

SCIENCE AND  
EDUCATION  
A NEW  
DIMENSION  
NATURAL  
AND  
TECHNICAL SCIENCE



---

**p-ISSN 2308-5258**

**e-ISSN 2308-1996**

Vol. 8. 2013

**SCIENCE AND EDUCATION A NEW DIMENSION**

**Natural and Technical Science**

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

---

**Science and Education a New Dimension**  
**Natural and Technical Science**  
**Vol. 8**  
**2013**

**Editor-in-chief**

dr. Xénia Vámos

**Honorary senior editor:**

dr. Jenő Barkáts, dr. Nina Tarasenkova

**Editorial board:**

**Ayvazyan**, Edvard, CSc in Pedagogy, National Institute of Education, Armenia

**Barkáts**, Jenő, CSc in Physics and Mathematics, associated professor, Vice-Rector, Ferenc Rákóczi II. Transcarpathian Hungarian Institute, Ukraine

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

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

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

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

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

**Kótiš**, László, PhD in Physics, Research Centre for Natural Sciences, Hungary

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Tarasenkova**, Nina, Doctor of Science in Pedagogy, Vice-Rector in Science, Bohdan Khmelnytsky National University in Cherkasy, Ukraine

**Turgunbayev**, Riskeldy, 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

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

**Vámos**, Xénia, Dr. Med., Central Military Hospital - Budapest

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

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

**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

**BUDAPEST, 2013**

---

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.

**CONTENT**

MEDICINE.....	8
<i>Фурман О.В.</i> Цервикальная слизь как биомаркер фертильности .....	8
<i>Яцків О.М., Тарновська А.В.</i> Запліднююча здатність сперматозоїда з аномальною морфологією.....	13
BIOLOGY .....	18
<i>Pokhylenko A.P., Korolev A.V.</i> Importance of Julida (Diplopoda) trophical and biotopical characteristics for anthropogenic impact estimation of millipede habitat in forest ecosystems of Samarskyi Forest ..	18
<i>Корж А.П., Фролов Д.А.</i> Проблемы управления метапопуляцией охотничьего фазана ex-situ.....	21
ECOLOGY, ENVIRONMENT AND SOCIETY SAFETY .....	26
<i>Бигалиев А.Б., Жанбуришин Е.Т., Бигалиева Р., Рыскулова А.Р., Бильдеббаева Р.М., Рахманова Ж., Кожсахметова А.</i> Современное состояние социально-экономического развития Казахстана и научные основы экологической безопасности.....	26
<i>Кірієнко С.М.</i> Середовищетвірна діяльність ссавців як фактор впливу на виділення ґрунтом CO <sub>2</sub> .....	32
<i>Кур'янова С.О., Юрасов С.М.</i> Недоліки вітчизняних класифікацій якості водних об'єктів централізованого водопостачання .....	36
<i>Bernát N.</i> Szernye szennyező forrásainak felkutatása és bemutatása .....	41
<i>Казімір І.І., Солодкий В.Д., Беспалько Р.І.</i> Імплементация принципів сталого розвитку в умовах гірських екосистем Українських Карпат.....	44
CHEMISTRY .....	49
<i>Брем В.В.</i> насыщение расплавленных флюсов парами воды и водородом.....	49
<i>Дмитренко И.В.</i> Проницаемость водорода во фторидно-оксидных расплавах .....	55
PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCE .....	61
<i>Mitsa V., Borkach E, Lovas G., Holomb R., Rosola I., Rudyko G., Gule E., Fekeshgazi I.</i> The visible photoluminescence from aged and freshly fractured surfacees of chalcogenide glasses ...	61
<i>Демеш Ш.Ш., Боркач Е.І., Ковтуненко В.С.</i> Визначення параметрів аналітичних виразів потенціалів міжатомної взаємодії кристалів As <sub>n</sub> S <sub>m</sub> методом функціонала густини.....	65
<i>Сорокина М.М.</i> Критические $\tau$ -замкнутые $n$ -кратно $\omega$ -специальные формации конечных групп ....	71
<i>Shvachych G.G., Konovalenkov V.S., Tkach M.A.</i> Model-based parallel construction of a numerical-analytical scheme .....	76
TECHNICAL SCIENCE.....	79
<i>Чейлях А.П., Куцомеля Ю.Ю., Федун В.И., Рябикина М.А.</i> Структура и свойства стали 40Х после импульсно-плазменной обработки с использованием титанового электрода .....	79
<i>Ткаченко Ф.К., Рябикина М.А., Ткаченко Н.В.</i> Влияние параметров изотермической обработки на структурообразование и свойства стали Х70 .....	85
<i>Чейлях А.П., Караваева Н.Е.</i> Влияние термообработки на структуру, метастабильность аустенита и износостойкость цементованных сталей 12Х2Н4МА и 18Х2Н4МА.....	89

<i>Говорун А.Г., Сельский М.П., Куцый П.В.</i> Определение потерь энергии КТС в условиях неустановившихся режимов движения .....	92
<i>Волков В.П., Комов П.Б., Комов А.Б., Комов Е.А., Комов А.П.</i> Анализ влияния факторов, обеспечивающих техническую исправность транспортных средств на безопасность автомобильного транспорта .....	98
<i>Виноградов С.А., Консуров Н.О., Грицына И.Н.</i> Высокоскоростные струи жидкости как механизм разрушения элементов строительных конструкций при проведении аварийно-спасательных работ .....	103
<i>Липовой В.А.</i> Решение задачи теплообмена при струйной очистке резервуаров от остатков нефтепродуктов .....	107
<i>Лагутин В.Л.</i> Некоторые особенности работы второй ступени рессорного подвешивания несамоходной тележки для транспортировки опасных грузов.....	109
<i>Ларін О.М.<sup>1</sup>, Чигрин В.В.<sup>1</sup>, Ларін О.О.<sup>2</sup></i> Діагностика технічного стану кріплень пожежного насосу по спектрам його вібрацій .....	112
<i>Savvitskyi A.</i> Determination of reinforced concrete bending structures strength by test load .....	117
<i>Гутаревич Ю.Ф., Грищук І.В., Добровольський О.С., Адров Д.С., Вербовський В.С., Краснокутська З.І.<sup>1</sup></i> Аналіз результатів дослідження паливної економічності і екологічних показників газового двигуна внутрішнього згорання, оснащеного системою передпускового прогріву, в процесі здійснення пуску і прогріву .....	121
<b>MODERN IT</b> .....	128
<i>Ненов А.Л.</i> Подходы к идентификации и классификации факторов, оказывающих влияние на надежность телекоммуникационной сети.....	128
<i>Польщиков К.А.</i> Обобщенные модели нейро-нечетких систем управления интенсивностью потоков данных в мобильной радиосети .....	133
<i>Маноха Л.Ю., Лиманская Н.В.</i> Управление работой оборудования хлебопекарного производства путем построения оптимального графика планово-профилактических ремонтов .....	137
<i>Грищенко И.В.</i> Повышение живучести инфокоммуникационных сетей путем использования интеллектуальных систем .....	140
<i>Швачич Г.Г., Холод Е.Г.</i> Объектно-ориентированная модель конструирования распределенных баз данных в условиях нечетких множеств .....	143
<i>Cherednichenko O., Yanholenko O.</i> Towards Web-Based Monitoring Framework for Performance Measurement in Higher Education.....	151
<i>Князева Н.А., Кальченко А.С.</i> Оценка качества услуг связи с позиций удовлетворенности потребителей.....	156

MEDICINE

Фурман О.В.<sup>1</sup>

Цервикальная слизь как биомаркер фертильности

<sup>1</sup> Фурман Оксана Владимировна, аспирант кафедры акушерства и гинекологии №2, Винницкий национальный медицинский университет им. Н.И. Пирогова, г. Винница, Украина

**Аннотация:** Слизь, вырабатываемая цервикальным каналом это уникальная биологическая субстанция, которая играет одну из ключевых ролей в репродуктивной функции. От качества слизи и возможности ответа на гормональную стимуляцию желез крипт шейки матки зависит количество проникающих сперматозоидов в цервикальный канал, селекция сперматозоидов и продолжительность жизни сперматозоидов. Все эти элементы играют витальную роль в возможности оплодотворения яйцеклетки. Морфологическое строение шеечной слизи имеет гетерогенную структуру. Состоит из разлитых морфотипов и подтипов. Пропорциональное соотношение этих типов и подтипов четко регламентировано фазами менструального цикла. В цервикальном канале выделяют зоны, которые содержат железы тропные к разным гормонам (эстроген, прогестерон, норадриналин а также простогландам и релаксину). Эстрогензависимые железы продуцируют слизь типа L, S, P. Тип P продуцируется в околоовуляторный период и имеет несколько подтипов, структура зависит от момента приближения овуляции. В эстрогензависимых морфо типах отмечается большое количество канальцев (“дорожки для плавания” (Е. Одеблад)). Они, в свою очередь, обуславливают количество сперматозоидов проникших в шейку матки. Эти же канальцы выполняют функцию селекции (не допускают сперматозоиды с патологическими формами головки к пенетрации и в дальнейшем они не участвуют в оплодотворении). Прогестерон зависимая слизь G, не имеет в своей структуре канальцев. Именно эти уникальные особенности шеечной слизи легли в основу определения шеечной слизи, как биомаркера репродуктивного здоровья женщины. Была разработана стандартизированная система определения качественных и количественных характеристик вагинальных выделений (Creighton Model FertilityCare™ System, TW Hylges). Что, в свою очередь, дало возможность выделить слизистый цикл в менструальном цикле женщины и рассчитать Индекс Слизистого Цикла (ИСЦ). В норме он составляет 9,1–16. Мы в своем исследовании проанализировали значение Индекса Слизистого Цикла при состояниях снижающих репродуктивное здоровье (эндометриоз, спаечная болезнь, недостаточность лютеиновой фазы, бесплодие) и сравнили со значением ИСЦ у женщин без патологических изменений. Отмечено выраженное снижение значения ИСЦ у женщин со спаечным процессом (ИСЦ = 8,4), недостаточностью лютеиновой фазы (ИСЦ = 7,5), бесплодием (ИСЦ = 6,6) и эндометриозом (ИСЦ = 6,4), по сравнению с группой сравнения (ИСЦ = 9,4). Что дает возможность расценивать этот показатель как маркер состояния репродуктивной функции женщины.

**Ключевые слова:** цервикальная слизь, слизистый цикл, индекс слизистого цикла, бесплодие, эндометриоз, спаечная болезнь, недостаточность лютеиновой фазы.

Секреторные клетки слизистой оболочки канала шейки матки постоянно секретуют клейкую, прозрачную, вязкую жидкость – цервикальную слизь. Количество и состав слизи регулируется секрецией гормонов в течение менструального цикла женщины. Около перiovуляторного периода количество слизи увеличивается до 700 мг в сутки, тогда как в лютеиновой фазе лишь 50 мг. Цервикальная слизь - уникальная в биологическом отношении жидкость организма женщины, больше нигде не встречающаяся. Основной компонент - гидрогель, который содержит большое количество углеводов и гликопротеинов муцинозного типа (аналогичный гидрогеля содержится в пуповине). При динамическом контроле, кривые увеличения содержания воды, количества слизи, тягучести, петрабильности сперматозоидов нарастают по мере увеличения содержания эстрогенов, тогда как клеточный состав и вязкость наоборот, уменьшаются ближе к моменту овуляции [1, 4].

Цервикальная слизь движется от внутреннего зева в направлении внешнего. Большой поток по

периферии, а не по центру канала шейки матки. Такой тип движения слизи обеспечивает ритмичное колебание микроворсины эпителиальных клеток. Данным колебаниям приписывают удаления из канала сперматозоидов, которые не способны к оплодотворению яйцеклетки. Нельзя исключить роль и мукоцилиарных молекул, продуцируемых секреторными клетками.

Изменения состава цервикальной слизи в лютеиновую фазу менструального цикла обусловлено преобладанием прогестерона. Кроме эстрогена и прогестерона на состав слизи влияют такие модуляторы, как простогландины и релаксин. Наиболее полно изучено влияние этих веществ на строение и мышечный слой шейки матки.

Самое полное описание структуры разных типов цервикальной слизи и ее тропность, принадлежит шведскому ученому Эрику Одебладу, который за свои открытия в 2012 году был отмечен премией в области фундаментальных и медицинских наук. Он известен как один из ученых, изучавших влияние ядерного магнитного



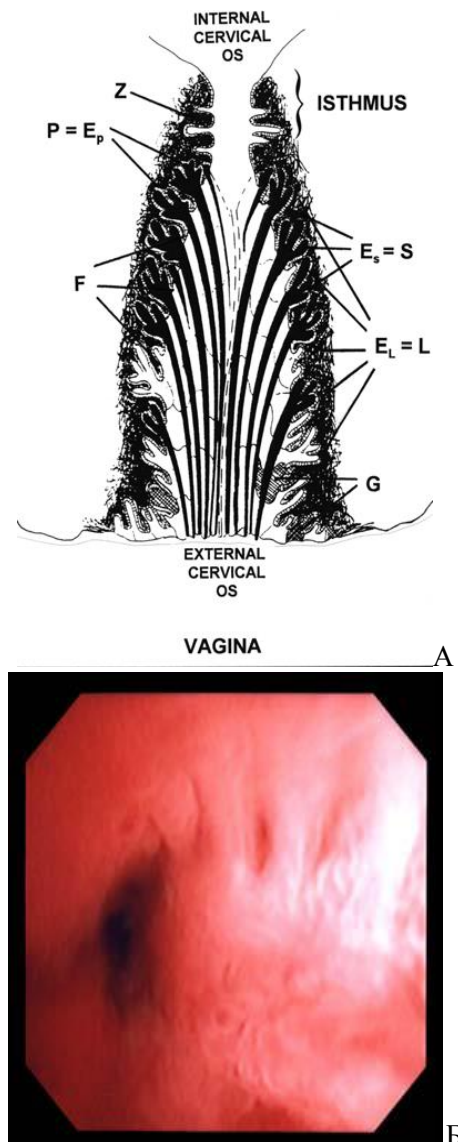
резонанса в различных областях науки и техники. В 1955 г. Эрик Одеблад и Гуннар Линдстром впервые зарегистрировали ядерный магнитный резонанс (ЯМР) *in vivo* в тканях животных. Сразу в практике начали использовать ЯМР для изучения движения и структур молекул. В клинической практике это стало возможным после того как Э. Одеблад сконструировал аппарат и разработал метод для изучения секреции жидкостей очень небольшого количества.

Эрику Одебладу принадлежит высказывание: «шейка матки высокоточный орган, столь же сложный, как и глаз». Его работа над изучением анатомии и физиологии эндоцервикса длилась с 1959 года (впервые опубликована информация о различных типах шейечной слизи, продуцируемой криптами ШМ) по 1993 год (когда был открыт F-тип слизи). [3, 4].

