження його слів стає все більш очевидним із розвитком науково-технічного прогресу. Інженерно-будівельна та господарська діяльність людини вважається сьогодні найважливішим геологічним чинником, що змінює стан верхньої частини літосфери та хід сучасних геологічних процесів [6].

Управління землекористуванням на основі достовірної інформації про стан доквілля, його зміни та можливі наслідки негативного впливу на нього, попередження та ліквідація цих наслідків забезпечується функціонуванням ефективної системи моніторингу. Моніторинг доквілля містить декілька самостійних, але в той же час, взаємодоповнюючих підсистем, які оперують змінами, що мають часто складні причинно-наслідкові зв'язки.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Значний вклад у вирішення проблем організації та здійснення моніторингу земель населених пунктів та промислових об'єктів присвячені праці таких вчених як Ю.М. Білоконь, М.М. Габрель, В.М., М.М. Дьомін, Є.С. Ключниченко, О.Ю. Мельничук, Л.І. Нефьодов, Т.Ф. Панченко, Л.М. Перович, О.С. Петраковська., В.В. Тишковець, П.Г. Черняга, Г.Й. Фільваровта багато інших.

Варто зазначити вагомий внесок у дослідження теоретико-методологічних основ моніторингу сільськогосподарських земель та ґрунтів як складової частини моніторингу земель таких вчених як: В.М. Горбатюк, В.В. Медведєв, Д.С. Добряк, А.М. Третяк, А.Г. Мартин, А.Г. Ніщинський, А.Я. Сохнич, І.Д. Примак та ін.

Проблемі геоінформаційного забезпечення моніторингу земель присвячені праці М.Г. Лихогруда, А.А. Ляшенка, О.П. Світличного, Ю.О. Карпінського, G. Gutman. та інших.

Моніторинг земель – це система спостереження за станом земель з метою своєчасного виявлення змін, їх оцінки, відвернення та ліквідації наслідків негативних процесів.

Він складається із систематичних спостережень за станом земель (агрохімічна паспортизація земельних ділянок, зйомка, обстеження і вишукування), виявлення у ньому змін, а також проведення оцінки:

- a) стану використання земельних ділянок;
- b) процесів, пов'язаних із змінами родючості ґрунтів (розвиток водної і вітрової ерозії, втрата гумусу, погіршення структури ґрунту, заболочення і засолення), заростання сільськогосподарських угідь, забруднення земель пестицидами, важкими металами, радіонуклідами та іншими токсичними речовинами;
- c) стану берегових ліній річок, морів, озер, заток, водосховищ, лиманів, гідротехнічних споруд;
- d) процесів, пов'язаних з утворенням ярів, зсувів, сільовими потоками, землетрусами, карстовими, кріогенними та іншими явищами;
- e) стану земель населених пунктів, територій, зайнятих нафтогазодобувними об'єктами, очисними спорудами, гноєсховищами, складами паливно-мастильних матеріалів, добрив, стоянками автотранспорту, захопленням токсичних промислових відходів і радіоактивних матеріалів, а також іншими промисловими об'єктами [4].

**Мета та завдання.** Оскільки предметом наших досліджень є зміни стану земель, що зазнають негативного впливу небезпечних геологічних процесів і явищ, що найбільш поширені в досліджуваному нами регіоні, тому з метою детального вивчення їх першопричин та пошуку науково-обґрунтованих пропозицій щодо вдосконалення моніторингу цих земель необхідно проаналізувати фактори виникнення і активізації ЕГП, дія яких нерозривно пов'язана із подальшими змінами земель.

**Матеріали та методи досліджень.** Всі геологічні та інженерно-геологічні процеси виникають і змінюються під впливом різнохарактерної дії і режиму: глибинних тектонічних процесів; напружено-деформованого стану масивів порід і зміни їх властивостей; термічних умов у верхній частині земної кори і на її поверхні; гідрогеологічних умов; поверхневих та підземних вод. Така багатофакторність розвитку геологічних процесів (природних, техногенних та їх сполучення) є їх характерною особливістю.

Геологічні процеси і явища виникають за наявності певних невідповідностей (протиріч) в природі: наприклад нерівновага в системі - мінеральний склад порід - гідрогеохімічне середовище викликає розвиток карсту; невідповідність характеру розчинення порід - швидкості водного потоку викликає ерозію тощо [6].

Кожен геологічний процес і явище мають свої причини виникнення та розвитку. Основна причина це - геологічна діяльність природних факторів і людини.

Крім причин необхідно розрізняти умови і фактори, які сприяють, пришвидшують або, навпаки, стримують прояв тих чи інших процесів.

Під час вивчення геологічних та інженерно-геологічних процесів і явищ необхідно виділяти головні чинники і основні елементи середовища, які взаємодіють між собою або з іншими чинниками, спорудами і будівельними роботами. Залежно від значення, основні чинники можуть бути причиною (рушійною силою), яка безпосередньо провокує виникнення явища в потенційно підготовленому середовищі. Часто один і той же чинник (підземні води, сейсмічність)

в одних випадках є компонентом середовища, а в іншому – визначальним, в тому числі рушійним, чинником. Підземні води, насичуючи породи, викликають зниження їх міцності або спричиняють процеси розчинення, що призводить до зсувів, розмивання всередині товщі або поширення карсту. Загальна класифікація факторів, що впливають на розвиток екзогенних геологічних процесів наведена в таблиці 1 [1].

Таблиця 1.

Фактори, що впливають на розвиток екзогенних геологічних процесів		
Група факторів	Фактори визначають	Тривалість змін
<b>I. Постійні</b> Геологічна будова (тектоніка, стратиграфія, літологія); геоморфологічні умови (загальний характер рельєфу, морфологія і морфометрія, генезис і вік)	Генетичні особливості ЕГП і інтенсивність їх прояву (враженість)	мільйони років
<b>II. Повільнозмінні</b> <i>Незалежні (основні):</i> сучасні тектонічні рухи (горизонтальні, вертикальні); кліматичні. <i>Похідні:</i> ізоостатичні та евстатичні зміни; геокріологічні; гідрогеологічні; рослинність, ґрунти	Загальну тенденцію розвитку ЕГП	100-ні - 1000-чі років
<b>III. Швидкозмінні</b> <i>Незалежні (основні):</i> метеорологічні умови (атмосферні опади, температура та ін.); гідрологічні умови (витрати і рівні води в ріках, рівні води і режим хвиль в озерах тощо); сейсмічні умови (землетруси); господарська діяльність (вируб лісів, підривання схилів, лісові пожежі тощо) <i>Похідні:</i> поверхневий стік (схилувий по тимчасових і малих водотоках тощо); вологість і льодянистість гірських порід; сезонне промерзання і відтанення; міцнісні і деформаційні властивості гірських порід	Режим похідних факторів і режим активізації ЕГП	Роки та 10-ки років
	Режим активізації ЕГП	Роки та 10-ки років

Вирішення питання вдосконалення моніторингу земель, що зазнають впливу ЕГП, повинно передбачати виокремлення із загальної кількості факторів, умов, показників, які характерні для зсувів, карсту та селів,

саме ті, які динамічно змінюються і повинні контролюватися в системі моніторингу земель.

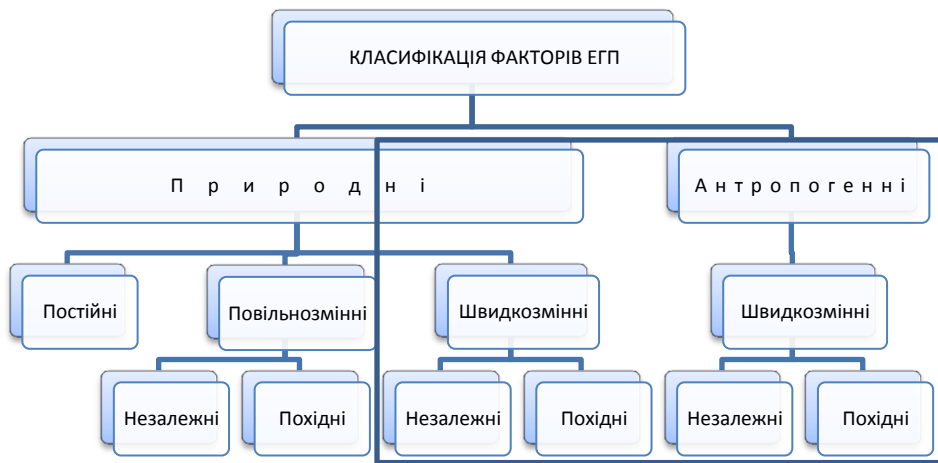


Рис. 1. Класифікація факторів ЕГП

**Результати та їх обговорення.** Проаналізувавши фактори, що впливають на розвиток екзогенних геологічних процесів з точки зору моніторингу земель, ми дійшли висновку, що частина факторів, які належать до постійних та повільно змінних характеризує природні умови розвитку ЕГП. З огляду на довготривалість їх змін, результати досліджень здійсненні під час моніторингу геологічного середовища повинні враховуватись при моніторингу земель в якості базової, вихідної інформації (фоновий моніторинг) без необхідності подальшого контролю та спостереження. Зміни показників, що відбуваються порівняно швидко

зумовлюють особливу необхідність врахування саме цієї частини факторів в системі моніторингу земель. Згідно наведеної вище класифікації, до швидкозмінних чинників віднесені як природні, так і спричинені діяльністю людини, причому фактично всі антропогенні чинники віднесені до швидкозмінних (рис. 1). Тому виникає необхідність включення показників швидкозмінних чинників розвитку геологічних процесів до системи моніторингу земель.

Для вирішення завдань, пов'язаних із здійсненням моніторингу земель, систематизовано показники екзогенних геологічних процесів за інтенсивністю та ак-

тивністю розвитку, що дасть змогу здійснювати вихідну та поточну оцінку процесів, пов'язаних з утворен-

ням зсувів, сільовими потоками та карстовими явищами (табл. 2).

Таблиця 2.

**Кількісні показники розвитку екзогенних геологічних процесів, які необхідно враховувати при здійсненні моніторингу земель**

Об'єкти вивчення	Інтенсивність розвитку	Показники			Активність розвитку
		приклад для зсувів			
Процеси	1. Тривалість циклу і його стадій	Час Швидкість Режим (селі)	швидкість зсуву, м/с	частота прояву, од/рік	Частота
	2. Швидкість процесу				
	3. Швидкість денудації чи акумуляції під впливом даного процесу	Об'єм Маса	об'єм маси, що зміщується, тис. м <sup>3</sup>		
Форми, утворені процесом (явищем)	4. Кількість форм на одиницю площі і їх розміри	Об'єм Маса Густина (селі)	об'єм маси, що змістилася, тис. м <sup>3</sup>	частота новоутворень, од/рік	Кількість нових
	5. Частка чи відсоток площі чи довжини чи об'єму, зайнятих формами від загальної площі чи довжини чи об'єму ділянок їх розвитку	Площа Довжина, Глибина	площа прояву на одній ділянці, км <sup>2</sup>	частка нових форм, коеф., %	
		Кількість Частка	враженість території, % контрастність, коеф.		

**Висновки.** Дослідивши системпоказників розвитку ЕГП для цілей моніторингу земель, можна зробити висновок, що для вирішення завдань із моніторингу земель особливий інтерес становлять зміни, які відбуваються порівняно швидко (від декількох годин до 10-ків років) і мають суттєвий вплив на зміни землекористування. В залежності від їх природи, ці фактори можуть бути незалежними та похідними, тому дослідження причинно-наслідкових зв'язків, їх оцінка і прогноз повинні бути об'єктами моніторингу. Варто зазначити, що в залежності від тривалості циклу розвитку того чи іншого екзогенного геологічного процесу, для конкретних територій буде своя (унікальна) програма здійснення моніторингу за цими процесами і явищами. Вона повинна передбачати фіксування ви-

хідного стану системи із подальшим здійсненням періодичних, оперативних та наукових спостережень.

Тісний взаємозв'язок систем моніторингу геологічного середовища та моніторингу земель зумовлює необхідність вдосконалення інформаційної взаємодії між ними в межах реалізації державної системи моніторингу докільця на всіх рівнях. Поєднання інформаційних ресурсів цих двох систем на базі одного ПС-середовища дозволить значно скоротити витрати пов'язані зі створенням, підтримкою функціонування та використанням різного роду користувачами їх можливостей, що в свою чергу підвищить ефективність управлінських завдань з ліквідації, мінімізації та попередження негативного впливу геологічних процесів і явищ як на земельні ресурси зокрема, так і на докільця в цілому.

**ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

1. Емельянова Т.Я. Инженерная геодинамика: учебное пособие / Т.Я. Емельянова. – 2-е изд. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 134 с.  
*Emel'yanova T.Ya. Inzhenernaya heodinamika: uchebnoe posobie [Engineering Geodynamics: textbook] – 2-e izd. – Tomsk: TPU, 2009. – 134 s.*
2. Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы): в 2 т. / [Рудько Г.И., Оснюк В.А., Беда С.В. и др.]; под ред. Г.И. Рудько, В.А. Оснюка. – Черновцы: Букрек, 2012. – Т. 2. – 744 с.  
*Inzhenernaya heodinamika Ukrainy i Moldovy (opolznevyye heosistemy): v 2 t. pod. red. H.Y. Rud'ko, V.A. Osiyuka. [Engineering Geodynamics of Ukraine and Moldova (Landslide Geosystems)]– Chernovtsy: Bukrek, 2012. – T. 2. – 744 s.*
3. Постанова КМУ № 391 від 30.03.1998 року «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу докільця». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF>  
*Postanova KМУ # 391 vid 30.03.1998 roku «Pro zatverdzhennya Polozhennya pro derzhavnu systemu monitorynhu dokillya» [On approval of the State Environmental Monitoring System] / [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF>*
4. Постанова КМУ № 661 від 20.08.1993 року «Про затвердження положення про моніторинг земель». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/661-93-%D0%BF>  
*Postanova KМУ # 661 vid 20.08.1993 roku «Pro zatverdzhennya polozhennya pro monitorynh zemel'» [On approval of land monitoring] / [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/661-93-%D0%BF>*
5. Угода про співробітництво в галузі організації та забезпечення надійного функціонування обласної системи моніторингу докільця між обласним управлінням екології та природних ресурсів у Чернівецькій області та обласним головним управлінням земельних ресурсів. – Чернівці. - 2005. – 6 с.  
*Uhoda pro spivrobitytstvo v haluzi organizatsiyi ta zabezpechennya nadiynoho funktsionuvannya oblasnoyi systemy monitorynhu dokilllya mizh oblasnym upravlinnyam ekolohiyi ta pryrodnykh resursiv u Chernivets'kiy oblasti ta oblasnym holovnym upravlinnyam zemel'nykh resursiv. [Agreement on cooperation in the organization and to ensure reliable operation of the regional environmental monitoring system between the regional Department of Environment and Natural Resources in the Chernivtsi oblast and Regional Department of Land Resources] – Chernivtsi. - 2005. – 6 s.*



6. Шостак А.В. Инженерная геология: навчальный посібник / A.V. Shostak. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.geol.univ.kiev.ua/lib/engen\\_geology.doc](http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/engen_geology.doc). / *Shostak A.V. Inzhenerna heolohiya: navchal'nyy posibnyk / [Engineering geology: a text book] – [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: [www.geol.univ.kiev.ua/lib/engen\\_geology.doc](http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/engen_geology.doc).*

**Romanko R.M., Petrakovska O.S. Methods and models of land monitoring affected by the exogenous geological processes**

**Abstract.** Close relationship of land monitoring and monitoring of the geological environment is approved. The need to improve information interaction between them within the implementation of the state environmental monitoring system is highlighted. The system of EGP indicators that should be considered in land monitoring is determined. The close relationship of the geological environment monitoring and land monitoring systems necessitates the improvement of information exchange between them within the state environmental monitoring system at all levels. The combination of these information systems based on a GIS environment will significantly reduce the costs associated with the creation, operation and support of various types of users. This in turn will increase the effectiveness of management tasks to eliminate, minimize and prevent negative influence of geological processes and phenomena as on land resources in particular and the environment in general.