Сначала (в 1968) было открыта слизь типа G (гестагенозависимая) и E (эстрагенозависимая). Которая секретируется соответственно различными типами крипт. Исследования 1970-1970 гг. открыли, что E тип состоит из двух составляющих – тип S (пропускает сперматозоиды, Es). Эта слизь начинает продуцироваться за 2-3 дня перед овуляцией. Морфологически состоит из нитевидных каналов («дорожки для плавания»), которые располагаются параллельно. По этим каналам сперматозоиды достигают S крипт за 3-10 минут. S слизь секретируется не только под воздействием высокой концентрации эстрогенов, продукцию также стимулирует - норадреналин. Следующий подтип L (EL) - секреция начинается за 6-7 дней до овуляции. Собственно этот подтип характеризуется «феноменом папоротника». Еще один подтип, открытый в 1990 году - слизь P (Ep). Он секретируется около дня Пик (Peak), то есть около дня овуляции. Известно существование нескольких вариантов этого подтипа слизи. С влиянием на фертильность больше всего связывают P2 и P6 подтип. Известно, что P2 начинает производиться за 6-8 дней до овуляции, с прогрессирующим увеличением концентрации. P6 преимущественно секретируется железами крипт, расположенных в верхней части шейки матки и влияет на вязкость слизи. Еще известно существование гранул Z, которые при соединении со слизью P, создают эффект разрежения. Последний подтип слизи типа E, который открыт последним в 1997 году - это слизь F (EF). Эта слизь вырабатывается клетками, расположенными по всей длине канала шейки матки. Однако до сих пор не определена функция, которую выполняет F подтип. (Рис. 1) [2, 3, 4]

Прогестеронозависимый тип слизи – G, секретируется в лютеиновой фазе менструального цикла. Он образуется в нижних криптах шейки

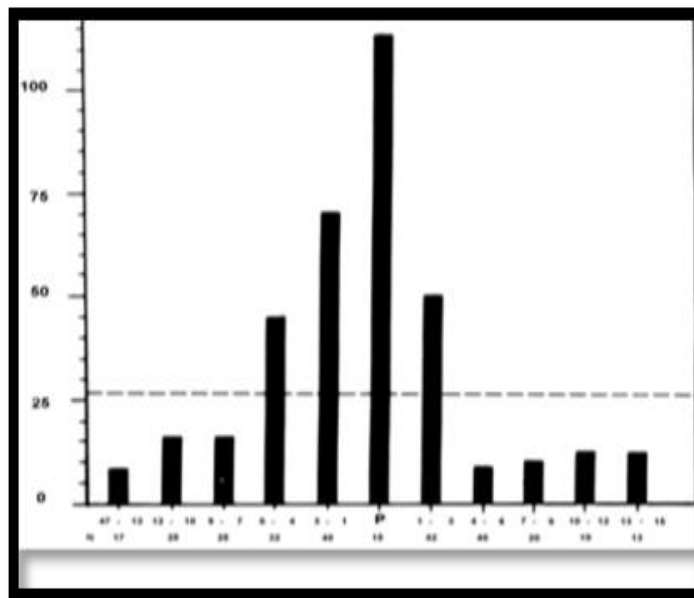
матки. Имеет плотную консистенцию (вид «бульжной мостовой»), препятствует попаданию сперматозоидов в ШМ и является составной иммунной системы, которая защищает репродуктивную систему от инфекции. Открыто около 100 цервикальных крипт, продуцирующих слизь. Эрик Одеблад также определил 3 основные группы клеток слизистой оболочки цервикального канала ШМ. Это цилиндрические секреторные клетки (большинство), цилиндрические (столбчатый) ресничных клеток, а также «резервные» клетки. Биологические характеристики шейечной слизи и изменения в зависимости от фаз менструального цикла, последние годы были в центре внимания ученых. [1, 5].



**Рис.1** А.: Схематическое изображение эндоцервикального канала с распределением различных типов слизи (Es, EL, Ep и G). Локализация продукции слизи типа F и расположения желез Z (Схема Е.Одеблад, 1977 - 1994). Б. Фотография эндоцервикального канала и 4 отдельные открытые крипты (Исследование Института Папы Павла IV, 2004).

Всемирная организация здравоохранения на семинаре по теме "цервикальная слизь и репродукция человека", сравнила шейку матки к «биологическим клапаном», который, в «определенный период в течение репродуктивного цикла позволяет сперматозоидам проникать в матку, в другое время – блокирует прохождение». Ос-

новным фактором проникновения сперматозоидов – это каналы составляющие структуру каналов слизи S. Количество этих каналов зависит от фазы цикла, а именно от периовуляторный периода. С увеличением уровня эстрогенов, то есть ростом доминантного фолликула – стремительно увеличивается количество каналов в слизи.[4]



**Рис. 2** Количество канальцев в секретиреуемый слизи (P - Пиковый день секреции слизи) с интервалом в 3 дня. Пунктирная линия отражает возможность пенетрации сперматозоидов (HilgersTW, Prebil AM: Овуляторный метод – наблюдении за вагинальными выделениями как маркер плодovitости / бесплодия. Obste Gynec53; 12-22, 1979).

Из схемы видно, что возможность проникновения сперматозоидов существует только в определенной промежуток времени. Присутствие слизи не гарантирует проникновение сперматозоидов, важно количество канальцев. Следует отметить, что от свойств и количества цервикальной слизи зависит поддержание способности сперматозоидов проникать в крипты и оплодотворить яйцеклетку. Многие ученые пытались выработать критерии объективной оценки показателей цервикального слизи. Наибольшего внимания заслуживает определение Индекса Слизевого Цикла (Mucus Cycle Score – MCS) по стандартизированной системе вагинальных выделений – крейгтонский метод (Creighton Model FertilityCare System - CrMS). Этот метод был разработан коллективом Института Исследования человеческой плодности им. Павла VI в Омаха (США) под руководством профессора Томаса Хилджерса. Крейтонский метод (CrMS) развился из метода наблюдения слизи, который разработал профессор Биллингс в 1972 г. [3, 4, 5]

CrMS предусматривает использование стандартизированной системы описание качественных и количественных характеристик церви-

кальной слизи, которая предусматривает отображение в цифровом и буквенном эквиваленте. Учитывается тягучесть слизи, цвет и ощущения, что трансформируются в оценку ежедневных баллов от 0 до 16. Начиная с определенного дня Пик и добавляя результат пяти предыдущих дней, сумма делится на 6 и мы имеем значение индекса слизи. Различают следующую классификацию значения Индекса Слизистого Цикла :

- А. Регулярный: Регулярный 9,1–16,0  
Промежуточно регулярный 7,6–9,0
- Б. Ограниченный:  
Промежуточно ограничен 5,7–7,5  
Ограниченный 0,1–5,6
- В. Сухой: Сухой 0,0

**Целью исследования** было проанализировать значение Индекса слизистой Цикла (ИПЦ) у женщин с патологией репродуктивной системы.

**Материалы и методы:** Исследования были проведены на базе кафедры акушерства и гинекологии № 2 ВНМУ им. М.И. Пирогова и специализированной клиники «Материнство и жизнь» г. Люблин (Польша).

Было проанализировано значение индекса слизи 3-х циклов 75 женщин (225 циклов) репродуктивного возраста (16 – 45 лет, средний

возраст составил 34,5). Мониторинг менструального цикла проводился по крейгтонскому методу. В исследование вошло 13 пациенток с эндометриозом. Диагноз был поставлен после хирургического вмешательства методом лапароскопии. Следующая группа – 15 пациенток с диагностированным спаечным процессом в ходе лапароскопического вмешательства. Различные формы бесплодия составили следующую группу (14 пациентка). Отдельную группу составили женщины с недостаточностью лютеиновой фазы (НЛФ) – 12 женщин. Группа контроля женщины без нарушения репродуктивной функции (21 женщин).

**Результаты исследования и их обсуждение:**  
Проанализировав значение индекса слизистого цикла в менструальных циклах женщин с репродуктивными проблемами и сравнив со значением у женщин без патологических нарушений – мы пришли к выводу, что индекс слизистого цикла достоверно снижен в циклах у женщин с патологическими изменениями.

Проанализировав 39 циклов женщин с диагнозом эндометриоз – среднее значение индекса слизи составило 6,4 (ограниченный индекс). Анализируя 42 цикла женщин с бесплодием (как первичным так и вторичным) - индекс слизи составил в среднем 6,6 (ограниченный)

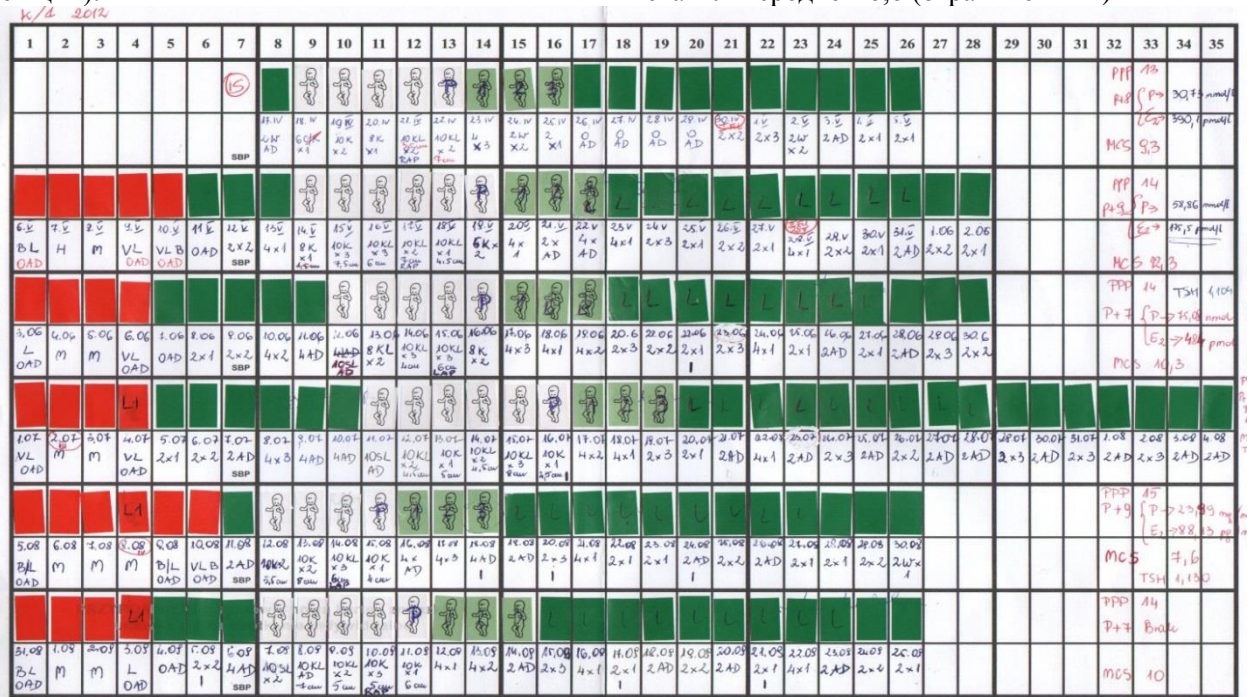


Рис. 3. Карта наблюдения менструального цикла по крейтонскому методу. Пациентка 33 года с диагнозом Первичное бесплодие. Каждый ОМЦ определенный индекс слизистого цикла.

В 36 циклах женщин с недостаточностью лютеиновой фазы (НЛФ) – среднее значение индекса слизи составило 7,5 (ограниченный индекс). При анализе индекса слизи у женщин с спаечным процессом (проанализированы 45 цикла) установлено, что среднее значение индекса слизи составило 8,4 (промежуточный регулярный). Низкий ИСЦ наблюдался у женщин с верифицированным диагнозом – эндометриоз, практически такое же значение индекса слизи имели пациентки с бесплодием (как первичным, так и вторичным). Анализируя цикл слизи одной женщины, можно видеть вариабельность слизистых выделений в разные менструальные циклы. Но пользуясь стандартизированным методом фиксации слизистых выделений можно получить четкое представление об изменениях, маркером чего является секреция слизи железами шейки матки.

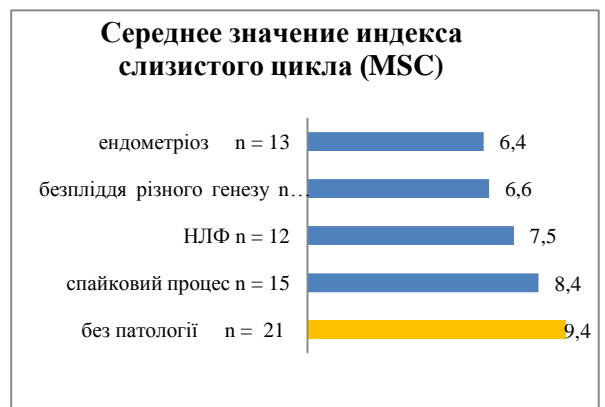


Рис. 4. Значение Индекса слизистого цикла исследуемых групп.

Наблюдая за изменением индекса слизи в разные менструальные циклы - отмечается закономерность в классификационной характеристике Индекса шейной слизи.

**Выводы:** Индекс слизистого цикла (ИСЦ) отражает состояние одного из важных элементов репродуктивной функции женщины. Его можно легко подсчитать, без специализированного

осмотра гинеколога – что является преимуществом для практической деятельности. ИСЦ – может быть одним из объективных маркеров фертильности женского организма.

#### **Литература**

1. Bigelow J. Mucus observations in the fertile window: a better predictor of conception than timing of intercourse \ J. Bigelow, D. Dunson, J.B. Stanford \ Hum Reprod. – 2004. – N.2. – P.1-4.
2. Billings EL Atlas of the ovulation Method. Ovulation Method Research and Reference Centre of Australia, 1989, Melbourne, Australia.
3. Hilgers TW Creighton-Model NaProEducation Technology for avoiding pregnancy\TW Hilgers, JB Stanford \ J Reprod Med. – 2004. – Vol.43. – P.223-228.
4. Odeblad E. Cervical mucus and their functions\E. Odeblad \ J Ir Coll Physicians Surg – 1997. – Vol.26. – P.27-32.
5. Jose Maria Murcia-Lora The Fertile Window and Biomarkers: A Review and Analysis of Normal Ovulation Cycles \ Pers Bioeti. – 2011. – Vol.15 N2. – P.133-148

#### **Furman O. Cervical mucus as a biological marker of fertility**

**Abstract:** The cervical mucus produced by cervical canal is a unique biological substance that plays a key role in reproductive function. From the quality of the mucus and the possibility of response to hormonal stimulation cervical crypts may affect the number of sperm penetrating into the cervical canal, the selection of sperm and sperm longevity. All of these elements play a vital role in the possibility of fertilization. Mucus from lumen of the cervix appears to be a morphologically heterogeneous entity. The proportion of these types and subtype depends on the phases of the menstrual cycle. In cervical canal are areas with glands. Cells of this glands produced a mucus by hormones stimulations (estrogen, progesterone and prostaglandin, noradrenalin and relaxin). The hormone estrogen stimulates the cervical crypts to produce mucus L, S, P types. Type P appear in near ovulatory period. This type has several subtypes, the structure of the approximation depends on the moment of ovulation. In the estrogen-dependent morphological types have large numbers of tubules ("swimming channels" (E.Odeblad)). Sperm penetrated into the cervix depends on these channels (prevent sperm with abnormal head shape to penetration and further do not participate in the fertilization). Progesterone stimulates the G type of the mucus is thick and dense. Unique characteristics of the cervical mucus formed the basis for determining the cervical mucus as a biomarker of women's reproductive health. The system for determining the qualitative and quantitative characteristics of the vaginal discharge has been standardized (Creighton Model FertilityCare™ System, TW Hylges). This techniques is the ability to assess the mucus cycle in the woman's menstrual cycle and calculate the Mucus Cycle Score (MCS). Normally it is 9.1 - 16. We have analyzed in their study of the Mucus Cycle Score in conditions which reduce reproductive health (endometriosis, adhesive disease, luteal phase deficiency, infertility) and compared with the value of MCS in women without pathological changes. Noted decrease in the value MCS in women with adhesive process (MCS = 8.4), luteal phase deficiency (MCS = 7.5), infertility (MCS = 6.6), and endometriosis (MCS = 6.4), compared with comparison group (MCS = 9.4). What makes it possible to regard this as a marker of the women fertility.

**Keywords:** cervical mucus, mucus cycle, mucus cycle score, infertility, endometriosis, adhesive disease, luteal phase deficiency.

Яцків О.М.<sup>1</sup>, Тарновська А.В.<sup>2</sup>

Запліднююча здатність сперматозоїда з аномальною морфологією

<sup>1</sup> Яцків Оксана Михайлівна, аспірант,

<sup>2</sup> Тарновська Антоніна Володимирівна, кандидат біологічних наук, доцент,  
Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна

**Анотація:** У цій статті ми розглянули ультраструктуру і складові елементи сперматозоїдів, звернули увагу при цьому на ультраструктурні аномалії та їх вплив на запліднення. Широкий аналіз якості сперми є важливим етапом при дослідженні причини безплідності пари. Якість сперми традиційно визначається відповідно від кількості, рухливості і морфології сперматозоїдів в еякуляті. Параметри сперми, морфологія сперматозоїдів виявляється кращим провісником потенціалу чоловічої фертильності.

**Ключові слова:** морфологія, патологія, глобозоспермія, сперматозоїд, акросома

Якість сперми умовно визначається чисельністю, рухливістю і морфологією сперматозоїдів в еякуляті. З усіх параметрів сперми, морфологію сперматозоїдів вважають кращим показником потенціалу чоловічої фертильності [7; 10; 15; 18; 28; 29; 34; 36; 40; 50].

Сперматозоїд побудований з голівки, шийки, середньої пластинки і хвоста. Плазматична мембрана сперматозоїда покриває голівку і прямує до кінчика хвоста. Основну частину голівки займає щільне компактне ядро, що містить високо конденсовану батьківську ДНК, яка попереду вкрита акросомою та плазматичною мембраною.

Акросома містить внутрішню і зовнішню поверхні мембрани, між якою знаходиться акросомальний матрикс. В акросомі міститься органела Гольджі, яка вкриває близько двох третин ядра сперматозоїда. Її мембрани містять гідролітичні ферменти, які відіграють важливу роль під час акросомної реакції сперматозоїда і проникнення в яйцеклітину. Позаду акросоми розміщений постакросомальний сегмент голови, саме в цьому місці сперматозоїд зливається мембраною яйцеклітини. Акросомна реакція зазвичай відбувається з утворенням пухирців наповнених гідролітичним ферментом на поверхні мембрани, кілька пухирців забезпечують злиття між плазматичною мембраною і зовнішньою мембраною акросоми.

Основні компоненти шийки з'єднуються в елемент позаду ядра в проксимальну центріоль, яка складається з дев'яти триплетів мікротрубочок (центріоля сперматозоїда має 9 + 0 організацію мікротрубочок), утворюючи коло з щільним матеріалом, все, що знаходиться всередині кола центріолі і за межами, називається центросомою сперматозоїда або пери-центріолярний матеріал. Центріолі, які розташовані позаду ядра, вважаються найбільш важливою органелою сперматозоїда для початку внутрішньо-ооплазматичного процесу запліднення [48].

Серединна пластинка сперматозоїда є рушійною силою сперматозоїда і складається з центральної аксонемі, що складається з мікрот-

рубочок і простягається від проксимальних центріолі в дистальний кінчик хвоста. Мікротрубочки аксонемального комплексу розташовані в характерний комплекс 9 + 2, тобто з дев'ять наборів подвійних мікротрубочок на периферії, які оточують дві одинарних мікротрубочки в центрі.

Волокна полегшують рух сперматозоїдів, який відбувається за участю білка фосфорилування [46], який в свою чергу служить захистом від пошкодження сперматозоїда під час його переміщення через чоловічі та жіночі статевих шляхів. Рух хвоста опосередковано через дію дінеїнових ручок, в результаті ковзання аксонемальних мікротрубочок поруч одна з одною.

Жгутикова моторика вимагає АТФ, яка бере свій початок з проміжної частини мітохондрій, гідролізуються АТФазою дінеїнові ручки в присутності магнію. Цитоплазматичних краплі вказують на незрілість сперматозоїда. Серединна пластинка закінчується потовщення кільця плазмолемі.

Хвіст складається з основної частини і термінальної або кінцевої частини. В проксимальній області основа має щільну волокнисту оболонку і сім щільних волокон навколо аксонемі. Волокна зменшуються в товщині і в числі на протязі дистального напрямку основної частини. Кінцева частина хвоста починається в кінці фіброзної оболонки основної частини. У проксимальній частині термінальної області подвійні трубочки аксонемі розташовуються типово. У дистальній частині термінальної області 9 + 2 порядок аксонема зникає і каналці утворюють єдиний комплект без чіткої організації [38].

**Ультраструктурні аномалії голівки сперматозоїда.** Серед аномалій, що вражають органели сперматозоїдів, дефект голівки особливо поширений. Вони включають форми з подвійною, видовженою та аморфною формою, видовженими голівкою і дефектом акросоми.

Основними структурними дефектами акросоми є часткова відсутність акросоми, повна відсутність акросоми, включення всередині органели,

дегенерації і гіпоплазія акросоми [27]. Дезорганізація акросомної мембрана часто призводить до зміни форми ядра.

Включення характеризується наявністю плеоморфних структур органел. Ці структури, утворились як залишки елементів Гольджі. Ці структурні аномалії, пов'язані з нездатністю сперматозоїда пройти акросомну реакцію та проникнути в пелюціарну зону.

Повна відсутність акросоми супроводжується зміною форми ядра, в результаті чого характерна кругла голівка сперматозоїда. Глобозоспермія або круглоголові сперматозоїди є рідкісний синдром ці сперматозоїди рухливі, характеризуються відсутністю акросоми і постакрсомальна проксимальна частина, мають аномальну серединну платинку і мітохондрію. Глобозоспермія успадковується як генетичний дефект [21].

Дефект голівки сперматозоїда, може бути наслідком інших дефектів сперми, які впливають на плодючість. Дефект ядра сперматозоїда пов'язують з безпліддям [54]. Ядерні дефект може пояснити невдачу при заплідненні ооцитів, відсутність сперматозоїд-залежних факторів, які виявляються залученими в прогресивному проникненні в ооцит, і які потрапляють в ооплазму при ядерних розширення і ДНК деконденсації [14].

У пацієнтів з чоловічим фактором безпліддя, які володіють прихованою аномалією в будові ядер їх сперміїв, характеризуються більш високим рівнем вільно упаковані хроматину і пошкодженої ДНК [6; 20].

**Структурні аномалії ядра** включають часткову або повну зміну в конденсації хроматину, ядерних вакуолей і включень. Ці дефекти часто зустрічаються в асоціації із змінами в структурі акросоми. Каріолітичні зміни або наявність великих внутрішньоядерних лакун або вакуоль є морфологічним проявом біохімічних змін, що лежать в основі. Цілком можливо, що морфологічно аномальні голівки сперматозоїда відображають аномалії сперматогенезу, що проявляється в ембріонів низьким потенціалом для відтворення нормальної вагітності [45].

**Структурні аномалії серединної пластинки.** Як у більшості ссавців і у людини центріолі і центросома успадковуються від батьків [41; 42]. Центросома сперматозоїда відіграє центральну роль у створенні першого і наступних ембріонального мітотичного веретена [47].

Після проникнення сперматозоїда, в центросомі з'являються мікротрубочки утворюючи спермо-залежну астру, і мікротрубочки очевидно, грають важливу роль в об'єднанні чоловічого і жіночого пронуклеусу в тісний зв'язок [33], і вони також можуть служити для встановлення вирівнювання з пронуклеусі мембрани необхід-

них для сингамії [48]. Оскільки мікротрубочки формуються зі центросомі спермія як і на ранніх стадіях запліднення людини так і у створенні першого мітотичного веретена [37; 48], дефект центросоми вказує на потенційну причину безпліддя і розвитку блокування на стадії пронуклеусу, і безпосередньо пов'язаний з репродуктивною функцією у людей [42; 47].

Дисфункція центросоми може являти собою новий різновид дефекту сперматозоїда, пов'язаний з ранньою стадією розвитку чоловічої неповноцінності [49]. Такі центросомні дефекти, ймовірно, становлять невелику частину випадків безпліддя чоловіків. Ступінь, в якій дефекти центросоми спричиняють ідіопатичне безпліддя у чоловіків вимагає аналізу функції центросоми та біохімії в обох як нормальних так і безплідних чоловіків [49]. Якщо центросомні дефекти є причиною чоловічого безпліддя, то цей тип безпліддя не може бути подолане простим шляхом перенесення сперматозоїда в ооплазму [2; 43; 49].

**Структурні аномалії хвоста.** Різні аксонемальні дефекти були зареєстровані у пацієнтів з відсутністю або порушення рухливості сперматозоїдів. Аномалії аксонемі складаються з числових або позиційних аномалій мікротрубочок або відсутність внутрішньої чи зовнішньої дінеїнових ручок. Повна відсутність дінеїнових ручок спричиняє знерухомлення сперматозоїда [16], в той час як відсутність тільки зовнішніх дінеїнових ручок не спричиняє повну нерухомість [19]. Субпопуляція пацієнтів з синдромом нерухомості дуже неоднорідна і іноді дефект не виникає у 100% сперматозоїдів [25]. Afzelius and Eliasson (1979) [1] повідомили про пацієнтів з різним порушенням війок спермія і запропонували генетичну причину цього синдрому.

Синдром обірваного хвоста зустрічається вкрай рідко і обумовлений дисфункцією на останніх стадіях сперматогенезу, і впливає на сперматиди і сперматозоїди в рівній мірі [5]. Синдром обірваного хвоста характеризується уніфлагелятною організацією джгутіка і з вкороченою аксонемою з структурою 9 + 2 або 9 + 0 відповідно, як правило, з дінеїновими ручками [3].

В синдромі вкороченого хвоста є дифлагелятні відповідності, з структурою 9 + 0 або 9 + 1 аксонемі і відсутність дінеїнових ручок обох синдромах. В більшості випадків синдром немає впливу на голівку сперматозоїда, але часто зустрічаються вплив на вигляд мітохондрії, спричиняючи руйнування її цілісної структури [44].

Найпоширеншим клінічний синдром, є синдром Картагенера [26], характеризується нормальною кількістю та морфологією при дослідженні методом світлової мікроскопії, де у паціє-

ентів 100% нерухомі, але живі сперматозоїди [26].

Периаксонемальна аномалія включає потовщення шару (неправильне положення або розміри) і аномалію оболонки мітохондрії, появу цитоплазматичних залишків на серединній пластинці, щільних волокон, поздовжніх стовпців (неправильне положення або розмір), аномалії волокнистої оболонки основної частини [9].

Дезорганізація мітохондріальної оболонки або її повна відсутність може привести до порушення рухливості в зв'язку з відсутністю синтезу АТФ. Мітохондрії мають важливе значення для клітинного метаболізму і відсутність їх продукції (АТФ) може призвести до дегенерації сперматозоїдів [27].

Аномалію периаксонемальної структури пов'язують з дефектами аксонемального комплексу у пацієнтів з тяжкою формою або повною астенозооспермією [11;19]. Виключна аномалія периаксонемального комплексу, пов'язана з порушеннями моторики за участю джгутиків, саме тому дискінезія так нещодавно і стала назватись "периаксонемальна дискінезія джгутиків" [13].

У пацієнтів нез'ясовною астенозооспермією, часто пов'язують аномалію периаксонеми з порушенням аксонеми, звідси висновок, що порушення аксонеми є не лише причиною зниження рухливості [9]. Такі аномалії часто пов'язані з дефектом в компонентів периаксонемальної структури і голівки сперматозоїда [9].

Іншим серйозним недоліком є поділ джгутика з голови (обезголовлений сперматозоїд). Цей дефект "шпилькової голівки" вважається генетично успадкованих [55]. Замість ядра глобулярна цитоплазматична маса оточує проксимальні сегменти обезголовленого джгутика, і називається мікроцефальний сперматозоїд у світловій мікроскопії.

**Морфологічна класифікація сперматозоїда.** Еякулят з нормальною запліднюючою здатністю містить сперматозоїди різноманітної варіації в розмірі і формі голови і акросоми, в ступені ядерної вакуолізація, зберігається розмір цитоплазматичних крапель, в порушення структури серединній пластинки та хвоста [35].

На рубежі минулого століття різні автори [4; 8; 24; 39] та інші описали детально не тільки нормальних але й патологічних сперматозоїдів. Всі автори погодилися, що існує певний зв'язок між морфологією аномальних сперматозоїдів і чоловічою репродуктивною функцією, але не було досягнуто згоди, щодо структури ненормального сперматозоїда. Важко встановити критерії нор-

мальності і ненормальності сперматозоїда. Були зроблені різні спроби стандартизувати критерії на морфологію сперматозоїдів [12; 16; 22; 30]. Перша класифікація зроблена Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) (1980) було важливим проривом оцінки морфології сперматозоїда. Hofmann і Haider (1985) [23]повідомляли іншу систему для оцінки морфології сперми, відому як класифікація Дюссельдорфа [23]. У цій системі класифікації, більший акцент робиться на подовження сперматозоїдів і акросомні дефекти. В другому зібранні ВООЗ (1987) були переглянуті керівні принципи аналізу сперми.

Kruger і Menkveld [28; 29; 31; 32] ввів суворі критерії для оцінки морфології спермів. У цій класифікації всі сперматозоїди враховується для оцінки і всі близькі до межі нормальності і злегка аномальні форми голови вважається, як ненормальні. Згідно строгих критерій Тугерберга, морфологічна оцінка результату може бути розділена на три категоріях: морфологічно нормальна група (> 14% нормальних форм), група з хорошим прогнозом для запліднення (4-14% нормальних форм) і група з поганим прогнозом (<4% нормальних форм) [28].