**Keywords:** *land monitoring, geological monitoring, indicators and factors of exogenous geological processes.*

**Романко Р.М., Петраковская О.С.**

**Методы и модели мониторинга земель, подвергающихся воздействию экзогенных геологических процессов**

**Аннотация:** Доказана тесная взаимосвязь систем мониторинга земель и мониторинга геологической среды, что вызывает необходимость совершенствования информационного взаимодействия между ними в рамках реализации государственной системы мониторинга окружающей среды. Определена система показателей ЭГП, которые должны учитываться при осуществлении мониторинга земель. Тесная взаимосвязь систем мониторинга геологической среды и мониторинга земель обуславливает необходимость совершенствования информационного взаимодействия между ними в рамках реализации государственной системы мониторинга окружающей среды на всех уровнях. Сочетание информационных ресурсов этих двух систем на базе одной ГИС-среды позволит значительно сократить расходы, связанные с созданием, поддержкой функционирования и использованием различного рода пользователями их возможностей. Это в свою очередь повысит эффективность управленческих задач по ликвидации, минимизации и предупреждения негативного влияния геологических процессов и явлений как на земельные ресурсы в частности, так и на окружающую среду в целом.

**Ключевые слова:** *мониторинг земель, мониторинг геологической среды, показатели и факторы ЭГП.*

**Хрищук С.Ю., Беспалько Р.І.**  
**Антропогенна перетвореність як критерій оптимізації землекористувань**  
**на регіональному рівні**

*Хрищук Світлана Юріївна, аспірант,  
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна  
Беспалько Руслан Іванович, кандидат біологічних наук, доцент,  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна*

**Анотація.** В статті розглянуто регіональні особливості землекористування території Чернівецької області на регіональному рівні. Досліджено поняття “рівень антропогенної перетвореності” як важливий критерій оптимізації землекористувань. Розраховано ступінь антропогенної перетвореності та його диференціація в межах адміністративних одиниць області.

**Ключові слова:** землекористування, раціональне використання, антропогенна перетвореність, оптимізація землекористування, еколого-ландшафтний підхід.

**Вступ.** Протягом періоду реформування земельні відносини в Україні зазнали значних змін. Зокрема, із диференціацією форм власності на землю збільшилася кількість землеволодінь і землекористувань. Цей процес супроводжується порушенням стабільності існуючої системи землекористувань, надмірним антропогенним навантаженням, що впливає на раціональне та ефективне використання земельних ресурсів, збільшення екологічно нестійких угідь (Булигін С.Ю., Сохнич А.Я., 2005). Все це призвело до загострення проблеми раціонального використання земель, їх охорони і спонукає до оцінки екологічного стану використання земельних ресурсів та пошуків нових наукових підходів щодо вдосконалення критеріїв їх оптимізації. Першочергового значення набуває реалізація основних принципів, закладених у концепції сталого розвитку, проголошених у 1992 році на конференції щодо навколишнього середовища та розвитку Ріо-де-Жанейро. Одним із завдань стратегії сталого розвитку є оптимізація використання земельних ресурсів з врахуванням еколого-безпечного землекористування. Саме тому без перебільшення можна зазначити, що проблема сучасного використання земельних ресурсів – глобальна [5, 6], оскільки більшість екосистем є антропогенно зміненими.

**Аналіз останніх досліджень.** Під антропогенною перетвореністю екосистем розуміють змінність її структурних та динамічних особливостей в результаті функціонального використання [1, 2]. Проблематика антропогенної перетвореності території – тема, яка охоплює дослідження в багатьох галузях знань. Методичні аспекти дослідження антропогенної перетвореності, а саме стійкість геосистем до антропогенних навантажень, розкрито у працях відомих вчених-географів П. Г. Шищенка, М. Д. Гродзинського. Еколого-географічний аспект згаданої тематики вивчався такими науковцями як Л.П. Царик, З.М. Герасимів та ін.

Питання необхідності вивчення сучасного рівня антропогенного навантаження для потреб оптимізації землекористування висвітлено у наукових працях Ю.Г. Гуцуляка, А.М. Третяка, О.П. Канаша, А.Г. Мартина та ін.

Значним внеском щодо питання зменшення рівня антропогенізації екосистем шляхом розширення об'єктів екологічної мережі (зокрема об'єктів природозаповідного фонду) є наукові праці вчених-екологів – В.Д. Солодкого, В.К. Сівака та ін.

Вивчення проблемних питань екобезпеки природних та антропогенних геосистем розглянуто у працях Приходька М.М., а також у працях зарубіжних вчених – Н.Ф. Реймерса, Ю.Д.Одума.

**Завдання досліджень.** Метою даного дослідження є розробка теоретичних та практичних засад удосконалення критеріїв оптимізації землекористувань з врахуванням рівня антропогенного навантаження на регіональному рівні.

Відповідно до поставленої мети сформульовано наступні завдання:

1. з'ясувати сутність сучасної системи землекористування;
2. проаналізувати сучасний рівень антропогенного навантаження на землекористування на регіональному рівні;
3. обґрунтувати напрями використання даних щодо антропогенного навантаження для оптимізації землекористувань.

**Матеріали та методи досліджень.** На початку 2011 року набрав чинності Закон України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» (№2818-17). Згідно з цим законом антропогенне і техногенне навантаження на навколишнє природне середовище в Україні у кілька разів перевищує відповідні показники у розвинутих країнах світу [3]. Загалом стан земельних ресурсів України оцінюють як близький до критичного. За період проведення земельної реформи значна кількість проблем у сфері раціонального використання земель залишається нерозв'язаними. Сучасна система землекористувань (рис. 1) характеризується:

- різноманіттям форм власності;
- різноманіттям цільового використання;
- динамічністю розвитку (зміна складу угідь, об'єктів господарювання – екологічний та соціальний аспекти);
- отриманням економічного прибутку в процесі використання.

Нераціональне землекористування призводить до прояву таких небезпечних деградаційних процесів як ерозія, дефляція, зниження родючості ґрунтів тощо. З огляду на це порушуються закони екологобезпечного природокористування. Зростаюче антропогенне навантаження негативно впливає на стійкий розвиток землекористування, що є причиною зменшення продуктивності земельних угідь. В зазначеному аспекті важливим елементом аналізу сучасного використання зе-

мельних ресурсів певної території є визначення її антропогенної перетвореності на основі співвідношень земель різного функціонального використання в загальній структурі земельного фонду регіону.



Рис. 1. Сучасна система землекористування

Оцінка антропогенної перетвореності природних систем території є однією з найважливіших складових під час розробки заходів із системного екологічного, землевпорядного управління регіоном, екологічної політики й оптимізації землекористування. Аналіз регіональних закономірностей антропогенної перетвореності територій в межах області дозволяє оцінити ступінь напруженості екологічної ситуації (згодом це дасть можливість розробити відповідні заходи щодо її покращення).

На сьогодні існують різні підходи до критеріїв та методів оцінки антропогенного навантаження і трансформації природних територіальних комплексів. Для розрахунку коефіцієнта антропогенної перетвореності (формула 1) було використано інтегральний показник – регіональний індекс антропогенної перетвореності (трансформації) природних систем К.Г. Гофмана, уточнений в працях П.Г. Шищенка [7]:

$$Kan = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i \times p_i \times a_i)}{100}, \text{ де (1)}$$

$Kan$  – коефіцієнт антропогенної трансформації;  $r$  – ранг антропогенної перетвореності території певним видом природокористування;  $p$  – площа рангу (у %);  $a$  – індекс глибини перетвореності агроландшафтів;  $n$  – кількість видів в межах контуру регіону.

В даній методиці ділення на 100 використовується для зручності користування значеннями коефіцієнтів, що змінюються в межах  $0 < Kan < 10$ . Кожному із видів землекористування присвоюється ранг антропогенної перетвореності та індекс глибини перетвореності (табл.1).

Ранги та індекси глибини перетвореності природних систем різними видами природокористування. При розрахунках індексу глибини перетвореності ландшафтів експертним шляхом визначається "вага" кожного із видів природокористування в сумарній їх перетвореності. Для визначення площ рангів природокористування використовуються показники структури земельного фонду конкретної території, структури землекористування [7].

Розрахований коефіцієнт антропогенної перетвореності змінюється в межах від 0 до 10 і характеризує закономірності: чим більша площа виду землекористування та вищий індекс глибини перетвореності ландшафту, тим вищий ступінь змін господарською діяльністю ландшафтного регіону [7]. Враховуючи

значний діапазон коливань  $Kan$ , пропонується п'ятиступенева шкала його інтерпретації (табл.2), за змістом якої проводиться оцінка екологічного стану ландшафту, а також класифікація еколого-господарського стану території.

Таблиця 1. Ранги та індекси глибини перетвореності природних систем різними видами землекористування

№ п/п	Види землекористування	Ранг антропогенної перетвореності	Індекс глибини перетворення
1	природні заповідні території	1	1,00
2	ліси	2	1,05
3	болота та заболочені території	3	1,10
4	луки	4	1,15
5	сади, виноградники	5	1,20
6	орні землі	6	1,25
7	сільська забудова	7	1,30
8	міська забудова	8	1,35
9	водосховища, канали	9	1,40
10	землі промислового використання	10	1,50

Таблиця 2. Шкала антропогенного перетворення ландшафту

Значення коефіцієнта антропогенно-техногенного перетворення $K_{an}$	Категорія антропогенно-техногенного перетворення ландшафту
2,00...3,80	слабко перетворена територія
3,81...5,30	перетворена
5,31...6,50	середньо перетворена
6,51...7,40	сильно перетворені
7,41...8,00	надмірно перетворені

**Результати та їх обговорення.** Аналізуючи нормативно-законодавчі документи, матеріали наукових праць за обраною тематикою, об'єктом даного дослідження обрано землекористування в межах Чернівецької області. Предметом наукового дослідження є рівень антропогенної перетвореності в межах адміністративних районів Чернівецької області.

Чернівецька область займає територію Прут-Дністровського межиріччя, передгірської частини, що розташована між Карпатами та рікою Прут і гірської, яка охоплює Буковинські Карпати. За характером земельних і кліматичних ресурсів територія Чернівецької області є сприятливою для розвитку різних галузей сільськогосподарського виробництва.

Земельний фонд Чернівецької області станом на 01.01.2013р. складає 809,6 тис. км<sup>2</sup> [4], що складає 1,3% площі території України. На території області (із пересічним значенням антропогенної перетвореності 5,21) спостерігаються суттєві територіальні відміни у величинах зазначеного показника. Розрахунки доводять таку закономірність: чим більша площа виду землекористування та вищий індекс глибини перетвореності території, тим більшою мірою антропогенно перетворений регіон. Найнижчий рівень антропогенної перетвореності притаманний для території адміністративного району в зоні Українських Карпат. Найменше значення даного показника у Путильському (3,09) районі. До другої групи за антропогенною перетвореністю віднесено Вижицький (3,94) та Сторожинецький (4,39) та Глибоцький (4,90) райони. Близькі до пересічного значення показника в Хотин-

ському (5,59), Герцаївському (5,87), Сокирянському (5,89), Заставнівському (6,14) та Кіцманському (6,22) районах. Висока сільськогосподарська освоєність спостерігається в адміністративних одиницях розташованих у межах Покутсько-Бесарабської височини: Новоселицький (6,52) та Кельменецький (6,56) райони. Найвищим показник антропогенної перетвореності є в м. Чернівці (8,00).

Частка сільськогосподарського природокористування в антропогенній перетвореності є найвищою у

Новоселицькому (90,2 %); високою у Кіцманському, Заставнівському, Хотинському, Кельменецькому, Сокирянському, Герцаївському та Глибоцькому районах (70-90%); дещо меншою у Сторожинецькому, Вижницькому (близько 60%) та Путильському районах (50%).

Виконані розрахунки в розрізі адміністративних районів дали можливість виділити наступні групи територій за рівнем антропогенної перетвореності (табл. 3):

Таблиця 3.

**Групування територій Чернівецької області за рівнем антропогенної перетвореності**

№ п/п	Назва адміністративно-територіальних одиниць	$K_{an}$	Група за рівнем перетвореності	Рівень антропогенної перетвореності території	Коливання $K_{an}$	Питома вага антропогенних територій в землекористуванні області, %
1	Путильський	3,09	I	слабо перетворені	від 0 до 3,80	10,92
2	Вижницький	3,94	II	перетворені	від 3,81 до 5,30	27,65
3	Сторожинецький	4,39				
4	Глибоцький	4,90	III	середньо перетворені	від 5,31 до 6,50	42,14
5	Хотинський	5,59				
6	Герцаївський	5,87				
7	Сокирянський	5,89				
8	Заставнівський	6,14	IV	сильно перетворені	від 6,51 до 7,40	17,40
9	Кіцманський	6,22				
10	Новоселиця	6,52				
11	Кельменецький	6,56	V	надмірно перетворені	від 7,41 до 10,00	1,89
12	м. Чернівці	8,00				
	<b>Всього по</b>	<b>5,21</b>		<b>перетворені</b>		<b>100</b>

Аналізуючи дані таблиці 3 слід зазначити, що вагомий відсоток середньо перетворених землекористувачів (42,14 %) знаходяться в межах Хотинського, Герцаївського, Сокирянського, Заставнівського, Кіцманського адміністративних районів. Загалом територія Чернівецької області характеризується значним рівнем антропогенного навантаження (61,41 %).

**Висновки.** На основі вище зазначених завдань та дослідження стану антропогенного навантаження на землекористування можна сформулювати наступні висновки:

1. сучасна система землекористування повинна включати вивчення її за певними напрямками, а саме: екологічний, економічний та соціальний; змістовне наповнення кожного з напрямків передбачає створення ефективного землекористування в наступній послідовності: екологічно безпечно землекористування – економічно доцільне – соціально значуще;

2. територія Чернівецької області є регіоном з багатим природо-ресурсним потенціалом, однак природні екосистеми тут тісно переплітаються з антропогенни-

ми; така ситуація склалася як наслідок екологічно необгрунтованого освоєння території для ведення виробничо-господарської діяльності, що зумовило порушення співвідношення між землями лісового фонду, сільськогосподарського призначення, житлової забудови;

3. структура землекористування в межах досліджуваної території та рівень антропогенної перетвореності значно диференційовані; це потребує подальшого дослідження з виявлення факторів такої ситуації і обґрунтування заходів з оптимізації землекористування; знаючи кількісні характеристики антропогенної перетвореності екосистем регіону дослідження, у подальшому можна на її основі провести районування території за ступенем гостроти екологічної ситуації, за взаємозв'язком між ґрунтовим покривом території та величиною антропогенного навантаження; вище зазначене дозволить розробити рекомендації щодо оптимізації землекористувань на основах еколого-ландшафтної організації території.

**ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

1. Гродзинський М.Д. Основи ландшафтної екології: підручник / М.Д. Гродзинський. – К.: Либідь, 1993. – 224 с.  
Grodzinskiy M.D. *Osnovy landshaftnoye ekologiyе [Bases of landscape ecology]: pidruchnyk / M.D. Grodzinskiy. – Lybit', 1993 – 224 s.*
2. Гродзинський М.Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень / М.Д. Гродзинський. – К.: Лікей, 1995. – 233 с.  
Grodzinskiy M.D. *Stiykist' geosystem do antropogennyh navantazhen' [Firmness of geosystems is to the anthropogenic loading] / M.D. Grodzinskiy. – Likey, 1995 – 233 s.*
3. Закон України "Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року": [Електронний ресурс]. – Режим доступу: zakon.rada.gov.ua/go/2818-17  
*Zakon Ukrainy " Pro osnovny zasady (strategiyu) derzhavnoy ekologichnoy polityky Ukrainy na period do 2020 roku" ["About basic principles(strategy) of public ecological policy of Ukraine on a period 2020 to] / [Electronniy resurs] - Rezchym dostupyu: zakon.rada.gov.ua/go/2818-17.*
4. Розподіл земель між власниками землі та землекористувачами по формах власності (станом на 01.01.2013 рік): форма 6-зем Державної статистичної

звітності / Головне управління Держземагенства в Чернівецькій області. - Чернівці, 2013.

*Rozpodil zemel' za zemlevlasnykamy ta zemlekorystuvachamy po formah vlasnosti (staom na 2013 rik) [Distribution of earth is between the proprietors of earth and землекористувачами on the patterns of ownership (by the state on 01.01.2013)]: forma 6-zem Derzhavnoy statystychnoy zvitnosti / Golovne upravlinnya Derzhzemagenstva v Chernivetskiy oblasti. - Chernivtsi, 2013.*

5. Приходько М.М. Екобезпека природних та антропогенних геосистем: проблеми, цілі, пріоритети // Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту. Серія: Географія. Спец. випуск: стале природокористування: підходи, проблеми та перспективи. - 2010. - № 1. - Вип. 27. - С. 96-100.