Таблиця I

	Strict Tygerberg criteria	WHO (1992)	
<b>Head</b>	Shape	smooth, oval	oval
	Acrosome	40-70% of head	40-70% of head
	Length (L)	3-5 μm	4-5.5 μm
	Width (W)	2-3 μm	2.5-3.5 μm
	W:L ratio	0.60-0.67	0.57-0.67
<b>Midpiece</b>	L=1.5× head length W= <1 μm slender, axially attached		regular, not bent or distended, inserted at 90° to long axis of head
<b>Tail</b>	L = ~ 45 μm uniform, uncoiled		not broken, uncoiled, regular, no terminal droplets
Cut-off value for normality	>14%		>30%
Borderline forms	abnormal		normal
Cytoplasmic droplets as proportion of head size	<1/3		<1/3

Modified from Ombelet *et al.* (1995)

На третьому з'їзді ВООЗ (1992) [53], набагато більше уваги приділялося оцінці морфології сперми. Окрім того були описані, морфологічно нормальні групи, чотири класи аномалії і був розрахований індекс тератозооспермії. Конкретні дефекти, що спричиняють стерильність, таких як синдром глобозооспермія повинні бути враховані. Порогові значення для нормального змінилися з 50% [52] до 30% морфологічно нормальних сперматозоїдів [53]

### Жірепатыра

1. Afzelius, B.A. and Eliasson, R. Flagellar mutants in man: On the heterogeneity of the immotile cilia syndrome. *J. Ultrastruct. Res.*, - 1979-,69, 43-52.
2. Asch, R., Simerly, C, Ord, T. et al. The stages at which human fertilization arrests: microtubule and chromosome configurations in inseminated oocytes which failed to complete fertilization and development in humans. *Mol. Hum. Reprod.*, 1, see *Hum. Reprod.*, 1995, 10,1897-1906.
3. Baccetti, B., Burrini, A.G., Capitani, S. et al. Notulae seminologicae.2. The 'short tail' and 'stump' defect in human spermatozoa. *Andrologia*, 1993, 25, 331-335.
4. Ballowitz, E. Zur Lehre von der struktur der spermatozoen. *Anat. Anz.*, 1886, 1, 363-376.
5. Barthelemy, C, Tharanne, M.J., Lebos, C. et al. Tail stump spermatozoa: morphogenesis of the defect. An ultrastructural study of sperm and testicular biopsy. *Andrologia*, 1989, 22, 417-425.
6. Bianchi, P.G., Manicardi, G.C., Urner, F. et al. Chromatin packaging and morphology in ejaculated human spermatozoa: evidence of hidden anomalies in normal spermatozoa. *Mol.Hum. Reprod.*, 1996, 2, 139-144.
7. Bostofte, E., Serup, J. and Rebbe, H. Relation between morphologically abnormal spermatozoa and pregnancies obtained during a twenty year follow-up period. *Int. J. Androl.*, 1982, 5, 379-386.
8. Branca, A. Les canalicules testiculaires et la spermatogenese de l' homme. *Arch. Zool. Exp. Gen.*, 1924, 62, 54-252.
9. Courtade, M., Lagorce, C, Bujan, L. et al. Clinical characteristics and light and transmission electron microscopic sperm defects of infertile men with persistent unexplained asthenozoospermia. *Fertil. Steril.*, 1998, 70, 297-304.
10. Chan, S.Y.W., Wang, C, Chan, S.T.H. et al. Predictive value of sperm morphology and movement characteristics in the outcome of in vitro fertilization of human oocytes. *J. In Vitro Fertil. Embryo Transfer*, 1988, 6, 142-148.
11. Chemes, H.E., Brugo, S., Zanchetti, F. et al. Dysplasia of the fibrous sheath: an ultrastructural defect of human spermatozoa associated with sperm immotility and primary infertility. *Fertil.Steril*, 1987,4, 664-669.
12. David, G., Bisson, J.P., Czyglik, F. et al. Anomalies morphologiques du spermatozoide humain.I) Propositions pour un system de classification. *J. Gynecol. Obstet. Biol. Reprod.*, 1975, 4, (Suppl. 1), 17-36.
13. David, G., Feneux, D., Serres, C. et al. Une nouvelle entite pathologique du spermatozoide la dyskinesie flagellaire periaxonemale. *Bull. Acad. Nat. Med.*, 1993, 177, 263-265.
14. Dozortsev, D., Rybouchkin, A., DeSutter, P. et al. Human oocyte activation following intracytoplasmic injection: the role of the sperm cell. *Hum. Reprod.*, 1995, 10, 403-407.
15. Eggert-Kruse, W., Schwarz, H., Rohr, G. et al. Sperm morphology assessment using strict criteria and male fertility under in-vivo conditions of conception. *Hum. Reprod.*, 1996, 11, 139-146.
16. Eliasson, R., Mossberg, B., Camer, P. and Afzelius, B.A. The immotile-cilia syndrome: a congenital ciliary abnormality as an etiologic factor in chronic airway infection and male sterility. *N. Eng. J. Med.*, 1977, 297, 1-6.
17. Eliasson, R. Standards for investigation of human semen? *Andrologie*, 1971, 3, 49-64.
18. Enginsu, M.E., Dumoulin, J.C.M., Pieters, M.H.E.C. et al. Evaluation of human sperm morphology using strict criteria after Diff-Quick staining: correlation of morphology with fertilization in vitro. *Hum. Reprod.*, 1991, 6, 854-858.
19. Escalier, D. and David, G. Pathology of the cytoskeleton of the human sperm flagellum: axonemal and peri-axonemal anomalies. *Biol. Cell*, 1984, 50, 37-52.
20. Evenson, D.P., Darzynkiewicz, Z. and Melamed, M.R. Relation of mammalian sperm chromatin heterogeneity to fertility. *Science*, 1980, 240, 1131-1133.
21. Florke-Gerloff, S., Toepfer-Petersen, E., Müller-Esterl, W. et al. Biochemical and genetic investigation of round-headed spermatozoa in infertile men including two brothers and their father. *Andrologia*, 1984, 16, 187-202.
22. Freud, M. Standards for the rating of human sperm morphology. *Int. J. Fertil.*, 1966, 11, 97-118.
23. Hofman, N. and Haider, S.G. Neue Ergebnisse morphologischer Diagnostik der Spermatogenestörungen. *Gyndkolge*, 1985, 18, 70-80.
24. Jensen, O.S. Struktur der Samenfaden. Zitiert nach Ballowitz (1886).
25. Johnson, M.M., McCormick, J.R., Gillies, C.G. and Gondoss, B. Kartagener's syndrome with motile spermatozoa. *N. Engl. J. Med.*, 1982, 307, 1131-1133.
26. Kartagener, M. Zur pathogenese der bronchiectasien. 1. Bronchiectasien bei situs viscerum inversus. *Beitr. Klin. Tuberk*, 1933, 83, 489-501.
27. Kiipker, W., Schulze, W. and Dietrich, K. Ultrastructure of gametes and intracytoplasmic sperm injection: the significance of sperm morphology. *Hum. Reprod.*, 1998, 13, (Suppl.1), 99-106.
28. Kruger, T.F, Acosta, A.A., Simmons, K.F. et al. Predictive value of abnormal morphology in in vitro fertilization. *Fertil. Steril*, 1988, 49, 112-117.
29. Kruger, T.F., Menkveld, R., Stander, F.S.H. et al. Sperm morphologic features as a prognostic factor in in vitro fertilization. *Fertil. Steril*, 1986, 46, 1118-1123.
30. MacLeod, J. and Gold, R.Z. The male factor in fertility and infertility.IV. Sperm morphology in fertile and infertile marriage. *Fertil. Steril*, 1951, 2, 394-414.
31. Menkveld, R. An Investigation of Enviromental influences on Spermatogenesis and Semen Parameter, Ph.D. Dissertation, Faculty of Medicine, University of Stellenbosch, South Africa, 1987.
32. Menkveld, R., Stander, F.S.H., Kortze,TJ.W. et al. The evaluation of morphological characteristics of human spermatozoa according to stricter criteria. *Hum. Reprod.*, 1990, 5, 586-592.



33. Navara, C. First, N. and Schatten, G. Microtubule organization in the cow during fertilization polyspermy, parthenogenesis and nuclear transfer: the role of the sperm aster. *Dev. Biol.*, 1994, 162, 29-40.
34. Ombelet, W., Bosmans, E., Janssen, M. et al. Semen parameters in a fertile versus subfertile population: a need for change in the interpretation of semen testing. *Hum. Reprod.*, 1997a, 12, 987-993.
35. Ombelet, W., Menkveld, R., Kruger, T.F. and Steeno, O. Sperm morphology assessment: Historical review in relation to fertility. *Hum. Reprod. Update*, 1995, 1, 543-557.
36. Ombelet, W., Fourie, F. IeR., Vandeput, H. et al. Teratozoospermia and in-vitro fertilization: a randomized prospective study. *Hum. Reprod.*, 1994, 9, 1479-1484.
37. Palermo, G., Munne, S. and Cohen, J. The human zygote inherits its meiotic potential from the male gamete. *Hum. Reprod.*, 1994, 9, 1220-1225.
38. Pedersen, H. Observations on the axial filament complex of the human spermatozoon. *J. Ultrastruct. Res.*, 1970, 33, 451-462.
39. Retzius, G. Zur Kenntnis der Spermatozoen. *Biologische Untersuchungen, Neue Folge X. Fischer, Jena*, 1902, pp. 45-60, Taf XV, XVI.
40. Rogers, B.J., Bentwood, B.J., Van Campen, H. et al. Sperm morphology assessment as an indicator of human fertilizing capacity. *J. Androl.*, 1983, 4: 119-125.
41. Sathananthan, A., Kola, I., Osborne J. et al. Centrioles at the beginning of human development. Sathananthan, A., Kola, I., Osborne J. et al. (1991) *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 88, 4806-4810.
42. Schatten, G. The centrosome and its mode of inheritance: the reduction of the centrosome during gametogenesis and its restoration during fertilization. *Dev. Biol.*, 1994, 165, 299-335.
43. Simerly, C, Wu, G.-J., Zoran, S. et al. (1995) The paternal inheritance of the centrosome, the cell's microtubule-organizing center, in humans, and the implications for infertility. *Nature Med.*, 1, 47-52.
44. Stalf, T., Sanchez, R., Kohn, F.-M. et al. Pregnancy and birth after intracytoplasmic sperm injection with spermatozoa from a patient with tail stump syndrome. *Hum. Reprod.*, 1995, 10, 2112-2114.
45. Tasdemir, I., Tasdemir, M., Tavukcuoglu, S. et al. Effect of abnormal sperm morphology on the outcome of intracytoplasmic sperm injection in humans. *Hum. Reprod.*, 1997, 12, 1214-1217
46. Tash, J.S. and Means, A.R. Cyclic adenosine 3',5' monophosphate, calcium and protein phosphorylation in flagellar motility. *Biol. Reprod.*, 1983, 28, 75-104.
47. Van Blerkom, J., Davis, P. Evolution of the sperm aster after microinjection of isolated human sperm centrosomes into meiotically mature human oocytes. *Mol. Hum. Reprod.*, 1, see *Hum. Reprod.*, 1995, 10, 2179-2182
48. Van Blerkom, J., Davis, P., Merriam, J. and Sinclair, J. Nuclear and cytoplasmic dynamics of sperm penetration, pronuclear formation, and microtubule organization during fertilization and early preimplantation development in the human. *Hum. Reprod. Update*, 1995, 1, 429-461.
49. Van Blerkom, J. Sperm centrosome dysfunction: a possible new class of male factor an infertility in the human. *Mol. Hum. Reprod.*, 1996, 2, 349-354.
50. Wichman, L., Isola, J. and Tuohimaa, P. Prognostic variables in predicting pregnancy. A prospective follow up study of 907 couples with infertility problems. *Hum. Reprod.*, 1994, 9, 1102-1108.
51. World Health Organization (1980) *WHO Laboratory Manual for the Examination of Human Semen and Semen-Cervical Mucus Interaction*, 1st edn. Press Concern, Singapore.
52. World Health Organization (1987) *WHO Laboratory Manual for the Examination of Human Semen and Semen-Cervical Mucus Interaction*, 2nd edn. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
53. World Health Organization (1992) *WHO Laboratory Manual for the Examination of Human Semen and Semen-Cervical Mucus Interaction*, 3rd edn. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
54. Zamboni, L. The ultrastructural pathology of the spermatozoa as cause of infertility: the role of electron microscopy in the evaluation of semen quality. *Fertil. Steril.*, 1987, 48, 711-734.
55. Zaneveld, L., Polakowski, K.L. Collection and physical examination of the ejaculate. In Hafez, E.S.E. (ed.), *Techniques of Human Andrology*. Elsevier-North Holland, Amsterdam, 1977, pp. 147-172.

**Yatskiv O.M., Tarnovska A.V. Fertilizing ability of spermatozoa with abnormal morphology**

**Abstract:** In this article an overview on the composition and ultrastructure of spermatozoa is presented, while emphasizing sperm ultrastructural and anomalies and their effects on fertilization. A comprehensive high quality semen analysis is an essential first line investigation for the infertile couple. Semen quality is conventionally determined according to the number, motility and morphology of spermatozoa in an ejaculate. Of all semen parameters, sperm morphology turns out to be the best predictor of a man's fertilizing potential. A link has been established between sperm morphological characteristics and infertility by many investigators.

**Keywords:** morphology, pathology, hlobozoospermiya, sperm, acrosoma

**Яцкив О.М., Тарновская А.В. Оплодотворяющая способность сперматозоида с аномальной морфологией**

**Аннотация:** В этой статье мы рассмотрели ультраструктуры и составляющие элементы сперматозоидов, обратили внимание при этом на ультраструктурные аномалии и их влияние на оплодотворение. Широкий анализ качества спермы является важным этапом при исследовании причины бесплодия пары. Качество спермы традиционно определяется соответственно от количества, подвижности и морфологии сперматозоидов в эякуляте. Параметры спермы, морфология сперматозоидов оказывается лучшим предсказателем потенциала мужской фертильности.

**Ключевые слова:** морфология, патология, глобозооспермия, сперматозоид, акросома

BIOLOGY

Pokhylenko A.P.<sup>1</sup>, Korolev A.V.<sup>2</sup>

Importance of Julida (Diplopoda) trophical and biotopical characteristics for anthropogenic impact estimation of millipede habitat in forest ecosystems of Samarskyi Forest

<sup>1</sup> Pokhylenko Alevtyna Pavlovna, junior staff scientist,

<sup>2</sup> Korolev Aleksei Vladimirovich, junior staff scientist

Scientific Research Institute of Biology, Oles' Gonchar Dnepropetrovsk National University, Dnepropetrovsk, Ukraine

**Abstract:** Using litter and soil sampling, seven different forest ecosystems in Samarskyi Forest (Novomoskovskiy region, Dnepropetrovskaya oblast) were investigated. Among 6 millipede species revealed, *Rossius kessleri* (Lohmander, 1927) and *Megaphyllum rossicum* (Timotheew, 1897) predominated in all wood stands they revealed. Trophic preferences of Julida order representatives (Diplopoda) are reviewed. It is revealed millipede's biotopical confinedness. Interdependence between diplopod's distribution in forestry ecosystems in Samarskyi Forest and anthropogenic transformation of the given territories is analyzed.

**Keywords:** diplopoda, trophic specialty, leaf litter, forest ecosystems.

One of the dominating groups of initial destructors of leaf litter is Diplopoda [14]. Millipedes contribute leaf litter destruction, supporting, therefore, soil trophic nets in forestry ecosystems [29, 30]. Diplopoda play significant role in biological nutrient cycle [2, 3, 5, 11]. Integrate ecosystem approach to investigation of diplopod's population structure enable to understand the organization principles of forest ecosystems. It is necessary for reforestation events and fertility rising.

Plant residues, as nutritional substrate, define the propensity to polyphage, and low food selectivity. Substantial differences in masticatory parts of mandibles have not been found yet [12]. However, the results of isotopic composition analysis of diplopod tissues show the presence of the species trophic differentiation [24]. Presumably, it is associated with diplopod's feeding on different microflora (saprotrophic, xylophagous). Unavailability of trophic differentiation (except narrow specialized species) is observed in millipedes' communities of temperate latitudes. Trophic differentiation level and trophic niche range increase with the increasing of taxocen species diversity, thus, clear differences between species' guilds is occurred.

To detect trophic differentiation and biotopical confinedness of Julida order, and to assessment anthropogenic impact in condition of forest ecosystems in Samarskyi Forest we have sampled more intensively. Forest representing one of the most natural woodlands in Europe and it is situated in the central part of the steppe zone of Ukraine. General area of the forest mentioned above is  $15 \times 10^3$  hectares. The greatest ecosystem diversity forms the Samara River – one of the biggest inflow of the Dniper River.

Material (mature individuals of Julida order) was collected during 2002–2008 by standard method of leaf-litter sampling at 7 study sites of Samarskyi

Forest (Dnepropetrovskaya oblast, Novomoskovskiy region). Three leaf-litter samples were set per study site every two weeks during autumn seasons 2002–2008. The material comprised 72 litter samples of Diplopoda collected. The laboratory part of the experiment conducted on the basis of Prysamarskyi International Biosphere Centre by A.L.Bel'gard (Dnepropetrovskaya oblast, Novomoskovskiy region). The present paper focuses on general comparative characteristics of the diplopod fauna of seven different forest types. Biogeocoenoses were chosen in accordance with extrazonal growth classification (natural and artificial forests) of steppe zone by A.L.Bel'gard [1]. All study sites were situated in mature (over 60 years) woods.

1. Dry-mesophilous ( $Dn_{1-2}$ ) even-aged gappy stand of *Gleditsia triacanthos* L. (10%) and *Ulmus laevis* Pall. (5%). It is herbless shelter forest. Leaf litter is single-layer, rot-shaped, fragmentary, thickness of 1,5cm. Terrain type – terrace plain.

2. Dry-mesophilous ( $B_{1-2}$ ) pine grass arena forest. Grass stand is a *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. Litter is two-layer, thickness of 2,5cm. Top layer consists of dead pine needles, and half-decomposed leaves. Bottom layer – rot-shaped, difficult to spit from soil. Terrain type – terrace plain. Terrain type – terrace sand plain.

3. Mesophilous flood plain ( $Dac'_2$ ), timber stand is an English oak (*Quercus robur* L.) with small-leaved linden (*Tilia cordata* Mull.) and green ash (*Fraxinus lanceolata* Borkh.). Grass stand is a starwort *Stellaria holostea* L. Litter is two-layer, cohesive, tightly, thickness of 2,5cm, easily to spit from soil. Terrain type – terrace flood plain.

4. Mesophilous ravine forest ( $Dn_2$ ), timber stand is an English oak (*Quercus robur* L.) alternately with Norway maple *Acer platanoides* L., and European ash *Fraxinus excelsior* L. Herbage is a nemerensis motley grass. Litter is two-layer, cohesive, tightly,

thickness of 2,5cm, consists of dead and half-decomposed leaves. Terrain type – flood plain.

5. Mesohygrophilous osiery (*Salix alba* L.) with a green ash (*Fraxinus lanceolata* Borkh.) in the flood plain ( $B_3$ ). Grass stand is a stinging nettle (*Urtica dioica* L.). Litter is two-layer, cohesive, thickness of 1cm. Terrain type – terrace flood plain.

6. Hygromesophilous ( $D'n_{3-4}$ ) alder-birch closed thicket (70%). Grass stand is wetted tall herbage. Timber stand is European alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), and aspen *Populus tremula* L. Litter is two-layer, friable, thickness of 5,5cm. Top layer consists of half-decomposed leaves, bottom layer is turf and difficult to spit from soil. Terrain type – terrace sand plain.

7. Hygrophilous alder thicket ( $D'n_4$ ) in the terrace flood plain. Grass stand is marshy tall herbage. Secondary stand are European alder (*Alnus glutinosa* (L.)), green ash (*Fraxinus lanceolata* Borkh.), smooth-leaved elm (*Ulmus carpinifolia* Rupp. ex G. Suchow.). Litter is three-layer, cohesive, tightly, thickness of 2cm. Terrain type – terrace sand plain.

Altogether, 6 species of Diplopoda of two orders were identified from the material (*Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927), *Megaphyllum rossicum* (Timotheew, 1897), *M. sjaelandicum* (Meiner, 1868), *Julus terrestris* (Berlese, 1884) (Julidae), *Polydesmus complanatus* (Linnaeus, 1758), *Schizothuranius dmitriewi* (Timotheew, 1897) (Polydesmidae)). All species (except *J. terrestris* (Berlese)) were recorded in seven types of forest. A highly complete species composition of the Diplopoda was found in all forest types, except dry-mesophilous even-aged gappy stand of gleditsia and Russian elm (study site №1). Maximum number of millipedes was registered in mesophilous ravine forest – 12 individuals per m<sup>2</sup> (study site №4), while minimum was observed at hygrophilous alder forest in the terrace flood plain. Only in the given study site (№7) solitary specimens of *J. terrestris* (Berlese) were marked. Maximum density of Julidae millipedes was noticed in study site №4, due to ubiquitous *R. kessleri* (Lohm.). Being the endemic of the Russian Plain and Northern Caucasus [17], and ecologically flexible representative of Julidae family [18], *R. kessleri* (L.) is often found in the ecoton biotopes of steppe zone of Ukraine [4, 6, 15]. Having the pronounced tendency to the humid forest biotopes, *M. sjaelandicum* (Mein.) is widely spread in the Eastern Europe and the European CIS [8, 17]. *M. rossicum* (Timoth.) is ubiquitous, endemic of the Russian Plain, Crimea, and Caucasus; it is prone to synanthropization and is widely spread in the steppe zone of Ukraine [17].

The few representatives of the Polydesmida order are faintly active and colonize shallow part of

the leaf litter [16]. *P. complanatus* (L.) is often found in alder thicket [23, 25, 27], and *S. dmitriewi* (Timoth.) – in deciduous forests [7, 28].

It is known that the main food of saprophages is microflora [20]. This is confirmed by the isotopic composition analysis coincidence of carbon in diplopod tissues and saprotrophic organisms [24]. It is also known that microflora shows selectivity in relation to the plant substrate [19, 22]. Basing on the results of the laboratory experiment, ANOVA-test was conducted. Widespread *R. kessleri* (Lohm.) as model species was chosen. Thus, it was revealed that individuals demonstrate selectivity in relation to the offered food resources: birch-aspen, alder-maple-oak-pine needles [9]. Consumed plant resources are marked in decreasing order. Herewith, maximum number of *Escherichia coli* colonies (wild type) observed in the inoculations from intestinal cavity of that individuals, which have consumed one-component sterile maple (*Acer campestre* L.) litter (37,0%). Minimum number of the mentioned colonies was pointed out at specimens, which have consumed one-component sterile alder litter (0,1%) [13]. Trophic links are the basis of biogeocoenosis [21], which has specific cycle of energy and substances and that is reflected on the qualitative composition of forest litter and rate of its destruction. Therefore, absence or presence of one or another species is observed in biotopes with different quantitative and qualitative composition of leaf litter.

Moisture-loving species *Julus terrestris* (Berlese) belongs to the category of relict species (R) [26], the most stenotopic species, preferring areas minimally affected by anthropogenic impact. But for stabilized biotopes the category of eutopic species (E) is the most typically, for example, *Rossiulus kessleri* (Lohm.). Widespread adaptive species (A) *Megaphyllum rossicum* (Timoth.) and *M. sjaelandicum* (Mein.) may be found not only in forest ecosystems, but also in technologically transformed ecosystems of urban agglomerations [10]. It is shown that most of the studied biotopes are exposed the anthropogenic factors. Communities of Diplopoda inhabiting the Samarskyi Forest consist of 1-6 species, depending on the type of forest. *Rossiulus kessleri* (Lohm.), *Megaphyllum rossicum* (Timoth.) are dominant species in most types of forest. Variation in humidity affects the species composition of Diplopoda communities. Millipedes are one of the few groups able to fragment dead wood and leaves into smaller pieces, making the organic material available for further decomposition by fungi, bacteria, and microinvertebrates. In forest soils in particular, millipedes facilitate decomposition of leaf litter, support soil food webs.

## Литература

1. Бельгард А. Л. Лесная растительность юго-востока УССР. – К.: КГУ, 1950. – 264 с.
2. Бызова Ю. Б. Об оценке роли Diploroda в круговороте кальция // Зоологический журнал. – 1970. – Т. 49, вып. 11. – С. 1638-1643.
3. Бызова Ю. Б. Обмен кальция в кутикуле кивсяков (Julioidea) и мокриц (Oniscoidea) в межлиночный период // Зоологический журнал. – 1973. – Т. 52, вып. 2. – С. 271-274.
4. Гиляров М. С. Зоологический метод диагностики почв. – М.: Наука, 1965. – 279 с.
5. Гиляров М. С. Кивсяки (Julioidea) и их роль в почвообразовании // Почвоведение. – 1957. – № 6. – С. 74-80.
6. Гиляров М. С. Почвенная фауна р. Деркул // Труды Ин-та леса АН СССР, 1956. – Т. 30. – С. 235-278.
7. Жуков О. В. Екоморфичний аналіз консорцій ґрунтових тварин: монографія. – Д.: Свідлер А. Л., 2009. – 239 с.
8. Локшина И. Е. Характер распределения многоножек (Diploroda) в пределах Русской равнины // Проблемы почвенной зоологии. – М.: Наука, 1966. – С. 82-83.
9. Похиленко А. П. Роль Diploroda в разложении лесного опада в условиях долинно-террасового ландшафта Присамарья Днепропетровского // Zoocenosis–2005. Біорізноманіття та роль зооценозу в природних і антропогенних екосистемах: Матеріали III Міжнародної наукової конференції. – Д.: ДНУ ім. Олеса Гончара, 2005. – С. 208.
10. Похиленко А. П., Корольов О. В., Шульман М. В. Особливості угруповань підстилкових безхребетних техногенно трансформованих територій на прикладі м. Дніпропетровська // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: ЗНУ, 2009. – Вип. 14, № 1. – С. 121-134.
11. Покаржевский А. Д. Участие почвенных сапрофагов в миграции зольных элементов в лесостепных биогеоценозах // Биота основных геосистем центральной лесостепи. – М.: Ин-т географии АН СССР, 1976. – С. 96-108.
12. Пришутова З. Г. Особенности постэмбрионального роста кивсяка *Rossiulus kessleri* (Julidae) // Зоологический журнал. – Т. 80, № 8. – 2001. – С. 937-945.
13. Редько В. В. Структура мікробного та протозойного населення кишечника кивсяка *Rossiulus kessleri* (Diploroda) // Zoocenosis–2007. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: Матеріали IV Міжнародної наукової конференції. – Д.: ДНУ ім. Олеса Гончара, 2007. – С. 210-211.
14. Стриганова Б. Р. Питание почвенных сапрофагов. – М.: Наука, 1980. – 243 с.
15. Топчиев А. Г. Животное население мертвого покрова в искусственных лесах степной зоны Украины // Научн. зап. Днепропетр. гос. ун-та. – 1960. – Т. 62. – С. 341-367.
16. Хотько Э. И., Ветрова С. Н., Матвиенко А. А., Чумаков Л. С. Почвенные беспозвоночные и промышленные загрязнения. – М.: Наука и техника, 1982. – 264 с.
17. Черный Н. Г., Головач С. И. Двупарноногие многоножки равнинных территорий Украины. – К.: Наукова думка, 1993. – 56 с.
18. Чорний Н. Г. Поширення та особливості екології сірого кивсяка в зоні Лісостепу України // Проблеми загальної та молекулярної біології. – К., 1992. – Вип. 10. – С. 40-43.
19. Vyzov V. A., Claus H., Tretyakova E. B., Zvyagintsev D. G., Filip Z. Effects of soil invertebrates on the survival of some genetically engineered bacteria in leaf litter and soil // Journal Biology and Fertility of Soils. – 1996. – Vol. 23. – N 3. – P. 221-228.
20. Pokarzhevskii A. D., Straalen N. M., Zaboev D. P., Zaitsev Andrei S. Microbial links and element flows in nested detrital food-webs // Pedobiologia. – 2003. – Vol. 47. – P. 213-224.
21. Pontegnie M., du Bus de Warnaffe G., Lebruna Ph. Impacts of silvicultural practices on the structure of hemi-edaphic macrofauna community // Pedobiologia. – 2005. – № 49. – P. 199-210.
22. Rambelli A., Mulas B., Pasqualetti M. Comparative studies on microfungi in tropical ecosystems in Ivory Coast forest litter: behaviour on different substrata // Mycological Research. – 2004. – V. 108. – P. 325-336.
23. Reip Hans S., Voigtländer Karin Diploroda and Chilopoda of Thuringia, Germany // Soil organisms. – Vol. 81 (3). – 2009. – P. 635-645.
24. Semenyuk I. I., Tiunov A. V. Intra-species variation and age-related changes in the isotopic composition ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) of millipedes (Myriapoda, Diploroda) // Abstracts of XIII Nordic Ecology Meeting. – 2011. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.jyu.fi/bioenv/en/research/nssz13>.
25. Tajovský Karel, Wytwer Jolanta Millipedes and centipedes in wetland alder stands in north-eastern // Soil organisms. – Vol. 81 (3). – 2009. – P. 761-772.
26. Tuf I. H., Tufova J. Proposal of ecological classification of centipede, millipede and terrestrial isopod faunas for evaluation of habitat quality of Czech Republic // Cas. Slez. Mus. Opava (A). – 2008. – Vol. 57. – P. 37-44.
27. Wytwer J., Tracz H. Diploroda communities in different forest habitats of Bialowieza Primeval Forest, Poland // Journal Zoology and wildlife conservation – 2003. – Vol. 44. – Is. 1. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.BioMedSearch.com/article/Diploroda-communities-in-different-forest/204859792.html](http://www.BioMedSearch.com/article/Diploroda-communities-in-different-forest/204859792.html).
28. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kkmo2.verhovye.ru> (Красная Книга Московской области)
29. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mnhn.fr> (Centre International de Myriapodologie)
30. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.myriapoda.org> (Wikispecies free species directory)

Похиленко А.П., Королёв А.В.

**Значение трофической и топической характеристик многоножек *Julida* для оценки антропогенного влияния на местообитания диплопод в экосистемах Самарского леса**

**Аннотация:** С использованием метода почвенных проб и ручной разборки подстилки исследована фауна Diploroda 7 пробных участков в различных типах лесных экосистем Самарского леса (Новомосковский район, Днепропетровская область). Из 6 обнаруженных видов, *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927) и *Megaphyllum rossicum* (Timotheew, 1897) преобладали в большинстве исследованных биотопов. Исследованы трофические предпочтения многоножек отряда *Julida*, выявлена биотопическая приуроченность отдельных представителей данной группы диплопод. Проанализирована взаимосвязь особенностей распространения диплопод со степенью антропогенной трансформации лесных экосистем Самарского леса.