*Pryhod'ko M.M. Ekobezpeka pryrodnyh ta antropogenykh geosystem; problemy, tsili, prioriteti [Ecological safety of natural and anthropogenic geosystems : problems, aims,*

*advantages] / naukovi zapysky Ternopil'skogo national'nogo pedagogichnogo universyety. - Seriya; Geografiya. - 2010. - № 1. - Vypusk 27. - S. 96-100.*

6. Приходько П.П. Стан земель в регіоні Українських Карпат та їх екологічна безпека // Укр. географ. журнал. - 2012. - №2. - С. 43-48.

*Pryhod'ko M.M. Stan zemel' v regiony Ukrayinskih Karpat ta yikh ekologichna bezpeka [State of earth in the region of Ukrainian Carpathians and them ecological safety] / ukrain-skiy geografichnyy zchurnal. - 2012. - № 2. - S. 43-48.*

7. Шищенко П.Г. Принципы и методы ландшафтного анализа в региональном проектировании. - К.: Фитосоциоцентр, 1999. - 284 с.

*Shyschenko P.G. Pryntsypy i metody landshftnogo analiza v regional'nom proektirovaniyi [Principles and methods of landscape analysis are in the regional planning] -K.; Phitosotsiotsentr, 1999. - 284 s.*

**Khryschuk S.Yu., Bepal'ko R.I.**

#### **Anthropogenic transformation as a criterion of optimization of land-tenures at regional level**

**Abstract.** In the article the regional features of land-tenure of territory of the Chernivtsi area are considered at regional level. A concept "level of anthropogenic transformation" as important criterion of optimization of land-tenures is investigational. It is expected degree of anthropogenic transformation and her differentiation within the limits of administrative units of area. As a result of researches next conformity to law is educed such conformity to law: than greater area of type of land-tenure and higher index of depth of transformation territory, that in a greater degree anthropogenic regenerate region. The most low level of anthropogenic transformation is inherent for territories of administrative district in the zone of Ukrainian Carpathians. The structure of land-tenure within the limits of the investigated territory and level of anthropogenic transformation are considerably differentiated; it needs further research from the exposure of factors of such situation and by the ground of events on optimization of land-tenure. The natural ecosystems of the investigated region closely interlace with anthropogenic; such situation was folded as a result ecologically groundless mastering of territory for the conduct of industrial and economic activity, that stipulated violation of betweenness by earth of forest fund, agricultural setting, housing building.

**Keywords:** land-tenure, rational use, anthropogenic transformation, optimization of land-tenure, ecologically landscape approach.

**Хрыщук С.Ю., Беспалько Р.И.**

#### **Антропогенная преобразованность как критерий оптимизации землепользований на региональном уровне**

**Аннотация.** В статье рассмотрены региональные особенности землепользования территории Черновицкой области на региональном уровне. Исследовано понятие "уровень антропогенной преобразованности", как важный критерий оптимизации землепользований. Рассчитано степень антропогенной преобразованности и ее дифференциация в пределах административных единиц области. В результате проведенных исследований выявлена следующая закономерность: чем больше площадь вида землепользования и выше индекс глубины преобразованности территории, тем выше степени антропогенно преобразован регион.

**Ключевые слова:** землепользование, рациональное использование, антропогенная преобразованность, оптимизация землепользования, эколого-ландшафтный подход.

Чикун П.А.

## Физическая и формальная постановка задач оперативного управления соледобывающим предприятием

Чикун Павел Александрович,

старший преподаватель кафедры электроники и компьютерных технологий систем управления  
Учебно-научный профессионально-педагогический институт, г. Артемовск, Украина

**Аннотация.** Поставлены и формализованы в виде функционалов цели задачи определения оптимальных вариантов валового выпуска обобщенных видов продукции на сезон (стратегическое планирование) и на месяц сезона (тактическое планирование). Этим целям подчинены задачи определения производственной программы перерабатывающих комплексов рудников предприятия, с учетом возмущений, возникающих из-за текущих колебаний конъюнктуры рынка и износа оборудования, что позволяет принимать решения, сопровождающиеся минимальным затратным механизмом. Эти функционалы отличаются от существующих предметной областью и рекуррентной процедурой адаптации, что позволяет производить расчет показателей производственной программы предприятия при сезонном оперативном управлении. Полученные результаты позволяют проектировать СППР перерабатывающих и горно-рудных предприятий двухуровневой структуры, что способствует расширению спектра применения распределенных систем управления.

**Ключевые слова:** производство и переработка каменной соли, портфель заказов, производственные затраты, поддержка принятия решений в управлении, оперативное управление.

**Введение.** В качестве объекта управления в работе выступает государственное предприятие (ГП) «Артемсоль», занимающееся добычей каменной соли и переработкой ее в пищевую поваренную соль. Предприятие состоит из заводу управления и четырех рудников. В функции заводу управления входит формирование портфеля заказов на год, координация, планирование и оперативное управление процессами добычи и переработки соли. Каждый рудник состоит из шахты, осуществляющей подземную добычу соли и поверхностного перерабатывающего комплекса.

Структурно в портфель заказов входят три вида: государственный заказ, заказы по длительным договорам и рыночные заказы, возникающие при маркетинговой деятельности. На основании проекта портфеля заказов, службы сбыта и маркетинга разрабатывают производственную программу для предприятия в целом и для каждого рудника в отдельности. В связи с различным типом оборудования перерабатывающих комплексов и их компоновкой, технологическая себестоимость выпуска одинакового типа продукции различается. Кроме этого целый ряд позиций портфеля заказов носит сезонный характер. Выделяют девять обобщенных видов готовой продукции – соль молотая неупакованная, с противослеживающей добавкой, йодированная, сеяная, фасованная, затаренная в мешки, затаренная в мягкие контейнеры, дробленая и крупнокусковая.

Для принятия решений по оперативному управлению необходимо разработать инструментарий принятия решений по оперативному управлению предприятием на сезонный период, который позволит осуществлять прогноз на малый, наперед заданный интервал времени.

В соответствии с вышеизложенным, актуальной является постановка задач оперативного управления выпуском обобщенных видов продукции на сезон и месяц сезона, в подчинении двум критериям цели: получению максимального дохода предприятия от производства продукции и сохранения минимального затратного механизма выпуска объемов продукции каждого рудника.

**Обзор публикаций по теме.** Анализ предприятия, как объекта управления, осуществлен в работе [1]. Модели взаимосвязей ассортимента продукции ГП «Артемсоль» выполнены в работе [2]. Основные положения моделирования производственных показателей предприятия рассмотрены в работе [3].

**Целью статьи** является физическая и формальная постановка задачи оперативного управления предприятием на сезон, целью которого является получение наибольшего дохода при установленных ценах на продукцию с сохранением минимального затратного механизма производства.

**Модель прогноза деятельности предприятия.** Статистические данные [1] показывают, что наиболее загруженным является портфель заказов осенне-зимнего периода, когда осуществляются муниципальные закупки соли. Весенне-летний период характеризуется заказами на соль, используемую при консервации продуктов питания. Модель прогноза должна включать в себя показатели деятельности ГП «Артемсоль» и входящих в него подразделений в весенне-летний и осенне-зимний периоды. Кроме того, модель должна учитывать показатели прогнозируемого выпуска обобщенных видов продукции.

Математическая модель, позволяющая осуществлять прогноз технико-экономической деятельности предприятия, включает в себя два вида уравнений. Первый вид уравнений прогноза характеризует валовый выпуск продукции ГП «Артемсоль» (1), второй вид характеризует выпуск обобщенных видов продукции каждого рудника.

$$G = f(G_i(S_i)), \quad (1)$$

$$\forall S_i \exists G_i(S_i) = f(G_i(A_j)), \quad (2)$$

где  $G_i(S_i), i = \overline{1,4}$  – валовый выпуск продукции рудником  $S_i$ ,  $G_i(A_j), j = \overline{1 \div 9}$  – объем обобщенного вида продукции  $A_j$ , произведенной на данном руднике.

Функциональное представление моделей в виде (1-2) преобразуется в уравнение прогноза с помощью математического аппарата прикладного регрессионного анализа, реализуемого по алгоритму (3):

$$\bar{B} = (\bar{U}^T \cdot \bar{U})^{-1} \cdot U^T \cdot \bar{Y}, \quad (3)$$

где  $B$  – вектор коэффициентов модели  $B = (b_0, b_1, \dots, b_m)$ ,  $m$  – количество членов уравнения модели,  $\bar{U}$  – информационная матрица, сформированная из статистических данных, характеризующих значение факторов – членов уравнений,  $\bar{U}^T$  – транспонированная информационная матрица,  $\bar{Y}$  – вектор статистических значений выходных показателей – функции отклика.

Алгоритм компьютерного моделирования, реализующий уравнение прогноза(3), предусматривает, кроме расчета вектора коэффициентов модели  $\bar{B}$ , получение оценок значимости  $t_j, j = \overline{1 \div m}$ , которые характеризуют степень влияния каждой входной переменной (факторы модели) на выходную переменную – отклик модели.

$$I_1^1 = F_1^1(D^1(A_j)) \rightarrow \max_{g^1(A_j)}, \quad (4)$$

$$I_1^1 = 0.27U^1(A_1) \cdot g^1(A_1) + 0.1U^1(A_2) \cdot g^1(A_2) + 0.0022U^1(A_3) \cdot g^1(A_3) + 0.005U^1(A_4) \cdot g^1(A_4) + 0.167U^1(A_5) \cdot g^1(A_5) + 0.376U^1(A_6) \cdot g^1(A_6) + 0.07U^1(A_7) \cdot g^1(A_7) + 0.106U^1(A_8) \cdot g^1(A_8) + 0.00084U^1(A_9) \cdot g^1(A_9) \rightarrow \max_{g^1(A_j)}. \quad (5)$$

Решением этой задачи будет вектор  $\bar{g}^{-1*}(A_j)$ , доставляющий максимум – оптимальное решение на осенне-зимний период,

$$\bar{g}^{-1*}(A_j) = \{g^{1*}(A_1), g^{1*}(A_2), g^{1*}(A_3), g^{1*}(A_4), g^{1*}(A_5), g^{1*}(A_6), g^{1*}(A_7), g^{1*}(A_8), g^{1*}(A_9)\}. \quad (6)$$

$$I_1^2 = F_1^2(D^2(A_j)) \rightarrow \max_{g^2(A_j)}, \quad (7)$$

$$I_1^2 = 0.14U^2(A_1) \cdot g^2(A_1) + 0.046U^2(A_2) \cdot g^2(A_2) + 0.0012U^2(A_3) \cdot g^2(A_3) + 0.0026U^2(A_4) \cdot g^2(A_4) + 0.185U^2(A_5) \cdot g^2(A_5) + 0.507U^2(A_6) \cdot g^2(A_6) + 0.111U^2(A_7) \cdot g^2(A_7) + 0.0055U^2(A_8) \cdot g^2(A_8) + 0.0032U^2(A_9) \cdot g^2(A_9) \rightarrow \max_{g^2(A_j)}. \quad (7)$$

Оптимальным решением этой задачи будет вектор:

$$\bar{g}^{-2*}(A_j) = \{g^{2*}(A_1), g^{2*}(A_2), g^{2*}(A_3), g^{2*}(A_4), g^{2*}(A_5), g^{2*}(A_6), g^{2*}(A_7), g^{2*}(A_8), g^{2*}(A_9)\}.$$

Следует отметить, что, так как в обобщенный вид продукции входят виды ассортимента готовой продукции  $A_j$ , каждый из которых имеет свою цену, цена обобщенного вида продукции  $C(A_j)$  рассчитывается через вариационный ряд  $C(A_j) = \sum_{i=1}^4 C(A_{ij}) \cdot d(A_{ij})$ , где  $i$  – номер рудника,  $d(A_{ij}) = \frac{g(A_{ij})}{g(A_j)}$ .

$$I_2^1 = F_2^1(Z_i, G_{Bi}^1) = \sum_{i=1}^4 Z_i^1 \cdot G_{Bi}^1 \rightarrow \min_{G_{Bi}^1}, \quad (8)$$

$$I_2^1 = 32.564G_B^1(S_1) + 36.986G_B^1(S_2) + 33.915G_B^1(S_3) + 31.77G_B^1(S_4) - 4.65 \cdot 10^{-3}G_B^1(S_1) \cdot G_B^1(S_3) - 2.11 \cdot 10^{-3}G_B^1(S_2) \cdot G_B^1(S_4) - 379863 \rightarrow \min_{G_B^1}, \quad (9)$$

где  $Z_i^1(S_i) = \sum_{j=1}^9 W_{ij}^1(A_j) \cdot SS_{ij}$ ,  $W_{ij}^1 = \frac{G_{Bi}(A_j)}{\sum_{j=1}^9 G_{Bi}(A_j)}$ ,  $i = \overline{1 \div 4}$  – номер рудника.

$$I_2^2 = F_2^2(Z_i, G_{Bi}^2) \rightarrow \min_{G_{Bi}^2}, \quad (10)$$

Кроме этого, осуществляется расчет коэффициентов, характеризующих ошибку аппроксимации статистических данных расчетным уравнением модели. Наиболее приемлемой из этих оценок является дисперсия остаточная масштабированная  $S_{1z}^2 > 0$ .

**Постановка задач стратегического планирования.** Как следует из анализа характеристик ОУ, постановка задач оперативного управления подчинена двум аспектам. Во-первых, необходимо определить валовые объемы обобщенных видов продукции, выпускаемой ГП за каждый сезон. Соответственно сформулирована физическая постановка этой задачи: определить валовый объем продукции обобщенных видов, производимых ГП “Артемсоль”, который позволит предприятию получить наибольший доход при установленных ценах на продукцию.

Формальная постановка этой задачи на осенне-зимний период выполнена в (4)-(5), а на весенне-летний период в (6)-(7).

Второй аспект задачи оперативного управления заключается в определении заданий на валовый выпуск продукции каждого из четырех рудников. Физическая постановка этой задачи: определить объемы производственных заданий перерабатывающих комплексов рудников таким образом, чтобы затратный механизм производства ГП “Артемсоль” при стратегическом планировании на сезон был минимальным.

Формальная постановка этой задачи на осенне-зимний период выполнена в (8)-(9), а на весенне-летний период в (10)-(11).

$$I_2^2 = 52.4G_B^2(S_1) + 39.8G_B^2(S_2) + 43.96G_B^2(S_3) + 40.61G_B^2(S_4) - 0.0097G_B^2(S_1) \cdot G_B^2(S_4) - 0.0156G_B^2(S_2) \cdot G_B^2(S_3) - 76212 \rightarrow \min_{G_B^2} \quad (11)$$

Для функционалов (8) и (10)  $Z_i^1(S_i), Z_i^2(S_i)$  – общие затраты перерабатывающего комплекса рудника  $S_i$  на производство  $G_B$  продукции обобщенного вида;  $W_{ij}^1, W_{ij}^2$  – технологическая себестоимость производства продукции вида  $A_j$  на руднике  $A_j$ .

Результатом решения оптимизационных задач (9) и (11) являются значения плановых заданий по валовому выпуску продукции каждого рудника на соответствующий сезон

$\bar{G}_B^* = \{G_B^*(S_1), G_B^*(S_2), G_B^*(S_3), G_B^*(S_4)\}$ . Численные решения этих задач определяют стратегический план деятельности ГП “Артемсоль” на сезон, подчиненный минимальному затратному механизму производства.

**Постановка задач тактического планирования.** Аналогичны постановка и формализация задач тактического (на месяц сезона) планирования на осенне-зимний (12)-(13) и на весенне-летний (14)-(15) периоды.

$$I_3^1 = F_3^1(\mathcal{D}_M^1(A_j)) \rightarrow \max_{g_M^1(A_j)} \quad (12)$$

$$I_3^1 = b_{1M}\Pi^1(A_1) \cdot g_M^1(A_1) + b_{2M}\Pi^1(A_2) \cdot g_M^1(A_2) + b_{3M}\Pi^1(A_3) \cdot g_M^1(A_3) + b_{4M}\Pi^1(A_4) \cdot g_M^1(A_4) + b_{5M}\Pi^1(A_5) \cdot g_M^1(A_5) + b_{6M}\Pi^1(A_6) \cdot g_M^1(A_6) + b_{7M}\Pi^1(A_7) \cdot g_M^1(A_7) + b_{8M}\Pi^1(A_8) \cdot g_M^1(A_8) + b_{9M}\Pi^1(A_9) \cdot g_M^1(A_9) + b_{0M} \rightarrow \max_{g_M^1(A_j)} \quad (13)$$

где  $g_M^1(A_j)$  – объем произведенной продукции  $A_j$ ,  $\Pi^1(A_j)$  – сезонная цена.