**Ключевые слова:** диплоподы, трофическая специализация, лесная подстилка, лесные экосистемы.

Корж А.П.<sup>1</sup>, Фролов Д.А.<sup>2</sup>

### Проблемы управления метапопуляцией охотничьего фазана ex-situ

<sup>1</sup> Корж Александр Павлович, кандидат биологических наук, доцент

<sup>2</sup> Фролов Дмитрий Александрович, аспирант,  
Запорожский национальный университет, г. Запорожье, Украина

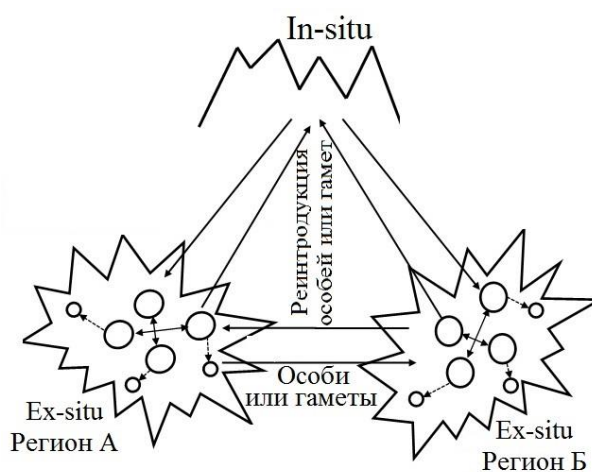
**Аннотация:** Нами была разработана эвристическая модель управления состоянием метапопуляции охотничьего фазана в условиях ex-situ на основании оценки его состояния в некоторых хозяйствах юго-востока Украины. Она складывается из четырех взаимосвязанных блоков: двух производственных, одного контролирующего и одного управляющего. Предложенная модель позволяет эффективно корректировать отдельные элементы производственного процесса, устраняя лимитирующие воздействия. Основой для ее функционирования служит качество инкубационных яиц, являющихся индикаторами состояния популяции в целом.

**Ключевые слова:** метапопуляция, охотничий фазан, управление, яйцо, лимитирующее воздействие.

В последнее время наблюдается существенное уменьшение количественного и качественного состава охотничьих ресурсов, особенно в странах со значительным антропогенным прессом на естественные экосистемы [7]. Во многом это объясняется тем, что охотничьи животные испытывают двойную антропогенную нагрузку: с одной стороны, непосредственное изъятие части популяции во время опромышления, с другой – в результате преобразования их среды обитания [10].

Одним из последствий ощутимой антропогенной нагрузки является фрагментация мест обитания значительного количества видов, вследствие чего образуются популяционные резерваты [11, 13]. Для обозначения системы локальных группировок организмов, соединенных нитями мигрантов, в 1969 году *S. Levin* предложил термин метапопуляция [14, 15].

Приставка «мета» обозначает устойчивость состояния системы на основании динамичности её компонентов. Соответственно, модель метапопуляции предполагает исчезновение локальных группировок (локалитетов), их возобновление, появление новых, а также соответствующую динамику пространственной структуры метапопуляции в целом (пульсацию популяционного ареала) [1].



**Рис. 1.** Структура метапопуляции видов, содержащихся в искусственных условиях и имеющих природные локалитеты [9]

Согласно современным представлениям [9] об особенностях существования животных и их взаимодействия в условиях ex-situ и in-situ, происходит обмен мигрантами во время интродукции, отлова особей из природной среды, исчезновение и восстановление мелких локальных группировок (рис. 1). Таким образом, человек искусственно создает и поддерживает метапопуляцию соответствующего вида, имеющую функциональные элементы в естественных и искусственных условиях. Поэтому искусственно фор-

мируемое поголовье охотничьего фазана в естественной среде является ничем иным, как метапопуляцией.

Поскольку птицы вследствие интродукции в естественную среду в последующем оказывают влияние на свойства метапопуляции охотничьего фазана в целом, возникает необходимость контроля данного процесса [17]. В Украине работы по оценке состояния охотничьего фазана как в условиях in-situ, так и ex-situ практически отсутствуют. Отдельными исследователями рассматриваются некоторые анатомо-морфологические аспекты, а так же влияние отдельных факторов на популяцию данного вида [2, 3, 5]. Попытки комплексной оценки биологических особенностей охотничьего фазана в условиях ex-situ не проводились. Охотничий фазан считается достаточно непростым для выращивания видом [16], поэтому актуальным является оценка состояния как отдельных локалитетов, так и его метапопуляции в условиях ex-situ.

Целью работы была попытка создания модели управления состоянием метапопуляции в условиях ex-situ.

D.L. Hallett, W.R. Edwards, G.V. Burger [12] предложили модель управления популяцией охотничьего фазана в угодьях (рис. 2). Для естественной популяции модель отображает годовой цикл развития фазана, а также механизмы влияния экологических факторов на его жизненные процессы.

Данная модель опирается на исходную численность фазанов в угодьях, а так же предусматривает анализ половой структуры популяции и зависимость их плотности от влияния хищников. Особое внимание уделяется наличию территориальных самцов, размерам гаремов (в природных условиях в большинстве случаев на 1 самца приходится 3 самки), а также успешности гнездования. В частности, оценивается количество кладок за сезон, их выживаемость, достаточность для птенцов кормовой базы.

Молодняк, который выжил, вместе с родительскими особями и интродуцентами формирует осеннюю популяцию. В этом случае благодаря интродукции возможна корректировка природной численности фазана к сезону охоты. Завершающим этапом является оценка состояния популяции после охотничьего сезона и успешность перенесения зимнего периода.

Баланс между интродуцентами и естественной численностью популяции позволяет сделать обобщающие выводы, анализ которых говорит о критичности модели. Если наблюдаются прогнозируемые или заложенные ранее результаты в начале цикла, то можно признать проведенную за сезон работу успешной. Если же результаты

не удовлетворяют поставленным задачам, вносятся необходимые корректировки и алгоритм повторяется.

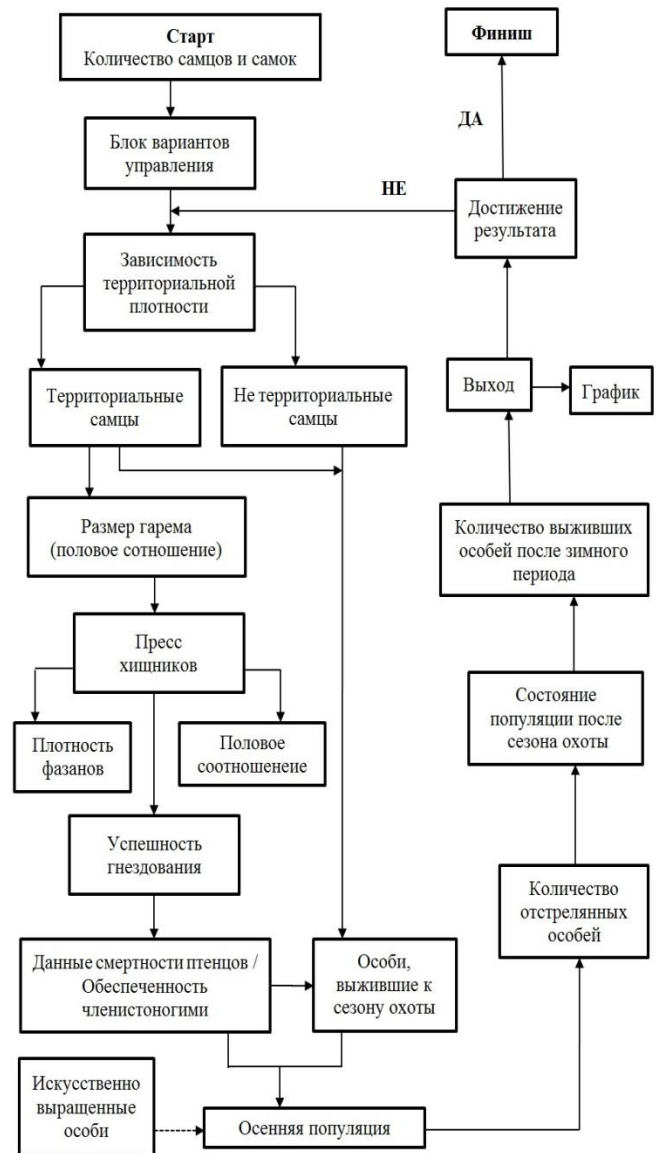


Рис. 2 – Модель управления популяцией охотничьего фазана в условиях in-situ [12].

По мнению самих авторов, модель является неокончательной и может корректироваться в зависимости от местных условий. Внедрение данной модели в практику охотничьего хозяйства позволяет за несколько сезонов значительно поднимать количество особей в угодьях, а популяцию поддерживать на эксплуатационном уровне [12].

На наш взгляд, указанная модель имеет некоторые недостатки, среди которых следует остановиться на двух наиболее значимых. Во-первых, указанная модель абсолютно не учитывает преобразование угодий вследствие человеческой деятельности, что также существенно сказывается на эффективности репродукции птиц. В частности, это касается фактора беспо-

койства в репродуктивный период, недостатка гнездопригодных территорий, гибели кладок и птенцов вследствие механизации и химизации сельскохозяйственного производства и т.д. Вторых, решающее значение для эффективности

процесса интродукции имеет качество самих интродуцентов и схемы проведения выпуска. Поэтому возникает проблема разработки подобной схемы управления состоянием метапопуляции охотничьего фазана в условиях ex-situ.

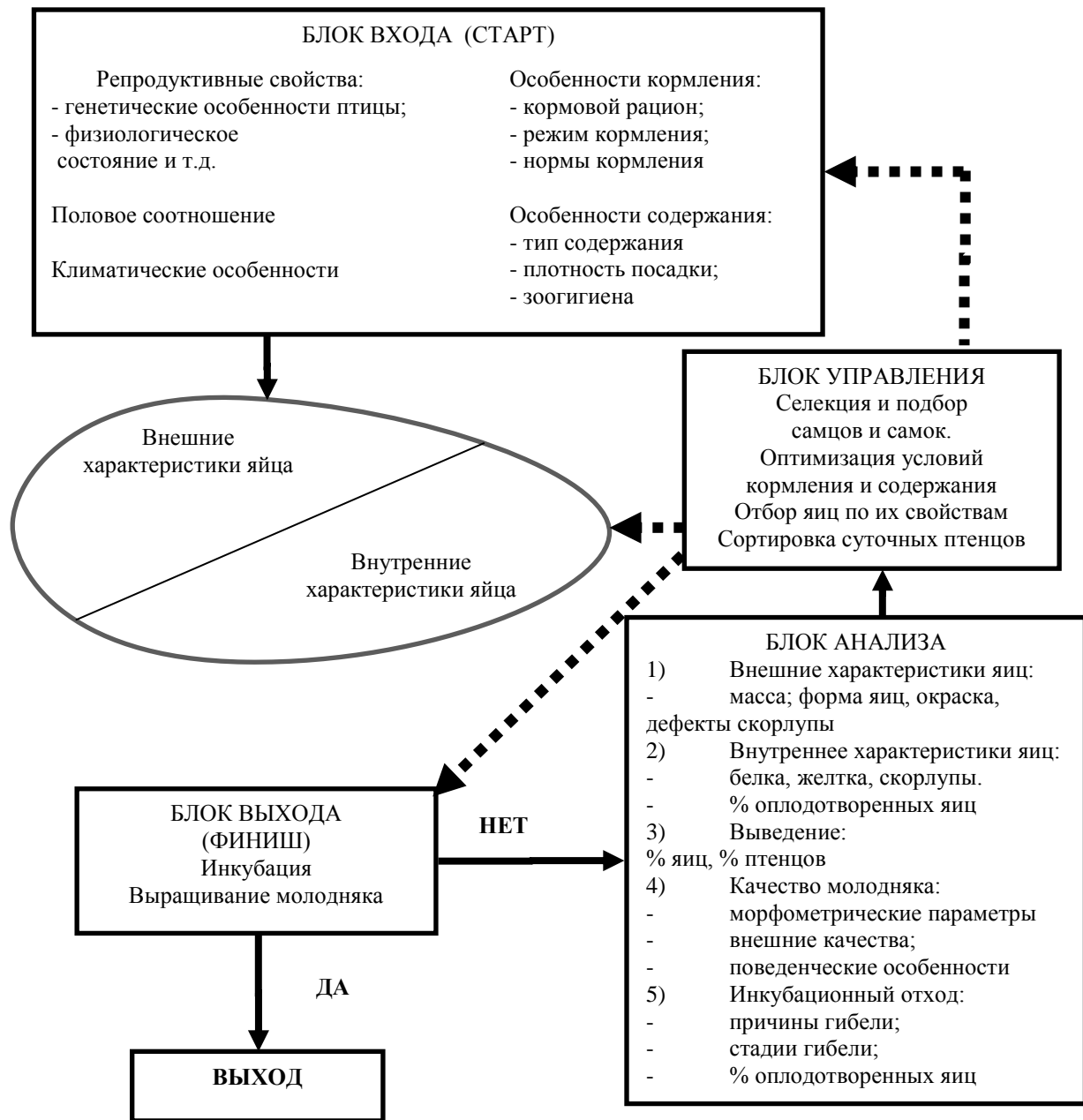


Рис. 3. Модель влияния экологических факторов на состояние метапопуляции охотничьего фазана в условиях ex-situ

Нами была разработана эвристическая модель управления состоянием метапопуляции охотничьего фазана в условиях ex-situ на основании оценки его состояния в некоторых хозяйствах юго-востока Украины (рис 3). Она складывается из четырех взаимосвязанных блоков: двух производственных, одного контролирующего и одного управляющего. К стартовому блоку (вход) относятся факторы, обуславливающие репродуктивные свойства птицы: генетические особенно-

сти, условия содержания и кормления, действие климатических факторов и т.д. Особенности содержания (уровень освещения, структура и содержание семейных групп и прочее) сказываются на прохождении и эффективности репродуктивного периода, а кормление – на качестве инкубационных яиц. При этом от кормления зависят как внешние (масса, линейные размеры, окраска и дефекты скорлупы), так и внутренние

параметры (характеристики белка, желтка, скорлупы).

Таким образом, яйцо отображает действие многих факторов, влияющих на взрослый организм. Поэтому его можно использовать в качестве индикатора состояния популяции в целом. В модели оно (и его характеристики) занимает центральное положение, связывающее между собой поколения и, соответственно, производственные процессы, в единый цикл.

Блок выхода опирается на информацию, полученную относительно результативности инкубационного процесса и выращивания молодняка. Эффективность этих процессов является результирующей всего комплекса экологических воздействий.

Блок анализа предусматривает постоянный контроль за наиболее важными показателями производственного процесса. Именно благодаря данному контролю возможным является вычленение лимитирующих факторов, нарушающих заложенные в модель закономерности.

Блок управления опирается на выводы и обобщения, полученные в блоке анализа. В случае четкого установления лимитирующих факторов, благодаря блоку управления возможна корректировка отдельных элементов модели для компенсации негативных воздействий и достижения предполагаемого результата.

В случае получения заложенных в модель результатов корректировка производственного процесса не требуется. Если же наблюдаются существенные отклонения от ожидаемого результата, выход из модели невозможен и возникает необходимость корректировки блока входа.

Управление метапопуляцией предусматривает в первую очередь осуществление селекционной работы, корректировку половой структуры птиц, условий кормления и содержания. В каждом конкретном случае необходимы индивидуальные корректировки, обусловленные имеющимися лимитирующими воздействиями.

Отдельно следует остановиться на необходимости проведения селекционной работы на уровне инкубационных яиц. В условиях хозяйства достаточным является не требующий больших затрат контроль внешних параметров – массы, формы, окраски яиц, наличия дефектов. Возможно использование специальных индексов (например, индекса формы [4]), позволяющих повысить эффективность селекционной работы.

Действие модели было апробировано в условиях охотничьего клуба «Скиф» Херсонской области в 2010 – 2012 годах. В первый год работы корректировка касалась инкубационного процесса, а все три года внимание уделялось селекционной работе и кормлению; условия содержания птиц особых изменений не требовали. В результате, за три года исследований в данном хозяйстве были существенно повышены качество инкубационных яиц и результативность производственного процесса в целом [8].

Таким образом, предложенная модель позволяет эффективно корректировать отдельные элементы производственного процесса, устраняя лимитирующие воздействия. Основой для ее функционирования служит качество инкубационных яиц, являющихся индикаторами состояния популяции в целом

### Литература

1. Гранович А.И. Паразитарная система как отражение структуры популяции паразитов: концепция и термины // Труды зоологического музея РАН. – 2009. – Т. 303. – №3. – С.329-337.
2. Дзизюк О. Фазан звичайний *Phasianus colchicus* L. у різних мисливських угіддях // Вісник львів. ун-ту. Серія біологічна. – 2005. – Вип. 39. – С.135-140.
3. Єременко О.А. Формування антиоксидантного захисту організму фазанів при різному протеїновому забезпеченні раціонів // Вісник Запорізького національного університету. – 2007. – № 1. – С.74-78.
4. Искусственное разведение фазанов / Под об. ред. О.С. Габузова. – М.: Из-во ЦНИЛ Главохоты, 1987. – 141с.
5. Курочкин С.Л. Акклиматизация фазана на юге Украины и Молдавии // Разведение и создание новых популяций редких и ценных видов животных. Ашхабад. – 1982. – С. 131-136.
6. Корж О.П., Петриченко В.В., Фролов Д.О. Штучне розведення дичини: навчальний посібник // Суми: Університетська книга. – 2012. – 224с.
7. Корж О.П., Фролов Д.О. Зоокультура мисливського фазана в Україні // Вісник Запорізького національного університету. – 2011. – №. 1. – С.53-61.
8. Корж О. П., Фролов Д.О. Покращення інкубаційних якостей яєць мисливського фазана в КРГО «мисливський клуб «Скиф» // Наукові доповіді НУБіП. – 2012. – № 4(33) / [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012\\_4/12kor.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_4/12kor.pdf)
9. Олни. П.Дж.С. Обеспечивая будущее для диких животных планеты. Природоохранная стратегия всемирного сообщества зоопарков и аквариумов // М.: Водoley Publishers. – 2005. – 96с.
10. Рожков Ю.И., Проняев А.В. Микроэволюционный процесс. – М.: Из-во Центральной научно-исследовательской лаборатории охотничьего хозяйства и заповедников, 1994. – 364 с.
11. Хански И. Ускользающий мир. Экологические последствия утраты местообитаний // М.: Т-во научных изданий КМК. – 2010. – 340с.
12. Hallett D. L., Edwards W. R., Burger G. V. Pheasants: Symptoms of Wildlife Problems on Agricultural



- Lands // North Central Section of The Wild. Soc.,  
Bloomington, IN. – 1988. – 345 p.
13. Hanski I. Metapopulation Ecology // Oxford: Univ.  
Press. – 1999. – 313 p.
14. Levins R. Some demographic and genetic conse-  
quences of environmental heterogeneity for biological  
control // Bulletin of the Entomological Society of  
America. – 1969. – Vol. 15. – P. 237-240.
15. Levins R., Culver D. Regional coexistence of species  
and competition between rare species // Proceeding of  
the National Academy of Sciences U.S.A. – 1970. –  
Vol.68 – P. 1246-1248.
16. Lüders H. Was ist bei der Zucht, Haltung und  
Fütterung von Fasanen zu beachten? // DGS. 1989. –  
№ 13. – S. 547-551.
17. Stoatem C. Multifunctional use of a natural resource  
on farmland: wild pheasant (*Phasianus colchicus*)  
management and the conservation of farmland passer-  
ines // Biodiversity and Conservation. – 2002. – №11.  
– P. 561-573.

**Korzh A.P., Frolov D.A. Metapopulation management problems of the pheasant hunting ex-situ**

**Abstract:** The metapopulation model involves the disappearance of the local groups, their renewal, the emergence of new ones, as well as the related dynamics of the spatial structure of the metapopulation as a whole. Under the conditions of ex-situ and in-situ migrants are exchanged during introductions, catching individuals from the natural environment, the disappearance and recovery of the small local groups. Thus, a man artificially creates and maintains the metapopulation concerned, having some functional elements in natural and artificial conditions. Therefore, artificially generated hunting pheasant population in the wild is a metapopulation. As birds due to the introduction into the natural environment influence in the subsequent on the properties of metapopulation pheasant hunting in general, there is a need to control this process. Pheasant hunting is considered to be challenging enough for the cultivation, so relevant is the assessment of its metapopulation in ex-situ. D. L. Hallett, W.R. Edwards, G. V. Burger have proposed a model of population management in pheasant hunting lands. For a natural population model displays an annual cycle of pheasant, and the mechanisms of influence of environmental factors on its life processes. The balance between exotic species and natural population size allows us to generalize the findings, analysis of which shows the criticality of the model. In our opinion, the mentioned model has some shortcomings, in particular, does not take into account the conversion of land as a result of human activity, which significantly affects the efficiency of the reproduction of birds. It is also crucial to the effectiveness of the process is the introduction of exotic species and the quality of the scheme of issuance. This raises the problem of developing such a control circuit condition metapopulation hunting pheasant in ex-situ. We have developed a heuristic model of state management of the metapopulation hunting pheasant in ex-situ on the basis of an assessment of his condition in some farms of the south-east of Ukraine. It consists of four interrelated parts: two productive, one supervisory and one manager. The proposed model can effectively adjust some elements of the production process, eliminating limiting exposure. The basis for its functioning is the quality of hatching eggs, which are indicators of the general population. The action of the model was tested in a hunting club "Skif" of Kherson region in 2010 - 2012 period. During three years of the research in this sector farming the quality of hatching eggs and the efficiency of the production process as a whole have been significantly increased.

**Keywords:** metapopulation, pheasant hunting, management, egg, limiting the impact.

**ECOLOGY, ENVIRONMENT AND SOCIETY SAFETY**

**Бигалиев А.Б.<sup>1</sup>, Жанбуришин Е.Т.<sup>2</sup>, Бигалиева Р.К.<sup>3</sup>, Рыскулова А.Р.<sup>3</sup>,  
Бильдебаева Р.М.<sup>1</sup>, Рахманова Ж.<sup>1</sup>, Кожжахметова А.<sup>1</sup>**

**Современное состояние социально-экономического развития Казахстана  
и научные основы экологической безопасности**

<sup>1</sup> *Казахский национальный университет имени аль-Фараби*

<sup>2</sup> *Управление природных ресурсов и регулирования природопользования Мангистауской области*

<sup>3</sup> *Казахский национальный медицинский университет им С.Д. Асфендиярова*

**Аннотация:** Для устойчивого развития в Республике Казахстан серьезную опасность представляют техногенные нарушения экосистем. В статье представлен анализ проблем современного состояния биоразнообразия, сохранения биологических и ископаемых ресурсов, обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития кризисных зон регионов природопользования в зоне Каспия.

Ключевые слова: биоразнообразие, устойчивое развитие, экологическая безопасность, регион Каспия

Экологические проблемы поставили человечество перед выбором дальнейшего пути развития: быть ли ему по-прежнему ориентированным на безграничный рост в соответствии с реальными возможностями природной среды и человеческого организма. Особое внимание следует обратить на механизмы и инструменты социально-экономического развития, непосредственно связанные с охраной окружающей среды и эксплуатацией природных ресурсов. Можно выделить три механизма реализации эколого-экономической политики: прямое регулирование (государственное воздействие), экономическое стимулирование (рыночные механизмы) и смешанные механизмы. Как следует из теории и практики последних десятилетий, решать экологические проблемы только на базе государственного регулирования или только рынка не удастся [11]. Имеется ряд принципиальных причин, определяющих «провалы» рынка (экстерналии, отсутствие законов, снижение цен, общественные блага и др.) и неэффективность государственной политики (субсидии, налоги и др.) в области охраны окружающей среды и использования природных ресурсов. В связи с этим наиболее приемлемы смешанные механизмы, позволяющие реализовывать эколого-экономическую политику на основе государственного регулирования и рыночных инструментов. Проведение эффективной эколого-экономической политики предполагает сочетание макроэкономических мер и мероприятий, имеющих собственно экологическую направленность. К первой группе относятся меры, которые проводятся в рамках всей экономики или на уровне комплексов, секторов. Они могут не иметь в явном виде экологических целей. Во вторую группу входят экологически ориентированные меры, часто носящие вспомогательный

или компенсирующий характер по отношению к макроэкономическим мероприятиям.

Количественно возрастающие и качественно расширяющиеся потребности населения, рынки, истощающие естественные ресурсы, породили экологически и социально тупиковую идеологию экономического роста страны на основе безудержной эксплуатации собственных богатств и ресурсов природопользования. Продолжается традиционное «паразитирование» на богатствах природы равное «паразитированию» на здоровье и благополучии будущих поколений. Экологическая рента страны природопользования и индекс человеческого развития поколений, общества генетически взаимосвязаны – как экология человека и здоровье поколений человечества в биосфере планеты [2, 13]. Современные реформы в области охраны окружающей среды – обеспечение экологической (национальной) безопасности, определены принципами Рио-92 и Йоханнесбург-2002. Они диктуют четкое распределение ответственности между субъектами и институтами государственности за переход к устойчивому экономическому и человеческому развитию; определяют настоящее и будущее поколений страны природопользования в условиях вхождения в рынок; утверждают собственный экологический статус и приоритеты защиты национальных интересов в системе стран мирового сообщества и на глобальном рынке природных ресурсов. В Концепции экологической безопасности РК, принятой в 1996 году Советом Безопасности, республика оценивается экологически уязвимой страной. Поэтому экологическая безопасность включается в стратегические и фундаментальные компоненты национальной безопасности, а именно важнейшие аспекты защиты интересов и приоритетов страны в международных интеграционных процессах. Но в программе правительства с начала реформ преобла-

дает традиционный остаточный подход к застаревшей экологической проблеме. Это подтверждается и практикой остаточного финансирования сферы. В среднем расходы на охрану окружающей среды составляют менее 0,5 валового внутреннего продукта – в полтора, два раз меньше, чем были до начала реформ и на два-три порядка ниже, чем в большинстве стран, сумевших в природопользовании преодолеть экологический кризис.

Сложившаяся к началу реформ и существующая сегодня структура и объем экологических инвестиций далеко неадекватны требованиям обеспечения экологической и национальной безопасности населения, особенно кризисных зон регионов природопользования Казахстана [4]. Эта проблема чрезвычайно актуальна для устойчивого развития всех объектов и отраслей – сельского хозяйства (продовольственная безопасность), промышленности, энергетики, транспорта, архитектуры и строительства, коммунально-бытовой сферы и других экономических секторов общества. Многолетний дефицит экологических инвестиций привел к тому, что в зонах разведки, добычи, обогащения и переработки сырья, получения продукции в экологическом пространстве Казахстана возникли кризисные биогеохимические провинции. Это города и селения вокруг Каспия окруженные аграрными поясами; во многих городах и большинстве сел ощущается дефицит чистой воды.

Качество жизни и здоровье населения – интегратор социально-экологического состояния общества и эффективности сложившейся в стране политики и экономики природопользования [16]. Но до настоящего времени в республике не произведена интегральная оценка ущерба, нанесенного экономике страны и здоровью населения загрязнением окружающей среды. По отдельным оценкам он превышает 10 миллиардов долларов. При господствующей политике в экономике и технологии природопользования в регионах интенсивной разработки природных ресурсов углубляются процессы экологического обнищания, в стране разрушаются естественные основы национальной безопасности и устойчивого экономического и человеческого развития общества.

Нужно учитывать и другой аспект проблемы, выделенный в структуре и иерархии приоритетов национальной безопасности – система информирования населения [14]. Хотя эта стратегически актуальная для устойчивого развития страны проблема поставлена в концепции экологической безопасности, в законах об охране окружающей среды и экологической экспертизе, но ее решение находится в зародышевом состоя-

нии. В республике пока нет надежной государственной системы экологического информирования населения о вредных выбросах во все среды жизни, не действует система доступа населения к принятию управленческих решений, не налажена полномасштабная, охватывающая все уровни школ система экологического образования, подготовки кадров и воспитания населения. Крайне редко проводится общественная экологическая экспертиза объектов природопользования. В экологическом всеобуче нуждаются все природопользователи, особенно кадры всех структур принятия политических решений, управления и бизнеса, так как, прежде всего от них зависит исполнение принятых в стране экологических актов и принципов концепции экологической безопасности страны. Без этого не решить проблемы национальной безопасности и не перейти на стратегию устойчивого развития страны природопользования.

**Современное состояние биоразнообразия изучаемого региона.** Несмотря на суровый климат, Прикаспийский регион относительно богат на растительный и животный мир. Например, флора Мангистауской области относится к типично пустынным флорам и насчитывает 622 вида. Более половины состава флоры приходится на долю представителей семейства *Chenopodiaceae* (91 вид), *Asteraceae* (78 видов), *Brassicaceae* (62 вида), *Poaceae* (60 видов) и *Fabaceae* (42 вида) [18,19]. Типичным растением побережья Северного Каспия является тростник, он хорошо адаптирован к сгонно-нагонным явлениям и сезонным колебаниям уровня моря. Он представлен одним видом – тростником южным (*Phragmites australis*) и вместе с другими водными растениями является местом для прикрепления икры и нагула молоди рыб, а также кормом для водоплавающих птиц и некоторых видов рыб. В бассейне Каспийского моря обитает около 130 видов и разновидностей рыб, в том числе осетровые, составляющие 90% мирового запаса этих рыб. Многие разновидности рыб встречаются только в Каспии. Единственным морским млекопитающим является – Каспийский тюлень, который является одним из самых мелких тюленей в мире, максимальная длина 160 см и масса 100 кг.