Решение задачи (43) тактического планирования производства на каждый месяц осенне-зимнего периода представлено в виде вектора

$$\bar{g}^{1*}(A_j) = \{g_M^{1*}(A_1), g_M^{1*}(A_2), g_M^{1*}(A_3), g_M^{1*}(A_4), g_M^{1*}(A_5), g_M^{1*}(A_6), g_M^{1*}(A_7), g_M^{1*}(A_8), g_M^{1*}(A_9)\} \cdot I_3^2 = F_3^2(\mathcal{D}_M^2(A_j)) \rightarrow \max_{g_M^2(A_j)} \quad (14)$$

$$I_3^2 = a_{1M}\Pi^2(A_1) \cdot g_M^2(A_1) + a_{2M}\Pi^2(A_2) \cdot g_M^2(A_2) + a_{3M}\Pi^2(A_3) \cdot g_M^2(A_3) + a_{4M}\Pi^2(A_4) \cdot g_M^2(A_4) + a_{5M}\Pi^2(A_5) \cdot g_M^2(A_5) + a_{6M}\Pi^2(A_6) \cdot g_M^2(A_6) + a_{7M}\Pi^2(A_7) \cdot g_M^2(A_7) + a_{8M}\Pi^2(A_8) \cdot g_M^2(A_8) + a_{9M}\Pi^2(A_9) \cdot g_M^2(A_9) + a_{0M} \rightarrow \max_{g_M^2(A_j)} \quad (15)$$

Также для решения задач оперативного управления рудниками, были поставлены и формализованы функционалы цели. Соответствующая физическая постановка имеет следующий вид: определить объемы производственных заданий на месяцы сезона таким

образом, чтобы затратный механизм производства был минимальным. Формальная постановка задачи на месяц осенне-зимнего периода выполнена в (16)-(17), а на месяц весенне-летнего периода в (18)-(19).

$$I_4^1 = F_4^1(Z_M^1, G_M^1) \rightarrow \min_{G_M^1} \quad (16)$$

$$I_4^1 = 130.95G_{1M}^1(S_1) + 139.65G_{2M}^1(S_2) + 134.66G_{3M}^1(S_3) + 131.1G_{4M}^1(S_4) - 0.002678G_{1M}^1(S_1) \cdot G_{4M}^1(S_4) - 0.001199G_{2M}^1(S_2) \cdot G_{3M}^1(S_3) + 11380 \rightarrow \min_{G_M^1} \quad (17)$$

$$I_4^2 = F_4^2(Z_M^2, G_M^2) \rightarrow \min_{G_M^2} \quad (18)$$

$$I_4^2 = 156.23G_{1M}^2(S_1) + 168.1G_{2M}^2(S_2) + 170.3G_{3M}^2(S_3) + 169.45G_{4M}^2(S_4) - 0.43G_{3M}^2(S_3) \cdot G_{4M}^2(S_4) - 0.019G_{1M}^2(S_1) \cdot G_{2M}^2(S_2) + 14965 \rightarrow \min_{G_M^2} \quad (19)$$

**Процедура адаптации параметров модели.** В процессе эксплуатации СППР необходимо ежемесячно производить адаптацию параметров моделей и коэффициентов функционалов. Для этой цели предназначен рекуррентный метод наименьших квадратов. Значения коэффициентов функционалов (12) и (14) определяются в режиме обучения, согласно процеду-

ре метода наименьших квадратов (МНК), как (3). Это связано с существующей тенденцией изменения цен на продукцию и нестабильностью портфеля заказов. В обозначении матрицы входов  $U_k$  показывает номер последнего наблюдения:



$$U_k = \begin{bmatrix} u_0(1) & \dots & u_m(1) \\ \vdots & & \vdots \\ u_0(k) & \dots & u_m(k) \end{bmatrix}, U_{k+1} = \begin{bmatrix} u_0(1) & \dots & u_m(1) \\ \vdots & & \vdots \\ u_0(k) & \dots & u_m(k) \\ u_0(k+1) & \dots & u_m(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_k \\ \dots \\ u'(k+1) \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Здесь  $u'(k+1)$  соответствует новому наблюдению. Определим:

$$[P(k)]^{-1} = U'_k U_k, \quad (21)$$

$$[P(k+1)]^{-1} = U'_{k+1} U_{k+1} = [U'_k : u(k+1)] \begin{bmatrix} U_k \\ \dots \\ u'(k+1) \end{bmatrix}, [P(k+1)]^{-1} = [P(k)]^{-1} + u(k+1)u'(k+1). \quad (22)$$

Отметим, что размер  $P$  не зависит от номера  $k$ . Используя матричные тождества, получим:

$$P(k+1) = P(k) - P(k)u(k+1) \times [u'(k+1)P(k)u(k+1) + 1]^{-1} u'(k+1)P(k) = \\ = P(k) - \gamma(k)P(k)u(k+1)u'(k+1)P(k), \quad (23)$$

где  $\gamma(k) = \{u'(k+1)P(k)u(k+1) + 1\}^{-1}$  является скаляром.

Вводя обозначение  $y'_k = [y(1), \dots, y(k)]$ , находим оценку  $b$ :

$$\hat{b}(k) = P(k)U'_k y_k, \quad (24)$$

$$\hat{b}(k+1) = P(k+1)U'_{k+1} y_{k+1} = P(k+1)[U'_k y_k + u(k+1)y(k+1)]. \quad (25)$$

Подстановка выражения (55) в (57) дает:

$$\hat{b}(k+1) = P(k)U'_k y_k + P(k)u(k+1)\gamma(k)\gamma^{-1}(k)y(k+1) - \\ - P(k)u(k+1)\gamma(k)u'(k+1)P(k)[U'_k y_k + u(k+1)y(k+1)]. \quad (26)$$

Здесь  $\gamma(k)\gamma^{-1}(k) = 1$  введено для упрощения дальнейших выкладок. Используя равенство (56), можно преобразовать (58) к виду:

$$\hat{b}(k+1) = \hat{b}(k) + \gamma(k)P(k)u(k+1) \times \{y(k+1) - u'(k+1)\hat{b}(k)\}, \quad (27)$$

$$\hat{b}(k+1) = \hat{b}(k) + P(k+1)u(k+1) \times \{y(k+1) - u'(k+1)\hat{b}(k)\}. \quad (28)$$

**Научная новизна.** Поставлены и формализованы в виде функционалов цели задачи определения оптимальных вариантов валового выпуска обобщенных видов продукции на сезон (стратегическое планирование) и на месяц сезона (тактическое планирование). Этим целям подчинены задачи определения производственной программы перерабатывающих комплексов рудников предприятия, с учетом возмущений, возникающих из-за текущих колебаний конъюнктуры рынка и износа оборудования, что позволяет принимать решения, сопровождающиеся минимальным за-

тратным механизмом. Эти функционалы отличаются от существующих предметной областью и рекуррентной процедурой адаптации, что позволяет производить расчет показателей производственной программы предприятия при сезонном оперативном управлении.

**Выводы.** Полученные результаты позволяют проектировать СППР перерабатывающих и горно-рудных предприятий двухуровневой структуры, что способствует расширению спектра применения распределенных систем управления.

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Криводубский О.А. Математическая модель планирования производства соли / О.А. Криводубский, П.А. Чикунов // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи.* – 2008. – №2 (29). – С. 107-110.  
*Krivodubski, O.A., Chikunov, P.A. Matematicheskaja model' planirovanija proizvodstva soli [Mathematical model of planning of productions salt] // Naukovyi zbirnyk "Radioelectronic and computer system", №2, 107-110 s.*
2. Криводубский О.А. Логико-формальная модель взаимосвязей ассортимента продукции, выпускаемой ГПО «Артемсоль» / О.А. Криводубский, П.А. Чикунов, А.О. Новиковская // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи.* – 2010. – №4 (45). – С.205-210.  
*Krivodubski, O.A. Chikunov, P.A., Novakovskaya, A.A. Logiko-formal'naja model' vzaimosvjazej assortimenta produkcii, vypuskajemoj GPO "Artemsol" [Logic-formal model of the linkages of the variety of goods, that is manufacturing by SPA Artemsolt] // Naukovyi zbirnyk "Radioelectronic and computer system", №4, 205-210 s.*
3. Чикунов П.А. Функциональные особенности системы подготовки принимаемых решений ГП «Артемсоль» / П.А. Чикунов // *Система обробки інформації.* – 2012. – №3 (101) – С. 107-110.  
*Chikunov, P.A. Funkcional'nye osobennosti sistemy podgotovki prinimaemyh reshenij GP "Artemsol" [Functional features of system of preparation made decision SE Artemsolt] // Naukovyj zbirnyk "Systemy obrobky informacii", №3, 107-110 s.*

**Chikunov P.A. Physical and formal statement of the operative management salt producing enterprise**

**Abstract.** Delivered and formalized in the form functional purpose of the task determine the best options of the gross output of generalized products for the season (strategic planning) and a month of the season (tactical planning). These purposes are subject to the problem of determining the production program processing plant mines enterprises, taking into account the perturbations arising from the current fluctuations in market conditions and the deterioration of the equipment that enables decisions to be accompanied by a minimum costly mechanism. These functionals are different from the existing subject area and recurrent adaptation procedure that allows the calculation of indicators of the production program of the company for seasonal operational management. The results will enable design of DSS processing and mining enterprises two-tier structure, which helps expand the range of applications of distributed control systems.

**Keywords:** *production and processing of miner salt, order book, production costs, decision support in management, operational management.*

Ющик О.В., Гаврыш Б.М.

### Исследование функций передачи модуляции растровых сканирующих устройств записи в направлении быстрого сканирования

Ющик Олег Владимирович, кандидат технических наук, доцент,  
Гаврыш Богдана Михайловна, старший преподаватель,  
Украинская академия печати, г. Львов, Украина

**Аннотация.** В работе рассматриваются актуальные вопросы исследования функционирования растровых сканирующих устройств записи в направлении быстрого сканирования с помощью функций передачи модуляции.

**Ключевые слова:** растровое сканирующее устройство, сканирование, направление быстрого сканирования, функция передачи модуляции.

В растровых сканирующих устройствах (далее РСУ) записи, источник лазерного излучения разворачивается вдоль материала записи (фотопленка, светочувствительная бумага, заряженный фоторецептор или формный материал) вращающимся отклоняющим

устройством (дефлектором), который может быть многогранным, моногранным или гальванометрическим [1–2]. На рис. 1 представлена функциональная блок-схема типичного РСУ записи.



Рис. 1. Функциональная блок-схема РСУ записи

Источником лазерного излучения сканирует материал записи в направлении быстрого сканирования (х-направление), а материал записи перемещается в направлении медленного сканирования (у-направление) перпендикулярно к направлению быстрого сканирования. Допустим, что наша система изображения является линейной и, поэтому, рассмотрим характеристики системы, относительно слабых откликов.

В направлении быстрого сканирования основными ухудшающими эффектами функции передачи модуляции (далее ФПМ) являются [3]: временной отклик цифро-аналогового преобразователя (далее ЦАП) (включая любые блоки усиления); временной отклик модулятора; частотный отклик дефлектора; ошибки перемещения точки; ошибки расположения точки; ошибки фокусирования пикселя; частотный отклик материала записи.

Рассмотрим временной отклик ЦАП. ЦАП может рассматриваться как RC-цепочка, передаточная функция которой может быть представлена, как

$$H(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}, \quad (1)$$

где:  $j = \sqrt{-1}$ , а  $\omega$  – угловая скорость ( $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  – временная частота);  $R$  – сопротивление и  $C$  – емкость эквивалентной цепочки. ФПМ ЦАП будет, в этом случае, амплитудой передаточной функции

$$\Phi_{ПМ_{ЦАП}}(\nu) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi\gamma_1 V_c \nu}{2,2}\right)^2}} \quad (2)$$

где  $\nu$  является пространственной частотой;  $\gamma_1$  является участком временного нарастания ЦАП от 10 до 90% и  $V_c$  является скоростью сканирования. С другой стороны, ФПМ ЦАП может быть аппроксимирована частотной функцией Гаусса

$$\Phi_{ПМ_{ЦАП}}(\nu) = e^{-3(\gamma_1 V_c \nu)^2}, \quad (3)$$

На рис. 2 приведены сравнительные ФПМ ЦАП рассчитанные с использованием двух различных моделей (уравнения 2 и 3).

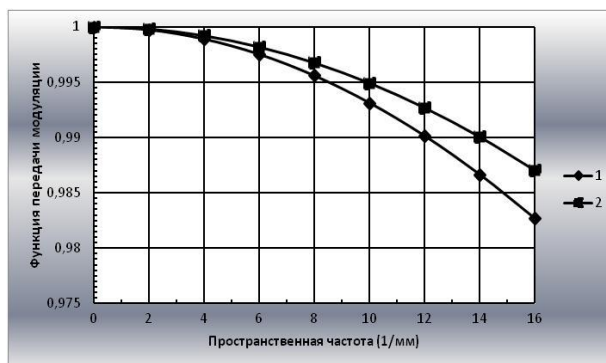


Рис. 2. Функция передачи модуляции цифро-аналогового преобразователя (1 – полученная согласно уравнения (2), 2 – полученная согласно уравнения (3))

Рассмотрим временной отклик модулятора. Предположим, что по отношению к входному источнику сигнала с импульсным откликом, определяемым интенсивностью  $I$  и случайным источником освещения, модулятор работает как линейная инвариантная система [4]. Для гауссового случайного луча светом радиусом  $r_1$ , мы имеем

$$I_{1,вв} = I_0 \cdot e^{-2(V_m \cdot t / r_1)}, \quad (4)$$

где:  $I_0$  – константа,  $V_m$  – быстродействие модулятора,  $t$  – время. ФПМ модулятора, поэтому, является Фурье-преобразованием  $I_{1,вв}$ , которое может быть выражено как

$$\Phi_{ПМ \text{ модулятора}}(\nu) = e^{-3(\gamma_2 V_c \nu)^2}, \quad (5)$$

где  $\gamma_2$  – временной отклик модулятора, выражаемый как

$$\gamma_2 = \pi r_1 / (\sqrt{6} \cdot V_m), \quad (6)$$

На рис. 3 представлена ФПМ типичного модулятора с 53-нсек временным откликом для двух различных значений  $V_c$ . Как и ожидалось, с увеличением скорости сканирования, ФПМ модулятора уменьшается.

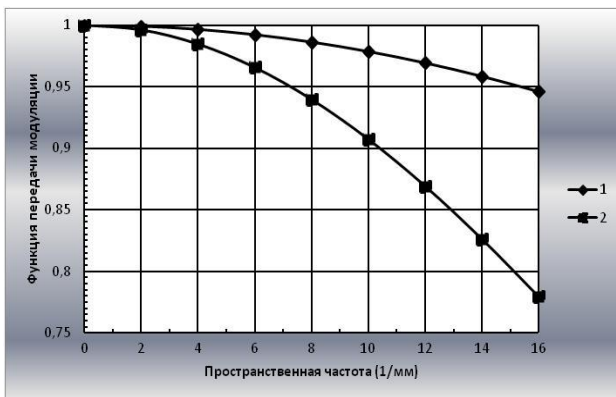


Рис. 3. Функция передачи модуляции модулятора

Рассмотрим частотный отклик дефлектора. В сканере с бегущим лучом и дообъективной оптикой, сканирующая точка, разворачиваемая вдоль материала записи, вначале преломляется апертурой дефлектора, а затем фокусируется в дифракционно ограниченный профиль интенсивности. Интенсивность сканирующей точки модулируется входными сигналами. Используя некогерентный анализ изображений [5, 6], ФПМ дефлектора может быть представлена, как автокорреляционная функция профиля амплитуды света появляющегося после дефлектора  $A_{2,вых}$

$$\Phi_{ПМ \text{ дефлектора}}(\nu) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} A_{2,вых} \left( \eta - \frac{\lambda F \nu}{2} \right) \cdot A_{2,вых} \left( \eta + \frac{\lambda F \nu}{2} \right) d\eta}{\int_{-\infty}^{+\infty} |A_{2,вых}(\eta)|^2 d\eta}, \quad (7)$$

где:  $\eta$  – пространственная координата в дефлекторе,  $\lambda$  – длина волны света и  $F$  – эквивалентное фокусное расстояние фокусирующей оптики.

Для прямоугольной апертуры шириной  $W$  (как у полигонального зеркала), освещаемой гауссовским нормальным лучом радиусом  $r_2$ , мы будем иметь

$$A_{2,вых}(\eta) = A_0 \cdot e^{-\left(\frac{\eta}{r_2}\right)^2} \cdot \text{rect}\left(\frac{\eta}{W}\right), \quad (8)$$

где:  $A_0$  – константа, а  $\text{rect}(\cdot)$  является прямоугольной функцией.

Подставляя уравнение (8) в уравнение (7) и выполнив интегрирование, мы получим

$$\Phi_{ПМ \text{ дефлектора}}(\nu) = \frac{e^{-\left(\sqrt{2} T_r \nu / v_{c0}\right)^2} \cdot \text{erf}\left[\sqrt{2} T_r (1 - \nu / v_{c0})\right]}{\text{erf}\left(\sqrt{2} T_r\right)}, \quad (9)$$

где:  $T_r$  – отношение ширины апертуры к диаметру луча

$$T_r = \frac{W}{2r_2}, \quad (10)$$

$v_{c0}$  – предельная частота, определяемая как пространственная частота до или после которой ФПМ равна нулю

$$v_{c0} = \frac{W}{2r_2}, \quad (11)$$

$\text{erf}(\cdot)$  является функцией ошибок.

Рассмотрим граничные случаи уравнения (9).

При нулевой частоте, ФПМ единственна.

При предельной частоте ( $v_{c0}$ ), ФПМ дефлектора равна нулю.

Для  $T_r = 1$  (перекрываемая апертура), ФПМ дефлектора может быть аппроксимирована

$$\Phi_{ПМ \text{ дефлектора}}(\nu) = 1 - \nu / v_{c0}, \quad (12)$$

Это известная треугольная ФПМ для сплошной освещенной прямоугольной апертуры коллимированным лучом [5].

Для  $T_r > 1$  (неперекрываемая апертура), ФПМ дефлектора будет равна

$$\Phi_{ПМ \text{ дефлектора}}(\nu) = e^{-\left(\sqrt{2} T_r \nu / v_{c0}\right)^2}, \quad (13)$$

Для дифракционно ограниченного гауссовского пятна, радиус луча у дефлектора ( $r_2$ ) и радиус луча на изображении ( $r_x = 2\sigma_x$ ) соотносятся как

$$r_x = \frac{\lambda F}{\pi r_2}, \quad (14)$$

Используя уравнения (10), (11) и (14) ФПМ дефлектора можно упростить до

$$\Phi_{ПМ \text{ дефлектора}}(\nu) = e^{-2(\pi \sigma_x \nu)^2}, \quad (15)$$

Этот результат идентичен ФПМ гауссовой точки радиуса  $2\sigma_x$  в плоскости изображения.

Рассмотрим влияние ошибок перемещения точки. После разворачивания одной строки сканирования,

сканирующее пятно перемещается на расстояние  $p$ , (являющееся шагом растра, обратно пропорциональной величине разрешающей способности в направлении медленного сканирования  $R_y, p=1/R_y$ ). ФПМ снижается из-за такого линейного перемещения и может быть представлена, как

$$\Phi_{ПМ}_{перемещения}(v) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \text{rect}\left(\frac{x}{p}\right) \cdot e^{-j \cdot 2 \cdot \pi \cdot x} dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} \text{rect}\left(\frac{x}{p}\right) dx} \quad (16)$$

Уравнение (16) можно упростить до

$$\Phi_{ВП}_{перемещения}(v) = \frac{\sin(\pi \rho v)}{(\pi \rho v)} = \text{sinc}(\rho v), \quad (17)$$

Это известная sinc-функция частотного отклика для линейно перемещающихся изображений [3]. Из уравнения (17) мы получим, что на растровой частоте  $v_s$ , равной удвоенной частоте Найквиста  $v_N (v_s = 2 \cdot v_N = 1/p)$ , ФПМ становится равной нулю. ФПМ для шести различных значений смещения пятна приведена на рис. 4.

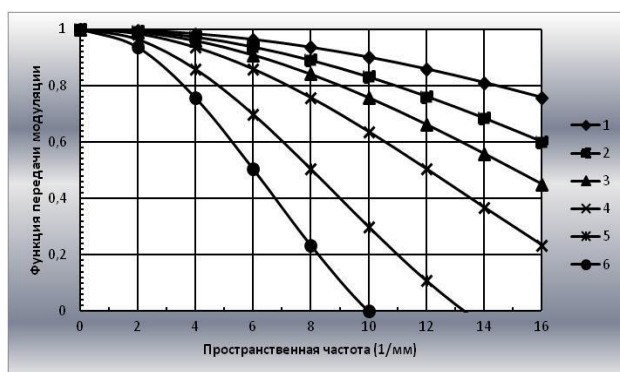


Рис. 4. Влияние смещения пятна на функцию передачи модуляции (1 –  $p = 25$  мкм, 2 –  $p = 33$  мкм, 3 –  $p = 40$  мкм, 4 –  $p = 50$  мкм, 5 –  $p = 7$  мкм, 6 –  $p = 100$  мкм)

Рассмотрим влияние ошибок расположения пикселей. Допустим, что все неточности расположения пикселей мы можем описать одиночным синусоидальным возмущением (вибрацией). Функция распределения линии под такой вибрацией может быть представлена как [3]

$$I(x) = \frac{2}{\pi a (1 - 4x^2/a^2)^{1/2}}, \quad (18)$$

где:  $a$  – амплитуда смещения пиков. Исходя из этого, ФПМ является Фурье-преобразованием функции распределения линии и может быть записана как

$$\Phi_{ПМ}_{расположения}(v) = J_0(\pi a v), \quad (19)$$

где  $J_0$  – функция Бесселя нулевого порядка первого вида

Понимание величины смещения  $a$  в уравнении (19) основано на том, что 50% потерь ФПМ может случиться на растровой частоте (или 14% потерь на частоте Найквиста). Поэтому из уравнения (19) мы имеем

$$a = \frac{1,521}{\pi(1/p)}, \quad (20)$$

где  $p$  – шаг растра. Это значит, что все пиксели должны быть позиционированы в пределах половины пикселя.

Рассмотрим влияние дефокусирования на ФПМ дефлектора для случая неперекрывающейся апертуры, используемой в большинстве РСУ вывода. Если размер лазерного луча значительно меньше ширины апертуры ( $r_x \ll 1$ ), профиль интенсивности фокусируемого лазерного пятна в плоскости изображения может быть аппроксимирован функцией Гаусса. Предположим, что благодаря фокальному смещению, размер пятна увеличивается на величину фактора  $\rho_x$ , который определяется как

$$\rho_x = \frac{r'_x}{r_x}, \quad (21)$$

где  $r'_x$  и  $r_x$  (равное  $2\sigma_x$ ) являются внефокусным и внутрифокусным радиусами лучей, соответственно. Поскольку, внефокусное пятно является также функцией Гаусса, ФПМ дефокусирования является просто Гауссовой функцией частоты

$$\Phi_{ПМ}_{дефокусирования}(v) = e^{-2(\pi \sigma_x v)^2 (\rho_x^2 - 1)}, \quad (22)$$

Рассмотрим частотный отклик материала записи. В большинстве РСУ записи используются высококонтрастные фототехнические материалы. На рис. 5 представлена ФПМ для высококонтрастных и сверхвысококонтрастных фототехнических пленок. Ухудшение ФПМ системы из-за материала записи можно считать незначительным, т.е.

$$\Phi_{ПМ}_{материала записи}(v) = 1, \quad (23)$$

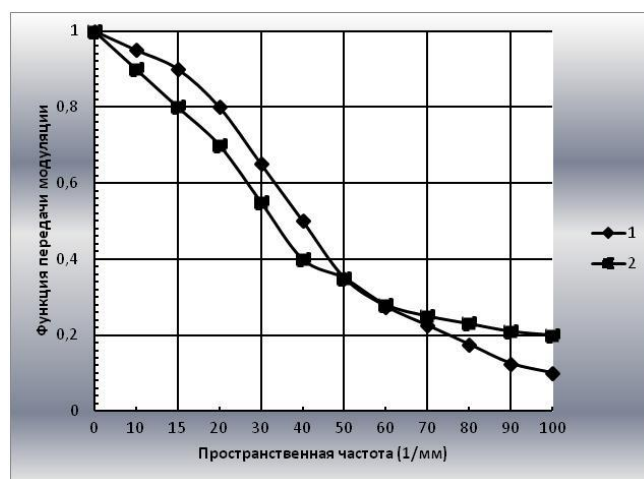


Рис. 5. Функции передачи модуляции фототехнических пленок (1 – высококонтрастной, 2 – сверхвысококонтрастной)

Рассмотрим теперь общую ФПМ системы в направлении быстрого сканирования. Каскадно соединяя приведенные выше основные эффекты ухудшения, можно записать общую ФПМ системы в

направлении быстрого сканирования  $\Phi_{ПМ_x}(v)$ , как производную ФПМ этих эффектов

$$\Phi_{ПМ_x}(v) = \Phi_{ПМ_{ЦАП}}(v) \cdot \Phi_{ПМ_{модулятора}}(v) \cdot \Phi_{ПМ_{дефлектора}}(v) \cdot \Phi_{ПМ_{перемещения}}(v) \cdot \Phi_{ПМ_{расположения}}(v) \cdot \Phi_{ПМ_{дефокусирующая}}(v) \cdot \Phi_{ПМ_{материала записи}}(v). \quad (24)$$

**Выводы.** Исследованы функции передачи модуляции составных устройств РСУ записи. Разработан метод определения оптимального режима функционирования РСУ записи в направлении быстрого сканирования.

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Темников Ф.Е., Славинский В.Л. Математические развертывающие системы.- М.: Энергия, 1970, 120 с.  
*Temnikov F.Ye., Slavinskiy V.L. Matematicheskiye razvertvyayushchiye sistemy [Deploying of mathematical system].- M.: Energiya, 1970, 120 s.*
2. Темников Ф.Е. Методы и модели развертывающих систем.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат. 1987.-136 с.  
*Temnikov F.Ye. Metody i modeli razvertvyayushchikh sistem [Methods and models for deploying systems].- 2-ye izd., pererab. i dop.- M.: Energoatomizdat. 1987.-136 s.*
3. Firth R., Kessler D., Muka E., Naor M., Owens J. / A continuous-tone laser color printer.// Journal of Imaging Technology. v.14, 1988, P.78-89.
4. Johnson R.V. / Temporal response of the acousto-optic modulator: geometrical optics model in the low scattering limit// Applied Optics, v.16, 1977, P.507-514.63.
5. Goodman J.W./ Introduction to Fourier optics // McGraw-Hill, San Francisco, Chap.6, 1968, P.101-140.
6. Randolph J., Morrison J./ Modulation transfer characteristics of an acoustic to deflector. // Applied Optics, v.10, 1971, P.1383-1385.

**Yushchyk O.V., Gavrysh B.M.**

#### Modulation Transfer Functions in Fast Direction of Recording Raster Scanning Devices Investigation

**Abstract.** The paper deals to actual questions of quick scan recording raster scanning devices research with the help of the modulation transfer function.

**Keywords:** raster scanning device, scanning, fast direction scanning, modulation transfer function.

**Ющук И.В., Овчарук В.А., Вовкодав Н.И., Метлѐв С.Г.**

**Исследование влияния диаметра сатуратора сахарного производства на поглощение диоксида углерода**

*Ющук Инна Васильевна, старший преподаватель,  
Овчарук Владимир Алексеевич, кандидат технических наук., доцент заведующий кафедрой,  
Вовкодав Наталия Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент,  
Метлѐв Сергей Геннадиевич, инженер-программист,  
Кафедра информатики Национального университета пищевых технологий, г. Киев, Украина*

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию влияния размеров оборудования для сатурации в процессе очистки диффузионного сока в сахарном производстве. Разработана математическая модель и параметрические схемы для расчета процесса карбонизации. Установлено, что теоретический размер сатуратора меньше тех аппаратов, которые используются на сахарных заводах. Насыщение диоксидом углерода сатурационного газа негативно влияет на коэффициент его использования.

**Ключевые слова:** оптимизация расчета, очистка диффузионного сока, сахарное производство.

**Введение.** Основная задача очистки диффузионного сока известью и сатурационным газом – максимально возможное удаление несахаров и получение осадка с высокими седиментационно-фильтрационными показателями.

Наибольшее распространение в заводской практике получили технологические схемы холодно-(тепло-) горячей очистки диффузионного сока, включающие преддефекацию и комбинированную холодно-(тепло) горячую основную дефекацию.

Высокое качество полупродуктов при этом достигается благодаря наличию холодной (теплой) ступени основной дефекации, на которой растворимость извести с понижением температуры сахаросодержащего раствора увеличивается, направление реакций растворения редуцирующих веществ изменяется в сторону образования малоокрашенных веществ. Последние хорошо адсорбируются в процессе I сатурации, происходит интенсивное разложение хромофорных систем в молекулах красителей с одновременным уменьшением цветности, а при нагревании холодного дефекованного сока, вследствие уменьшения растворимости извести, образуется пересыщенный сахаро-известковый раствор, который при дальнейшем сатурировании проходит стадию геля, имеющего высокие адсорбционные свойства.

Но при очистке диффузионного сока по схеме с холодно- (тепло-) горячей основной дефекацией не всегда достигаются одновременно высококачественные и седиментационно-фильтрационные показатели.

Один из радикальных методов улучшения фильтрационно-седиментационных свойств осадка – предсатурационная обработка. Поэтому в производственной практике, особенно зарубежных стран, получили распространение схемы очистки, где для получения осадка с хорошими седиментационно-фильтрационными свойствами применяются преддефекосатурация или предварительная дефекация в комбинации с преддефекосатурацией. В результате высокомолекулярные вещества и вещества коллоидной дисперсии коагулируют с одновременной дегидратацией и адсорбируются на поверхности образованных кристаллов карбоната кальция.

Перспективными способами очистки диффузионного сока, как с точки зрения максимального эффекта очистки, так и формирования хороших фильтрационно-седиментационных свойств осадка, являются схемы с отделением основной массы коагулята несахаров до основной дефекации. Повышение эффективности очистки при этом основано на недопущении растворения осадка в процессе основной дефекации и повышении эффективности проведения I сатурации на чистом осадке карбоната кальция.

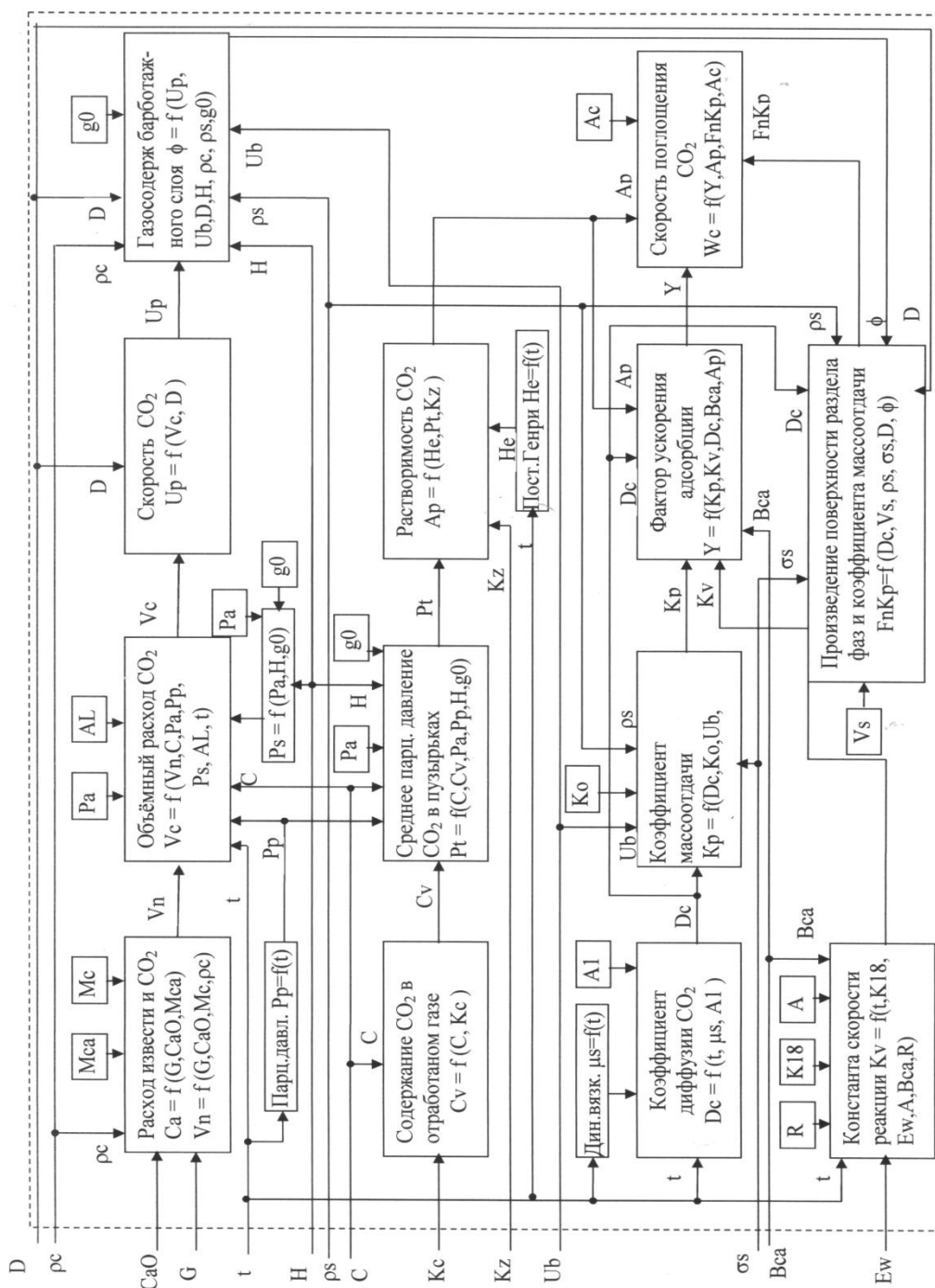
На сахарных заводах рекомендована в широкое внедрение технологическая схема очистки диффузионного сока с прогрессивной преддефекацией, комбинированной основной дефекацией, дефекацией перед II сатурацией с рециркуляцией всей стуженной суспензии сока II сатурации вместе с частью нефильтрованного сока I сатурации на преддефекацию.

**Материалы и методы.** На кафедре информатики (НУХТ, г. Киев) проведена работа по оптимизации процесса расчета оборудования, предназначенного для поглощения диоксида углерода с целью нейтрализации гидроксида кальция при очистке диффузионного сока в сахарном производстве.

С этой целью была разработана математическая модель расчета технологического процесса сатурации, параметрическая схема которой приведена на рис. 2. На первой сатурации с участием карбоната кальция завершается формирование осадка с необходимыми для его отделения седиментационными и фильтрационными свойствами.

На количество удаленных из сока на первой сатурации несахаров адсорбцией и сокристаллизацией, наряду с затратами извести, значительно влияют следующие параметры:

- содержание гидроксида кальция в соке во время кристаллизации карбоната кальция;
- температура;
- скорость поглощения диоксида углерода;
- площадь поверхности и величина заряда частиц карбоната кальция;
- линейная скорость кристаллизации карбоната кальция и др.



**Рис. 2.** Параметрическая схема математической модели расчета скорости поглощения CO<sub>2</sub> в сатураторе, где D – диаметр сатуратора, м; H – уровень сока в аппарате, м; Gz – мощность завода, т/сутки; температура процесса, °C; S – сахаристость сока, %; CaO – расход известки на очистку, % к м.с.; C – содержание CO<sub>2</sub> в сатурационном газе, %; Kc – степень использования CO<sub>2</sub>; Ac – начальная концентрация CO<sub>2</sub>; ps – плотность сока, кг/м<sup>3</sup>; pc – плотность CO<sub>2</sub>; vs – кинематическая вязкость сока, м<sup>2</sup>/с; σs – поверхностное натяжение на поверхности раздела фаз, Н/м; Ub – скорость всплывания газовых пузырьков, м/с; Ew – энергия активации, Дж/моль; Vca – концентрация гидроксида кальция в соке, кмоль/м<sup>3</sup>; Ko – коэффициент сопротивления при массотдаче; Kz – коэффициент содержания сахара; g0 – ускорение силы тяжести; Mca – молекулярная масса CaO; Mc – молекулярная масса CO<sub>2</sub>; K18 – константа скорости реакции при температуре 18 °C; α – коэффициент расширения; Pa – атмосферное давление; R – универсальная газовая постоянная; A, A1 – коэффициенты; G – мощность завода, кг/с; μs – динамическая вязкость сока, (Н·с)/м<sup>2</sup>; He – постоянная Генри; Pp – парциальное давление водяного пара, МПа; Ca – расход известки, Кмоль/с; Vn – количество CO<sub>2</sub> для нейтрализации известки, м<sup>3</sup>/с; Vc – объёмный расход сатурационного газа с учетом температуры, давления и сдвигания слоев сока, м<sup>3</sup>/с; Dc – коэффициент диффузии диоксида углерода в соке, м<sup>2</sup>/с; Kp – коэффициент массотдачи, м/с; Ap – растворимость CO<sub>2</sub> в водном растворе сахарозы, Кмоль/м<sup>3</sup>; Wc – скорость поглощения CO<sub>2</sub> щелочным соком, Кмоль/м<sup>3</sup>.

Высокий показатель степени использования диоксида углерода обеспечивает работу завода без пере- расхода известняка, топлива и энергии, значительно улучшает управление первой сатурацией.



На степень использования диоксида углерода влияют следующие параметры:

- содержание гидроксида кальция в соке, который находился в сатураторе;
- поверхность раздела между соком и газом;
- интенсивность перемешивания сока и др.

Конечной целью этой работы является достижение оптимального значения диаметра сатуратора в зависимости от содержания диоксида углерода в сатурационном газе.

**Результаты.** Было установлено, что при снижении содержания диоксида углерода в сатурационном газе до 20% степень поглощения возрастает примерно до 70%.

При оптимизации была учтена взаимосвязь перечисленных параметров процесса и сделан контрольный расчет. По табличным данным получены уравнения, использованные в математической модели [1].

Это величина постоянной Генри для температур в пределах 20 – 90 °С, которая определяется по формуле, полученной методом наименьших квадратов с абсолютной погрешностью, которая составляет  $\delta^2 = 1,6 \cdot 10^{-2}$

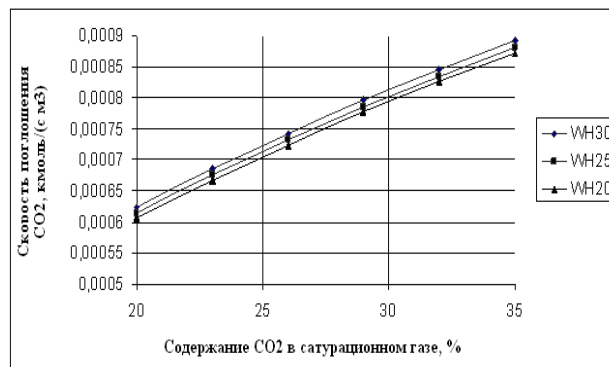
$$H_e = 1,654 \cdot 10^{-4} t^2 - 9,162 \cdot 10^{-3} t + 0,157 \quad (1)$$

Величина равновесного парциального давления водяного пара, которая определяется по уравнению, полученному с абсолютной погрешностью  $\delta^2 = 4.818 \cdot 10^{-3}$

$$P = 2,48 \cdot 10^{-4} t^2 - 2,0613 \cdot 10^{-2} t + 0,5252 \quad (2)$$

и значение динамической вязкости сока, полученной по аппроксимированной формуле со среднеквадратической погрешностью  $\delta^2 = 5,38 \cdot 10^{-10}$

$$\mu = 2 \cdot 10^{-7} t^2 - 3,8 \cdot 10^{-5} t + 2,27 \cdot 10^{-3} \quad (3)$$



**Рис. 1.** Зависимость скорости поглощения CO<sub>2</sub> от его содержания в сатурационном газе и диаметра аппарата (WH30 – 3 м; WH25 – 2,5 м; WH20 – 2 м).

**Выводы.** Результатом работы является определение того, что теоретический размер сатуратора меньше тех аппаратов, которые используются на сахарных заводах и изменяется от 2,5 до 2,1 метров с увеличением содержания диоксида углерода в сатурационном газе. Насыщение диоксидом углерода сатурационного газа негативно влияет на коэффициент его использования. С увеличением содержания CO<sub>2</sub> в газе в два раза эффективность его использования уменьшается на 25% (рис. 1).

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Логвін В.М. Інтенсифікація першої сатурації // Навчальний посібник. – К., 1995. – 92 с.  
Logvin V.M. Intensifikatsiya pershoi saturatsii [Intensification of the first saturation] // Navchalnyi posibnik. – K., 1995. – 92 p.
2. Кишиневский М.Х., Армаш А.С. Экспериментальная проверка теоретических уравнений абсорбции, сопровождающихся химической реакцией // Прикладная химия, 1966. – Т. 39. – с. 1487 – 1492.  
Kishinevskiy M.H., Armash A.C. Eksperimentalnaya proverka teoreticheskikh uravneniy absorptsii, soprovozhdayushchihsia himicheskoy reaktsiyey [Experimental verification of the theoretical equations of absorption accompanied by a chemical reaction] // Prikladnaya himiya, 1966. – T. 39. – p. 1487 – 1492.

#### Iushchuk I.V., Ovcharuk V.O., Vovkodav N.I., Metlov S.G. Investigation of the influence of the diameter of the saturator for the absorption of carbon dioxide in sugar production

**Abstract.** The main task of cleaning of the crude juice by lime and kiln gas – the maximum possible removal of various nonsugar components and receive deposit with high sedimentation and filtration performance. One radical methods to improve the filtration-sedimentation properties of deposit – before carbonation treatment. Therefore, in industrial practice, especially in foreign countries, were spread purification and where to get sludge with good sedimentation, filtration properties used predefecosaturation or previous defecation in combination with predefecosaturation. As a result of macromolecular substances and substance coagulated colloidal dispersion with simultaneous dehydration and adsorbed on the surface of the formed crystals of calcium carbonate. The Department of Computer Science (NUFT, Kyiv) work on optimization calculation process equipment intended for the absorption of carbon dioxide with calcium hydroxide to neutralize cleansing crude juice in sugar production. For this purpose was developed a mathematical model calculation process carbonation. The first carbonation of calcium carbonate with the forming of deposit required for its isolation sedimentation and filtration properties. Resulted in a determination that the theoretical size saturator lower than those devices that are used in the sugar factories and varies from 2,5 to 2,1 meters with increasing content of carbon dioxide gas in carbonation. Saturation with carbon dioxide gas carbonation negative impact on rate of its use. With the increase of CO<sub>2</sub> in the gas twice the efficiency of its use is reduced by 25%.

**Keywords:** optimization of calculation, purifying crude juice, sugar production.

**Ярмілко А.В., Багінський М.Ю., Приходько Д.С.**  
**Вибір програмної платформи як засіб підвищення ресурсної ефективності та динамічних характеристик вбудованих систем реального часу**

*Ярмілко Андрій Васильович, старший викладач,  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна.  
Багінський Максим Юрійович, незалежний дослідник, Черкаси, Україна.  
Приходько Дмитро Сергійович, аспірант,  
Інститут проблем математичних машин і систем НАНУ України, Київ, Україна.*

**Анотація.** Розглянуто проблему впливу використаної програмної платформи на швидкість функціонування модельно-орієнтованих додатків у вбудованих системах реального часу. Запропоновано можливі варіанти та критерії оцінки ефективності її вирішення. Визначено перспективні засоби програмної реалізації задачі зміни моделей. Розроблено методику кількісної оцінки запропонованих методів і засобів. З використанням моделей двох типів (синтетичних та за методом МГУА) експериментально досліджено властивості інтерпретаторів скриптових мов, механізму DLL і середовища Matlab як зовнішнього інструменту забезпечення зміни моделей. Чисельні оцінки, отримані за запропонованою моделлю обробки експериментальних даних, засвідчили високий потенціал скриптової мови Lua та інтерпретатора LuaJIT. Подано інтерпретацію отриманих результатів стосовно ряду моделей, актуальних у системах інтелектуального керування, представлено рекомендації до забезпечення оптимального використання розроблених методів і засобів у вбудованих системах управління реального часу.

**Ключові слова:** модель, критерії ефективності, вбудовані системи, системи реального часу, модельно-орієнтоване управління

Однією з характерних тенденцій сучасного етапу розвитку систем керування технологічним обладнанням та виробничими системами є впровадження в контури управління компонентів з інтелектуальними функціями. Нова якість систем керування потребує впровадження ефективних архітектурних рішень як на апаратному, так і на програмному рівнях реалізації з огляду на зростання обсягів та складності інформаційних процесів, вимог до їхніх часових параметрів. Одним з рішень у контексті зазначеної проблеми є модельно-орієнтований підхід до створення систем. Він передбачає використання на всіх етапах функціонування системи великої кількості моделей різного призначення та структури. Для забезпечення генерування, транспортування, зберігання та використання актуальних на конкретному етапі інтелектуального аналізу та прийняття рішень моделей, у загальному випадку, потрібно досягати високих показників продуктивності програмно-апаратної інфраструктури. Дана вимога посилюється у зв'язку з особливостями архітектури та функціонування вбудованих систем реального часу як типової цільової платформи промислових систем інтелектуального керування. Зважаючи на потенційну складність підтримки алгоритмів функціонування сучасних процесів керування на технічному рівні, актуальним завданням є пошук нових методологічних рішень забезпечення ресурсної ефективності та необхідних динамічних характеристик систем керування реального часу, а також дослідження їхніх властивостей.

Нами проводились дослідження, спрямовані на пошук ефективних рішень у галузі діагностики та керування технологічними модулями високоенергетичної обробки матеріалів [1, 4, 6]. Було запропоновано метод формування поведінкової стратегії інтелектуального виробничого модуля, який базується на адаптації виробничої системи шляхом модифікації моделі управління при зміні прогнозу її функціонування на основі екстремального принципу керування цільовим параметром [6]. Експерименти, проведені у модельному середовищі, продемонстрували хорошу збіж-

ність результатів та підтвердили гіпотезу про підвищення ефективності функціонування виробничої системи при застосуванні в процесі вироблення поведінкових стратегій інтелектуального модуля методів оптимізації [4].

У якості каналу отримання діагностичної інформації про перебіг технологічного процесу та стан компонентів виробничої системи досліджувався візуальний канал спостереження за зоною технологічної дії [1]. Було встановлено, що візуальний моніторинг має значний потенціал, зокрема – для забезпечення багатопараметричного адаптивного керування процесом електронно-променевого зварювання та виконання контрольних процедур з метою визначення оцінок якості виробу, оскільки методи візуалізації дозволяють на основі отриманих зображень виділити технологічно значимі артефакти та отримати достатньо широкий набір ознак процесу.

Теоретичні дослідження та практичні результати в галузі керування високоенергетичними технологічними процесами з використанням даних візуалізації [2, 7] свідчать про методологічну прийнятність та ефективність застосування модельно-орієнтованого підходу до створення систем такого типу, оскільки виникає потреба у використанні моделей реалізації, прогнозування та відновлення. У запропонованих нами методи управління зі зміною стратегій [6] та напрямках використання методів візуалізації [1] зазначений підхід також є надзвичайно актуальним з огляду на використання різноманітних моделей, тип та структура яких може істотно змінюватися відповідно до поточної стратегії керування, вибору апаратних засобів відеомоніторингу, цілей, методів і параметрів візуалізації, методу прогнозування тощо. Проте отримані наукові рішення мають суттєву чутливість до способу технічної реалізації на програмному та апаратному рівнях, яка обмежує можливість їхнього впровадження внаслідок обмежень конструкторсько-технологічного та економічного характеру.

Метою даної статті є дослідження методів та засобів підвищення ресурсної ефективності та динамічних

характеристик вбудованих систем реального часу задля мінімізації вимог до апаратної платформи та забезпечення середовища функціонування процедур інтелектуального керування.

Серед можливих факторів підвищення ефективності функціонування систем з критичними параметрами, оптимальний вибір програмної платформи є одним з визначальних для ресурсного забезпечення, швидкості та можливостей обслуговування процесів синтезу, зберігання, розгортання/згорання, транспортування моделей керування в системах з інтелектуальними функціями. Проте різноманіття типів математичних моделей інтелектуального керування та методів обробки даних різної структури та призначення, серед яких методи групового урахування аргументів (МГУА), теорії ігор, теорії автоматів та ін., ставить питання стосовно методики як щодо порівняння ефективності окремих середовищ та засобів, так і щодо їхньої прийнятності для задач з моделями певного типу. У ході дослідження нами розглядалися можливі варіанти взаємодії математичних середовищ і прикладних систем, способи представлення моделей, механізми заміни моделей управління систем керування в реальному масштабі часу; визначалися критерії кількісної та якісної оцінки моделей та їх метричні характеристики. При цьому обмеження та оптимальність топології систем керування не розглядалися.

Аналіз існуючих технологій дозволив виявити кілька перспективних для впровадження у вбудовані системи реального часу засобів швидкої зміни моделей управління. Враховувалося, що зміна моделі може здійснюватися як заміною параметрів моделі, так і заміною власне моделі. У першому випадку модель може бути написана на мові програмування високого рівня, скомпільована під архітектуру виконавчого пристрою та зашита в ПЗП виконавця, а інформація про параметри моделі може надходити із-зовні по каналах зв'язку від керуючого пристрою до виконавчого. Практична реалізація у другому випадку не є настільки тривіальною, оскільки різні моделі можуть мати кардинально різні способи реалізації, а їх узагальнення і пошук способів уніфікації для представлення різних видів моделі через однаковий інтерфейс не завжди можливі.

Середовище функціонування моделі може бути забезпечене як реалізацією власних інструментів для створення та відпрацювання моделей в масштабах реального часу, так і використанням сторонніх апробованих рішень, які забезпечують отримання моделей заданої якості. В такому випадку для інтеграції отриманих моделей у виконавчі пристрої необхідно лише створити інструменти обміну між середовищами генерації та відпрацювання моделей. Так, математичний пакет Matlab є досить потужним, надає зручний рівень абстракції для вирішення задач різних типів, багатоваріантний у взаємодії середовища із зовнішніми програмами. Однак переваги Matlab в надійності та забезпеченості засобами роботи із складними даними нівелюються громіздкістю (потребує ОЗП виконавчого пристрою обсягом 1204 МБ) та необхідністю використання віртуальної машини Java. Тому можливість використання Matlab у вбудованих системах реального часу є досить сумнівною.

Альтернативою є використання скриптових мов, які часто застосовуються як засіб розширення функціональності програмних засобів. Розглядалися Python та Lua. Python є стандартним компонентом \*nix систем і характеризується наявністю численних бібліотек і модулів для виконання різних задач. Серед них – Sage, яка є відкритою математичною бібліотекою для Python [9] і інколи використовується як вільний заміник Matlab. Враховуючи це, Python може бути адекватною альтернативою Matlab в плані обробки та аналізу даних, створення моделей. Разом з тим, інтерпретатор Python може бути використаний як виконавчий елемент розроблених моделей. Варто відмітити можливість використання мови для вбудованих систем, оскільки доступним є вихідний код, який може бути зібраний під необхідну платформу. Lua, як і Python, є відкритою мовою і має доступну програмну реалізацію. Для роботи Lua використовує компілятор в байткод і віртуальну машину для виконання згенерованого байткоду. Для даної мови розроблено інтерпретатор LuaJIT, який забезпечує умови для виконання програмного коду з великою швидкістю та може бути використаний для критичних задач [8]. Доброю передумовою використання у вбудованих системах є компактність реалізації мови. На відміну від Python, для Lua не створено такої великої кількості бібліотек, тому реалізацію частини математичного апарату потрібно реалізовувати в C/C++. Однак це дозволяє використовувати для складних обчислень оптимізований код, скомпільований під конкретну платформу.

Ще одним вартим уваги варіантом є заміна моделей як скомпільованого програмного коду. Даний підхід повинен забезпечити найбільшу швидкість, проте вимагає додаткового дослідження в плані використання для вбудованих систем.

Оптимальність можливих варіантів вирішення задачі інтеграції зовнішніх моделей в системи управління реального часу оцінювалася за запропонованими [5] критеріями: 1) швидкість виконання моделі; 2) швидкість зміни моделі; 3) вимоги до розміру ОЗП виконавчого пристрою; 4) можливість інтеграції у вбудовані системи; 5) тип, математичний апарат та складність моделей; 6) складність створення моделі; 7) складність та збитковість представлення моделі; 8) об'єм моделі та форма представлення. Найбільш ефективні рішення обиралися на основі комплексної оцінки за переліченими критеріями. При цьому метричні характеристики швидкодії досліджених методів підтримки функціонування модельно-орієнтованих додатків спиралася на експериментальні дані замірів швидкості ініціалізації середовища, завантаження представлення моделі, власне виконання моделі та вивантаження середовища.

У якості тестових моделей використовувалися бенчмарки двох типів, при розробці яких враховувалися ідентичність прояву при різних способах їхнього представлення та відповідність властивостям типових моделей, які використовуються у системах керування з інтелектуальними функціями. Одна з груп створених тестів відноситься до класу синтетичних. Їхній алгоритм реалізує комбінацію «легких» (віднімання, додавання, зміна знаку) та «важких» (множення-ділення, показникові та тригонометричні функції) математич-

них операцій. Загальне математичне представлення тестової моделі має наступний вигляд:

$$\sum_{i=1}^{1000} i + \frac{\sin(i)^i}{i} \quad (1)$$

Даний варіант бенчмарку адекватно представляє поведінку системи при використанні моделі у вигляді систем рівнянь, оскільки під час обрахування такої моделі мають виконуватися математичні операції перелічених типів.

Іншою моделлю, яка використовувалася для оцінки ефективності розроблюваних засобів, є модель, базована на алгоритмові МГУА. Пропонована тестова модель має знаходити функцію, яка апроксимує деякий ряд даних. Вибір такої форми моделі обумовлений тим, що одна із можливих сфер застосування розроблюваних засобів зміни моделей – автономні роботи, в яких застосовується розбиття логіки системи на три рівні [3]. Зокрема, для задач середнього рівня пропонується використовувати інтелектуальні моделі.

Формалізація та узагальнення кількісних та якісних оцінок за всією множиною висунутих критеріїв виконувалася на основі експертно встановлених вагових коефіцієнтів [5]. Такий спосіб формалізації достатній для використання методу аналізу ієрархій при виборі способів забезпечення реалізації модельно-орієнтованих додатків. Варто зауважити, що оцінка важливості критеріїв дуже залежить від випадку використання і має визначатися відповідно до вимог, встановлених задачами розроблюваної системи.

Дослідження швидкості роботи запропонованих засобів проводилося з використанням оригінальних модулів відпрацювання моделі на основі використання скриптової мови Lua (у реалізації LuaJIT, яка має більшу швидкодію інтерпретатора), скриптової мови Python та на основі використання механізму динамічних бібліотек. При проведенні експериментів використана наступна програмно-апаратна платформа: процесор – Intel® Core™ i3 CPU M 350 @ 2.27 Гц × 4; ОЗП – 3,8 ГБ DDR3; HDD – 500 ГБ; Linux Ubuntu 12.04 LTS; версія ядра – 3.2. Було проведено вимірювання швидкості виконання різних етапів роботи із моделлю при використанні бенчмарків двох типів (табл. 1). Для вимірювання використовувалися вбудовані в тестуючу програму засоби.

Таблиця 1.

**Об'єм моделей та тривалість виконання етапів роботи при їхньому відпрацюванні**

Засіб	Тип моделі	Об'єм моделі, байт	Ініціалізація середовища, мс	Відкривання моделі, мс	Виконання моделі, мс	Звільнення середовища, мс
LuaJIT	синтетична	220	65	32	206	31
	за МГУА	312		29	31663	
DLL	синтетична	6800	0	33	205	7
	за МГУА	16281		33	31662	
Python	синтетична	256	17726	98	976	3819
	за МГУА	331		80	32781	

В табл. 2 наведено інші показники ефективності експериментальних моделей.

Таблиця 2.

**Показники ефективності засобів створення та опрацювання моделей**

Критерії	DLL	Python	LuaJIT
Вимоги до розміру ОЗП вичонавчого пристрою	100 КБ	10 МБ	512 КБ
Можливість інтеграції у вбудовані системи	так	так	так
Типи та складність моделей	залежить від розробника	дуже велика	залежить від розробника
Складність створення моделі	середня	невелика	середня
Складність та збитковість представлення моделі	середня	невелика	невелика

Комплексні оцінки засобів створення та опрацювання моделей, обраховані за методом аналізу ієрархій з використанням запропонованих вагових коефіцієнтів (табл. 3), наведено у табл. 4.

Таблиця 3.

**Вагові коефіцієнти критеріїв оцінки ефективності**

Критерії	Коефіцієнт
Швидкість ініціалізації середовища	0,04
Швидкість завантаження моделі	0,29
Швидкість виконання моделі	0,3
Швидкість звільнення середовища	0,02
Вимоги до розміру ОЗП вичонавчого пристрою	0,01
Можливість інтеграції у вбудовані системи	0,2
Типи та складність моделей	0,02
Складність створення моделі	0,01
Складність та збитковість представлення моделі	0,01
Об'єм моделі	0,1

Таблиця 4.

**Комплексні оцінки засобів створення та опрацювання моделей**

Засіб зміни моделей	Комплексна оцінка для синтетичної моделі	Комплексна оцінка для моделі за методом МГУА
Python	0.192	0.258
DLL (C++)	0.388	0.353
LuaJIT	0.386	0.336

Як видно, при заданих вагах критеріїв комплексна оцінка для інтерпретатора LuaJIT практично збігається з показником для способу на основі використання DLL-механізму, розглянуті альтернативи (Python, Matlab) суттєво поступаються за ефективністю. При цьому варто зауважити, що при обрахуванні моделей базованих на інтелектуальних алгоритмах, за умови того, що частина логіки реалізована в модулі зміни моделі, час перебування програми в стані виконання скрипта невеликий відносно загального витраченого часу. Тому при аналізові ефективності методів зміни моделей з використанням моделі на основі алгоритму МГУА всі методи мають приблизно однакову швидкість відпрацювання моделей, проте різні ресурсні вимоги, а тому й різну комплексну оцінку.

Оцінюючи отримані результати, зазначимо, що актуальні для функціонування систем модельно-орієнтованого керування і, зокрема, реалізації розробленого методу інтелектуального керування технологічними процесами [6] типи моделей можуть бути класифіковані за ступенем подібності до двох досліджених типів. Так, автоматні моделі, відпрацювання яких передбачає розв'язання систем диференціальних рівнянь, а також нейромережеві моделі, мають спільні експлуатаційні риси з моделями за МГУА. Оптимізаційні моделі відповідають випадку синтетичного тес-

ту з переважанням операцій додавання та множення. При оцінці ж ступеню обчислювальної складності та інших експлуатаційних властивостей моделей у складі конкретної системи керування реальним часом не-

обхідно застосовувати адекватні можливим варіантам програмно-апаратної платформи системи вагових коефіцієнтів запропонованих критеріїв.

#### ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Литвинов В.В. Многопараметрическое адаптивное управление технологическим процессом электронно-лучевой сварки. / В.В. Литвинов, А.В. Ярмілко // Математичні машини і системи. – 2013. – №2. – С.130-138.  
*Litvinov V.V., Yarmilko A.V. Multiparameter adaptive technological production control of electron-beam welding // Mathematical machines and systems, no. 2, pp. 130–138. IMMSP NASU, Kyiv, Ukraine. (2013)*
2. Литвинов В.В. Модельно-ориентированное управление как стратегия функционирования интеллектуальных производственных систем / В.В. Литвинов, В.В. Казимир // Математичні машини і системи. – 2004. – № 4. – С. 143–156.  
*Litvinov V.V., Kazymyr V.V. Modelno-orientirovannoe upravlenie kak strategiya funkcionirovaniia intelektualnykh proizvodstvennykh sistem [Model-oriented control as strategy of functioning of the intelligent manufacturing systems] // Mathematical machines and systems, no. 4, pp. 143–156., IMMSP NASU, Kyiv, Ukraine. (2004)*
3. Звенигородський О. С. Интеллектуальная система планирования тактики руху автономного робота в квазістаціонарному середовищі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.23 «Засоби та системи штучного інтелекту» / Звенигородський Олександр Сергійович. – Донецьк, 2002. – 27 с.  
*Zvenigorodsky A.S. Intelektualna sistema planuvannia taktyky rukhu avtonomnoho robota v kvazistatsionarnomu seredovyschchi [Intelligent planing system of movements autonomous robot in half stationary space]: Manuscript. Dissertation for seeking of scientific degree of a candidate of technical sciences on specialty 05.13.23 – Facilities and systems of artificial intelligence / Zvenigorodsky Alexander, Donetsk State Institute for Artificial Intelligence, Donetsk, 2002. – 19 p. [in Ukrainian]*
4. Ярмілко А.В. Дослідження ефективності системи управління зі зміною стратегій. / А.В. Ярмілко, Д.С.Приходько // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – 2013. – №4 (81). – С.77-81.  
*Yarmilko A.V., Prykhodko D.S. Doslidzhennia efektyvnosti systemy upravlinnia zi zminoiu stratehii [Efficiency investigation of the control system with strategies changing] // Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, vol. 81, iss. 4, pp. 77–81, KrNU, Kremenchuk, Ukraine. (2013)*
5. Ярмілко А.В. Забезпечення швидкої зміни моделі поведінки у вбудованих системах реального часу / А.В. Ярмілко, М.Ю. Багінський // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – №2 (79). – С. 51–55.  
*Yarmilko A.V., Bahynskiy M.Yu. Zabezpechennia shvydkoi zminy modeli povedinky u vbudovanykh systemakh realnoho chasu [Ensuring the rapid changing of behavior models in imbedded real-time control systems] // Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, vol. 79, iss. 2, pp. 51–55, KrNU, Kremenchuk, Ukraine. (2013)*
6. Ярмілко А.В. Формування стратегії керування технологічним модулем за даними поточного моніторингу та експрес-діагностики // Математичні машини і системи. – 2013. – № 1. – С. 102–110.  
*Yarmilko A.V. Formuvannia stratehii keruvannia tekhnolohichnym modulom za danymy potochnoho monitryngu ta ekspres-diaagnostyky [The formation of the control strategy of the technological unit based on the current monitoring and rapid diagnosis] // Mathematical machines and systems, no. 1, pp. 102–110. MMSP NASU, Kyiv, Ukraine. (2013)*
7. Electron beam welding machine KL118.00.00.000. Maintenance manual. – К.: Paton electric welding institute, 2004. – 443 p.
8. LuaJIT: Performance Comparison. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://luajit.org/performance.html>
9. Sage: Open Source Mathematics Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sagemath.org/>

#### **Yarmilko A., Bahynskiy M., Prykhodko D. The choice of software platform as a means of increasing the resource efficiency and dynamic characteristics in embedded real-time control systems**

**Abstract.** The authors discuss a problem of the influence of the used software platform on the rate of the model-oriented applications operation in embedded real-time systems. The most appropriate options, feasible variants and estimation criteria of the efficiency of this problem solutions were proposed in the article. Also the advanced tools and facilities of real-time models changing program implementation were defined. The authors have presented the developed technique and tools for quantitative evaluation of the proposed methods. The article also focuses on testing the methods of models changing in embedded real-time systems. The experimental research results of the model changing methods properties based on using Matlab engine, performed by the authors, are discussed in the article, as well as scripting languages and shared library concept developed with using two types of models: synthetic and GMDH-like. Numerical estimates obtained by the proposed model of data processing have shown high potential of Lua scripting language with LuaJIT interpreter. In the end of the paper there are the interpretation of the results in relation to the number of models that are relevant to intelligent control and the usage recommendations for the methods developed for the real-time embedded control systems were presented.

**Keywords:** model, criteria of efficiency, embedded systems, real-time systems, model-driven engineering.

#### **Ярмілко А.В., Багінський М.Ю., Приходько Д.С. Выбор программной платформы как средство повышения ресурсной эффективности и динамических характеристик встроенных систем реального времени**

Рассмотрена проблема влияния использованной программной платформы на скорость функционирования модельно-ориентированных приложений во встроенных системах реального времени. Предложены возможные варианты и критерии оценки эффективности её решения. Определены перспективные средства программной реализации задачи смены моделей. Разработана методика количественной оценки предложенных методов и средств. С применением моделей двух типов (синтетических и по методу МГУА) экспериментально исследованы свойства интерпретаторов скриптовых языков, механизма DLL и среды Matlab в качестве внешних инструментов обеспечения отработки моделей. Численные оценки, полученные на основе предложенной модели обработки экспериментальных данных, свидетельствуют о высоком потенциале скриптового языка Lua и интерпретатора LuaJIT. Представлена интерпретация полученных результатов относительно моделей, актуальных в системах интеллектуального управления, даны рекомендации по обеспечению оптимального использования разработанных методов и средств во встроенных системах управления реальным временем.

**Ключевые слова:** модель, критерии эффективности, встроенные системы, системы реального времени, модельно-ориентированное управление.

## CONTENT

BIOLOGY .....	7
<i>Lizogub V.S., Makarenko N.V., Yukhimenko L.I., Khomenko S.N., Kozhemyako T.V.</i> The role of the properties of the basic nervous processes and psycho-physiological functions in activity of the operators of cellular connections .....	11
<i>Bogdanovskaya N.V., Malikov N.V.</i> Evaluation of Dynamics of Changes in Different Ways Arginine Metabolism Activity under Adapttion to Physical Stress.....	7
<i>Kovalenko S.O., Kudij L.I., Lutsenko O.I.</i> Peculiarities of male and female heart rate variability .....	13
<i>Sychuk A., Radchenko M., Morderer E.</i> The increase of phytotoxic action of graminicide fenoxaprop-P-ethyl by NO donor sodium nitpruside.....	21
<i>Bukov Y.A., Burbanova O.N.</i> Performance evaluation of respiratory mechanics in pulmonological degree of risk in older women.....	23
<i>Grabovskaya E.</i> Correction of non-specific adaptation reactions of athletes by means of ultra-high frequency electromagnetic field (UHF EMF).....	27
<i>Korzh A.P.</i> Sustaining the livelihoods of populations as a basis of the carrying capacity formation of their living environment .....	31
<i>Savina K.D.</i> Postural reactions of blood circulation in skin at sportswomen .....	37
CHEMISTRY .....	41
<i>Brem V.V., Buga S.P., Dmitrenko I.V.</i> Influence of oxides of silicon and aluminum on the solubility of hydrogen fluoride-oxide melts .....	41
ECOLOGY .....	47
<i>Varyvoda Ye.A.</i> Strengthening emergencies governance system through environmental assessment implementation (case study of Ukraine) .....	47
<i>Kovalev A.A., Varivoda A.V.</i> Research migration of heavy and rare metals from the dumps ash and slag thermal power stations .....	52
PHYSICS AND MATHEMATICS .....	55
<i>Borkach E.I., Ivanitsky V.P., Kovtunenکو V.S.</i> Terminology and definition of the amorphous substances .....	55
<i>Mitsa V., Golomb R., Lovas G., Veresh M., Borkach E., Kovacs T., Rigo J.</i> Effect of fragments of low-and high-temperature crystalline phases in germanium disulfide formation of mixed middle order in the technologically modified glassy c-GeS <sub>2</sub> : difference Raman spectra and first principle calculations.....	62
<i>Ausheva N.</i> Modeling of minimal surfaces based on isotropic curves and quasiconformal change of parameter .....	67
<i>Steblyanko P., Kravchuk T.</i> The construction of three-dimensional spline basis for solving problems of mathematical modeling .....	71
MEDICINE.....	75
<i>Gaystruk N.A., Melnik A.V., Gaystruk A.V., Stenyansky R.P.</i> The role of art therapy in the correction of emotional and neuroendocrine adaptation in children with tension cephalgy .....	75
<i>Gaystruk N.A., Nadezhdin M.V., Stenyansky R.P.</i> Determining the predictive value of hyperhomocysteinemia as a risk factor for fetal distress in pregnant women with gestational and chronic pyelonephritis .....	79
<i>Dulo O.A.</i> Study the level of physical health of females of mountainous area transcarpathia by the metabolic level of aerobic productivity of providing of energy.....	82

TECHNICAL SCIENCES .....	86
<i>Lahutin V.L.</i> Mathematical model of flat vertical oscillations of the trolley for transporting dangerous cargo with usage of pneumatic elements in the second stage of suspension.....	86
<i>Shatohyn V.M., Semkiv O.M., Popova A.N.</i> Optimum blade profile of a groundthrower as a solution of the brachistochrone for the centrifugal force of inertia .....	91
<i>Shovgenyuk M.V., Semeniv V.V., Kovalskiy B.M.</i> Development a theory for colors synthesis by four inks.....	95
<i>Shvachych G.G.</i> Multiprocessor simulating medium in the task of stochastic modeling .....	99
<i>Ushapivsky I.L.</i> Experimental studies of vibrations centrifugal fire pump with defective bearings .....	105
<i>Vinogradov S.A.</i> The usage of high speed impulse liquid jets for putting out of gas blowout.....	108
<i>Bomba A.Y., Vostrikov V.P.</i> Mathematical design of process of heating of environment "soil - air" by the linear sources of heat .....	112
<i>Voloshin N.V.</i> Representations, methods and algorithms during projecting the automated iridology system .....	117
<i>Golubnyk T.S. Yuschik O.V.</i> Pages offset value in the imposition of book block method was developed.....	120
<i>Dominik A.M.</i> Fire investigation cylinder columns under fire.....	123
<i>Melnik K.V., Glushko V.N.</i> Application of Bayesian networks for data processing from medical cards.....	126
<i>Prydatko O.V.</i> Efficiently value analysis of risks implementation of innovative technologies quality management of educational projects .....	130
<i>Romanko R.M., Petrakovska O.S.</i> Methods and models of land monitoring affected by the exogenous geological processes .....	134
<i>Khryshchuk S.Yu., Bepal'ko R.I.</i> Anthropogenic transformation as a criterion of optimization of land-tenures at regional level.....	138
<i>Chikunov P.A.</i> Physical and formal statement of the operative management salt producing enterprise.....	142
<i>Yushchuk O.V., Gavrysh B.M.</i> Modulation Transfer Functions in Fast Direction of Recording Raster Scanning Devices Investigation .....	147
<i>Iushchuk I.V., Ovcharuk V.O., Vovkodav N.I., Metlov S.G.</i> Investigation of the influence of the diameter of the saturator for the absorption of carbon dioxide in sugar production .....	151
<i>Yarmilko A., Bahinskyi M., Prykhodko D.</i> The choice of software platform as a means of increasing the resource efficiency and dynamic characteristics in embedded real-time control systems .....	154

## СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЯ.....	7
<i>Лизогуб В.С., Макаренко Н.В., Юхименко Л.И., Хоменко С.Н., Кожемяко Т.В.</i> Роль свойств основных нервных процессов и психофизиологических функций в обеспечении деятельности операторов мобильной связи.....	11
<i>Богдановская Н.В., Маликов Н.В.</i> Оценка динамики изменения активности различных путей обмена аргинина при адаптации к физическим нагрузкам.....	7
<i>Коваленко С.А., Кудий Л.И., Луценко Е.И.</i> Особенности вариабельности сердечного ритма у мужчин и женщин .....	13
<i>Сычук А., Радченко М., Мордерер Е.</i> Повышение фитотоксического действия граминицида феноксапроп-Р-этила донором NO нитропруссидом натрия .....	21
<i>Буков Ю.А., Бурбанова О.Н.</i> Показатели механики дыхания в оценке степени пульмонологического риска у женщин пожилого возраста.....	23
<i>Грабовская Е.Ю.</i> Коррекция неспецифических адаптационных реакций организма спортсменов при помощи электромагнитных излучений крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) .....	27
<i>Корж А.П.</i> Жизнеобеспеченность популяций как основа формирования емкости среды их обитания.....	31
<i>Савина К.Д.</i> Постуральные реакции кожного кровотока у спортсменов .....	37
ХИМИЯ .....	41
<i>Брем В.В., Буга С.П., Дмитренко И.В.</i> Влияние оксидов кремния и алюминия на растворимость водорода в фторидно-оксидных расплавах .....	41
ЭКОЛОГИЯ.....	47
<i>Варивода Е.А.</i> Усовершенствование системы управления чрезвычайными ситуациями посредством применения экологической оценки (ситуативный пример Украины).....	47
<i>Ковалёв А.А., Варивода А.В.</i> Исследование миграции тяжёлых и редких металлов из золошлаковых отвалов тепловых электростанций.....	52
ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА .....	55
<i>Боркач Е.И., Иваницкий В.П., Ковтуненко В.С.</i> Терминология и определение аморфных веществ .....	55
<i>Мица В., Голомб Р., Ловас Г., Вереш М., Боркач С., Ковач Т., Ріго І.</i> Влияние фрагментов низко- и высокотемпературных кристаллических фаз дисульфида германия на формирование смешанного среднего порядка в технологично модифицированном стеклообразном <i>c-GeS<sub>2</sub></i> : разностные Раман спектры и первопринципные расчеты .....	62
<i>Аушева Н.Н.</i> Моделирование минимальных поверхностей на основе изотропных кривых и квазиконформной замены параметра .....	67
<i>Стеблянко П.А., Кравчук Т.В.</i> Построение базисного трехмерного сплайна для решения задач математического моделирования.....	71
MEDICINE.....	75
<i>Гайструк Н.А., Мельник А.В., Гайструк А.В., Стенянский Р.П.</i> Роль арт-терапии в коррекции психоэмоционального состояния и нейроэндокринной адаптации у детей с цефалгиями напряжения .....	75
<i>Гайструк Н.А., Надеждин М.В., Стенянский Р.П.</i> Определение прогностической ценности гипергомоцистеинемии как фактора риска формирования дистресса плода у беременных с гестационным и хроническим пиелонефритом .....	79
<i>Дуло Е.А.</i> Изучение уровня физического здоровья девушек горных районов Закарпатья за метаболическим уровнем аэробного энергообеспечения.....	82



TECHNICAL SCIENCES .....	86
<i>Лагутин В.Л.</i> Математическая модель плоских вертикальных колебаний прицепа для транспортировки опасных грузов с использованием пневматических элементов во второй ступени подвешивания .....	86
<i>Шатохин В.М., Семкив О.М., Попова А.Н.</i> Оптимальный профиль лопатки грунтометателя как решение задачи о брахистохроне для центробежной силы инерции .....	91
<i>Шовгенюк М.В., Семенов В.В., Ковальский Б. М.</i> Развитие теории синтеза цветов четырьмя красками .....	95
<i>Швачич Г.Г.</i> Многопроцессорные моделирующие среды в задаче стохастического моделирования.....	99
<i>Ущатицкий И. Л.</i> Экспериментальные исследования вибраций центробежного пожарного насоса с дефектными подшипниками.....	105
<i>Виноградов С.А.</i> Использование импульсных высокоскоростных струй жидкости для тушения газовых фонтанов .....	108
<i>Бомба А.Я., Востриков В.П.</i> Математическое моделирование процесса нагревания среды «почва-воздух» линейными источниками тепла .....	112
<i>Волошин Н.В.</i> Представления, методы и алгоритмы при проектировке автоматической системы иридодиагностики .....	117
<i>Голубнык Т.С., Ющик О.В.</i> Способ определения величины сдвига страниц набора при комплектовании вкладкой.....	120
<i>Доминик А.М.</i> Исследование огнестойкости цилиндрической колонны в условиях пожара.....	123
<i>Мельник К.В., Глушко В.Н.</i> Применение аппарата Байесовых сетей при обработке данных из медицинских карточек .....	126
<i>Придатко А.В.</i> Эффективно-стоимостный анализ рисков внедрения инновационных технологий управления качеством образовательных проектов.....	130
<i>Романко Р.Н., Петраковская О.С.</i> Методы и модели мониторинга земель, подвергающихся воздействию экзогенных геологических процессов.....	134
<i>Хрыцук С.Ю., Беспалько Р.И.</i> Антропогенная преобразованность как критерий оптимизации землепользований на региональном уровне.....	138
<i>Чикунев П.А.</i> Физическая и формальная постановка задач оперативного управления соледобывающим предприятием .....	142
<i>Ющик О.В., Гаврыш Б.М.</i> Исследование функций передачи модуляции растровых сканирующих устройств записи в направлении быстрого сканирования .....	147
<i>Ющук И.В., Овчарук В.А., Вовкодав Н.И., Метлёв С.Г.</i> Исследование влияния диаметра сатуратора сахарного производства на поглощение диоксида углерода.....	151
<i>Ярмилко А.В., Багинский М.Ю., Приходько Д.С.</i> Выбор программной платформы как средство повышения ресурсной эффективности и динамических характеристик встроенных систем реального времени .....	154

TECHNICAL SCIENCES .....	86
<i>Лагутин В.Л.</i> Математическая модель плоских вертикальных колебаний прицепа для транспортировки опасных грузов с использованием пневматических элементов во второй ступени подвешивания .....	86
<i>Шатохин В.М., Семкив О.М., Попова А.Н.</i> Оптимальный профиль лопатки грунтометателя как решение задачи о брахистохроне для центробежной силы инерции .....	91
<i>Шовгенюк М.В., Семенов В.В., Ковальский Б. М.</i> Развитие теории синтеза цветов четырьмя красками .....	95
<i>Швачич Г.Г.</i> Многопроцессорные моделирующие среды в задаче стохастического моделирования.....	99
<i>Ущатицкий И. Л.</i> Экспериментальные исследования вибраций центробежного пожарного насоса с дефектными подшипниками.....	105
<i>Виноградов С.А.</i> Использование импульсных высокоскоростных струй жидкости для тушения газовых фонтанов .....	108
<i>Бомба А.Я., Востриков В.П.</i> Математическое моделирование процесса нагревания среды «почва-воздух» линейными источниками тепла .....	112
<i>Волошин Н.В.</i> Представления, методы и алгоритмы при проектировке автоматической системы иридодиагностики .....	117
<i>Голубнык Т.С., Ющик О.В.</i> Способ определения величины сдвига страниц набора при комплектовании вкладкой.....	120
<i>Доминик А.М.</i> Исследование огнестойкости цилиндрической колонны в условиях пожара.....	123
<i>Мельник К.В., Глушко В.Н.</i> Применение аппарата Байесовых сетей при обработке данных из медицинских карточек .....	126
<i>Придатко А.В.</i> Эффективно-стоимостный анализ рисков внедрения инновационных технологий управления качеством образовательных проектов.....	130
<i>Романко Р.Н., Петраковская О.С.</i> Методы и модели мониторинга земель, подвергающихся воздействию экзогенных геологических процессов.....	134
<i>Хрыщук С.Ю., Беспалько Р.И.</i> Антропогенная преобразованность как критерий оптимизации землепользований на региональном уровне.....	138
<i>Чикунев П.А.</i> Физическая и формальная постановка задач оперативного управления соледобывающим предприятием .....	142
<i>Ющик О.В., Гаврыш Б.М.</i> Исследование функций передачи модуляции растровых сканирующих устройств записи в направлении быстрого сканирования .....	147
<i>Ющук И.В., Овчарук В.А., Вовкодав Н.И., Метлёв С.Г.</i> Исследование влияния диаметра сатуратора сахарного производства на поглощение диоксида углерода.....	151
<i>Ярмилко А.В., Багинский М.Ю., Приходько Д.С.</i> Выбор программной платформы как средство повышения ресурсной эффективности и динамических характеристик встроенных систем реального времени .....	154

Editor-in-chief: Dr. Xénia Vámos

The journal is published by the support of  
Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe

Készült a Rózsadomb Contact Kft nyomdájában.  
1022 Budapest, Balogvár u. 1.  
[www.rcontact.hu](http://www.rcontact.hu)