Прикаспийский регион имеет важное международное значение в жизни обитающих здесь птиц (более 100 видов), а также над территорией ежегодно пролетают миллионы перелетных птиц и зимний период на заливах Мангистауской области зимуют тысячи лебедей и уток. По характеру пребывания их можно разделить на две группы - гнездящиеся и встречающиеся только на пролете, кочевке и зимовке. Энтомофауна пу-

стынь данного региона изучена недостаточно полно. Из редких видов отряда чешуйчатых, занесенных Красную книгу встречаются: четырехполосый полоз, гюрза, серый варан, пестрая круглоголовка. Численность до одной особи на один гектар. 6 видов млекопитающих, занесены в Красную книгу Республики Казахстан – длинноиглый еж, перевязка, каракал, манул, джейран и устюртский муфлон. Устюртский муфлон – обитатель чинков, гор и бессточных впадин Мангышлака – единственный представитель горных баранов Казахстана, обитающий в пустынной зоне с резко континентальным климатом. На территории Мангистауской области обитает до 6-6,5 тыс. голов этого животного [18].

**Влияние загрязнения на состояние биоты региона.** Отмечаются следующие изменения в жизнедеятельности ихтиофауны Северного Каспия [11]:

- наблюдается высокая естественная смертность приплода, массовая гибель беременных самок тюленей в весенние месяцы, высокий процент выкидышей;

- объемы добычи осетровых рыб сократились с 1980 г. по 1995 г. с 1,9 тыс. тн. до 0,57 тыс. тн., т.е. в 3,3 раза;

- обнаруженное присутствие в мышцах рыб углеводов ряда П-алканов  $C_{11-36}$  свидетельствует о возможном загрязнении ихтиофауны сырой нефтью. В некоторых случаях отмечены превышение санитарных норм по тяжелым металлам и другим веществам.

Таким образом, экологические проблемы нефтегазового комплекса Западного Казахстана, представляют серьезную угрозу всему Прикаспийскому региону, масштаб и характер может привести катастрофе небывалого размера, ущерб от которой практически невозможно будет оценить. В настоящее время состояние экологической системы Каспийского моря и прибрежной зоны характеризуется как крайне неблагоприятной. В ближайшей перспективе интенсивное освоение нефтегазовых месторождений на континентальном шельфе Каспия (Кашаган), возможно, резко увеличит экологическую нагрузку не только на казахстанскую часть Прикаспийского региона, но и по всей акватории средней и северной части Каспийского моря.

Нефть как загрязнитель среды является важным ресурсом для полиароматических углеводов (ПАУ). ПАУ составляют широкий класс устойчивых в окружающей среде органических соединений, которые находятся повсеместно как в морской, так и в наземной среде. ПАУ, содержащие более 3-х бензольных колец, имеют тенденцию накапливаться и удерживаться в бентосе, в результате их низкой водо-растворимости.

Сами ПАУ являются относительно инертными молекулами и общепринято считать, что токсичные и канцерогенные эффекты ПАУ вызываются их метаболитами. Отсюда, выявление, определение и подсчет количества ПАУ и их метаболитов является достаточно объективным методом для оценки экологического риска. Пирен всегда присутствует в исследуемых пробах нефти (ПАУ) и является основным компонентом т.е. пирен один из самых преобладающих ПАУ окружающей среды. Отсюда, определение пиренсодержащих компонентов в тест-объектах является доступным методом для оценки канцерогенного риска ПАУ для организма, биологической доступности и биодеградации ПАУ [6, 7, 8].

Наука о природе жизненных явлений сегодня по праву относится к числу самых увлекательных и важных разделов человеческого познания. Она богата ярчайшими открытиями и оказывает все большее влияние на жизнь людей, рождая новые подходы в медицине, сельском хозяйстве, биотехнологии. Сегодня важнейшим направлением биологической науки является бурное развитие за последние 20 лет экологической генетики [2, 5]. Чтобы понять суть и содержание, объективные предпосылки развития этого направления необходимо сделать краткий экскурс в прошлое развития биологической науки, в недалекое прошлое... XX век [10, 12]: 40-е годы – познание механизмов расщепления атомного ядра и открытие управляемого термоядерного синтеза. 50-е – расшифровка генетического кода, биологической роли ДНК в сохранении и передаче наследственной информации. 60-е – познание механизмов регуляции биосинтеза белка, важнейшей макромолекулы живого вещества. 70-е – разработка методов геной инженерии и биотехнологии, 80-е – управляемый биосинтез и создание методов направленной изменчивости организмов, клонирование организмов, развитие экотехнологий. В то же время наряду с аналитическим подходом в биологии в целом, и экологии в частности, сформировался синтетический, т.е. экосистемный подход [15]. Объектом исследования стали механизмы интеграции живого на самых разных уровнях — молекулярно-генетическом, клеточном, организменном, популяционном. В генетике — науке о закономерностях наследственности и изменчивости — наметилась ярко выраженная тенденция формирования нового направления экологической генетики. В настоящее время стал реальностью для любого ученого увлекательный мир познания генов и хромосом, их функций. Однако применительно к человеку этот процесс чрезвычайно усложняется, поскольку человек не может быть предметом экспериментальных манипуляций.

Более того, он всегда представлял собой результат биологической и социальной эволюции, взаимодействие которых особенно сложно и загадочно. Да и понимание сути природы человека – задача нелегкая и она еще более усложняется в условиях мощного антропогенного пресса на среду обитания и на самого человека. Поэтому наверно, не случайно мнение, что человечество в наши дни столкнулось с необходимостью решать глобальные проблемы, и это довольно прочно вошло в сознание людей. Между тем глобальные проблемы существовали всегда. Они, как говорится, сопровождали нас испокон веков, только каждый раз менялась «окраска», ракурс и острота постановки задач. Таковы, например, сейчас проблемы загрязнения окружающей среды, сохранения биологического разнообразия и устойчивости развития экосистем. Первыми негативные последствия НТП ощутили на себе экономически развитые и густонаселенные страны – США, Япония, Германия. Результаты человеческой деятельности оказывают огромное давление на среду обитания человека. Так, на сегодняшний день в мире синтезировано несколько миллионов химических соединений (вот вам всемогущество химии) [14]. Часть их со временем попадает в производство. Уже сейчас свыше 60 тысяч наименований веществ выпускается в коммерческих целях. Такова номенклатура, а что можно сказать об объемах? Они колоссальны и непрерывно растут. Именно поэтому так остро и встает вопрос о влиянии усиливающихся экологических нагрузок на человека. Ведь с окружающей средой связывают продолжительность жизни людей, их здоровье, детскую смертность и важнейшие демографические, медицинские показатели. Но особую значимость приобретает воздействие новых факторов окружающей среды на наследственность человека, животных и растений. Это, если можно так сказать, «бомба замедленного действия», эффект которой не столь очевиден, как, например, аллергические, сердечнососудистые заболевания, профессиональная патология, но не менее трагичен. В последние десятилетия темпы изменения среды стали столь ускоренными, а диапазон их настолько расширился, что проблемы изучения экогенетических последствий стали неотложной задачей. Отрицательное влияние факторов среды на наследственность выражается в 2-х формах: с одной стороны, они способны сами по себе влиять на проявление и функционирование генетического аппарата; они могут, так сказать, «разбудить» «молчащий», либо заставить остановиться «работающий» ген, или изменить его функции. С другой стороны, факторы окружающей среды могут прямо или кос-

венно вызывать изменения наследственности, т.е. экогенетический или мутационный эффект. Сложность установления степени зависимости генетических последствий от окружающей среды заключается в том, что наша среда постоянно пополняется новыми факторами, с которыми человек раньше не сталкивался. Между тем само формирование человека в фило- и онтогенезе связано со средой. Его наследственность в эволюционном, популяционном и индивидуальном планах – не что иное, как результат взаимодействия исходной наследственности и окружающей среды. Можно отметить следующие первоочередные задачи, стоящие перед современной экологической генетикой.

– Познание экогенетических реакций организма на новые факторы среды, темпов мутирования и их распространение в природных популяциях

– Определение мутационного (экогенетического) «груза» в популяциях животных, растений и человека и разработка методов их контроля. Этот «груз мутаций» может проявляться двояко: вызывает перекомбинацию уже имеющихся мутантных генов, либо посредством образования новых мутаций.

В настоящее время биологические, медицинские и социальные эффекты «груза мутации» выражаются строго определенными понятиями [16]. Отдельные мутации или их сочетания могут увеличивать генетическое разнообразие природных популяций и человека, вызывать летальные (смертельные) эффекты, сниженную плодовитость, социальную дисадаптацию, большую потребность в медицинской помощи. Иногда нас – специалистов-экологов спрашивают: что более опасно для человека с генетической точки зрения – радиация или химия? Как правило, мы отвечаем: и то, и другое, поскольку радиационный фактор прочно вошел в нашу жизнь. К естественному фону радиации постоянно добавляются радиоизотопы от промышленности, от медицинских процедур и т.д. Так, за 30 лет человек накапливает дозу радиации 3 бэр (биологический эквивалент рентгена), а за 70 лет эта доза не должна превышать 35 бэр. Генетические последствия эффектов радиации для человека в случаях аварий АЭС, ядерных испытаний на сегодня хорошо изучены на примерах Семипалатинского полигона, Невады (США), Муророа (Франция), Чернобыльской катастрофы (Украина), Хиросимы и Нагасаки (Япония). К проблемам достоверной оценки экогенетической опасности факторов окружающей среды постоянно привлекаются все новые и новые научные силы [20, 21, 22].

В Республике Казахстан на современном этапе для ее устойчивого развития в эпоху глобализации серьезную опасность представляют техногенные нарушения экосистем. В первую очередь – зона Каспия, как энергетического и жизненно-го источника, где со всей очевидностью встают проблемы сохранения биологических и ископаемых ресурсов для устойчивого развития региона [18].

Прогрессирующее воздействие техногенных факторов на природные популяции животных и растений требует детального экологического генетического анализа. В оценке состояния природных экосистем большую роль играют мелкие млекопитающие. Поэтому мы провели настоящее исследование по оценке потенциальной мутагенной опасности загрязнения окружающей среды нефтью, нефтепродуктами и тяжелыми металлами с использованием в качестве тест-объекта природные популяции большой песчанки (*R. orimus*). В частности, проведены исследования по оценке генетической опасности нефти, нефтепродуктов и тяжелых металлов по трофическим цепям питания в природных сообществах грызунов в системе «нефть-почва-растения-животные». Как было отмечено Андерсеном (1985), цепи питания удобно использовать для анализа структуры и функционирования экосистем. В наших исследованиях во всех исследуемых пунктах растения *S.nitfraria*, *T.sibirica* обладают наиболее высокими кумулятивными и устойчивыми способностями по отношению к тяжелым металлам, нефтепроизводным и составляют основу пищевого рациона тест-объекта большой песчанки (*R. orimus*). Эти виды растений были использованы в качестве биоиндикаторов загрязнения природной среды тяжелыми металлами.

По данным литературы, в растениях нефтезагрязненных экотопов в природных популяциях уровень содержания свинца превышает фоновые значения от 2,5 до 5 раз, а в наших исследованиях на территории нефтепромыслов и в окрестностях города вдоль дороги уровень концентрации свинца превышает в пределах от 1,65 до 13,8 раза. Как было ранее отмечено А.Б.Бигалиевым (1,9), скрининговые методы изучения биосистем грызунов для установления мутагенных веществ окружающей среды позволяют учитывать индукцию генетических нарушений в клетках мелких млекопитающих *in vitro* и *in vivo*. Так, частота клеток с хромосомными aberrациями в костном мозге грызунов *R. orimus* является важной характеристикой генотоксических свойств загрязнения среды нефтью, нефтепродуктами и тяжелыми металлами и интенсивности мутационного процесса. Поэтому результаты проведен-

ных нами исследований по оценке потенциальной мутагенной опасности загрязнения нефтепромыслов Тенгиза и Кульсары нефтью и нефтепродуктами с использованием в качестве тест-объекта большой песчанки (*R. orimus*), показали, что во всех четырех пунктах у исследованных грызунов существуют изменения как частоты aberrантных клеток, так и типов хромосомных нарушений. Максимальные величины изученных цитогенетических показателей были отмечены на сильно загрязненных территориях. На нефтепромыслах в пункте Кульсары ( $6,93 \pm 1,3$ )% частота хромосомных aberrаций в костном мозге большой песчанки превышает контрольное значение в 3,9 раза.

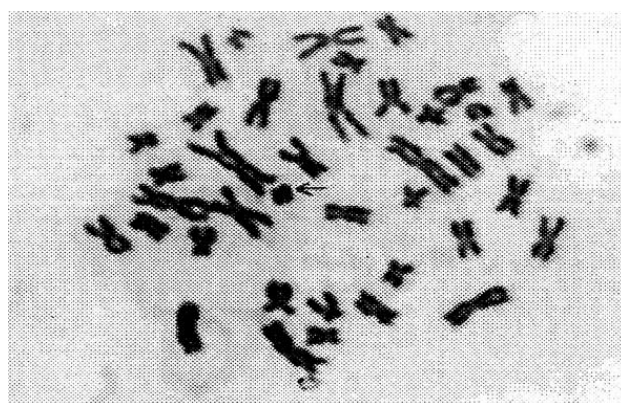
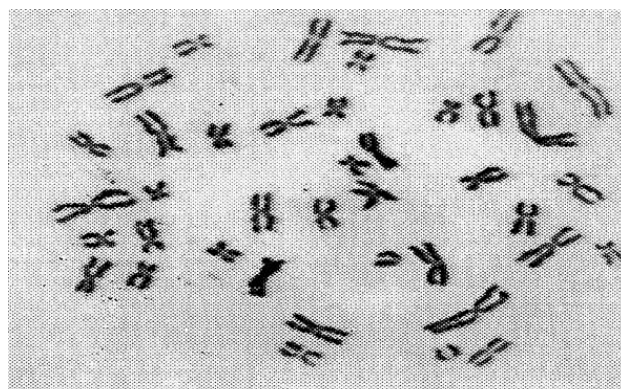


Рис. 1.

Уровень цитогенетических нарушений у *R. orimus*, обитающих на Тенгизском нефтеносном месторождении, в 1,5 раза ниже, чем у грызунов п.Кульсары (Рис.2).

Выявленный в данной работе количественный и качественный состав цитогенетических нарушений по мере удаления от источника загрязнения в исследуемых пунктах свидетельствует о наличии здесь сильных кластогенных эффектов нефти и нефтепродуктов, возможно от содержания серы.

Уровень генетического поражения диких грызунов с соответствующей экстраполяцией можно рассматривать как реальный максимальный мутагенный эффект факторов среды по отношению к людям, населяющим эти районы.

Полученные данные показали, что нефть и нефтепродукты являются высокотоксичными и сложными веществами, оказывают влияние на наследственность живых организмов. Это отражается на экосистеме Жылыойского района Атырауской области, а также всего Северного Прикаспия: исчезают отдельные генотипы из существующих популяций видов растений и животных. Ежегодно трансгрессия и регрессия Каспийского моря влияет на огромные прибрежные ландшафты. Поэтому в настоящее время стоит проблема сохранения устойчивого биоразнообразия, генетических ресурсов и экосистемы не только локальных, но и региональных. Учитывая особую экологическую опасность региона, подобные исследования необходимы не только для оценки состояния природных комплексов, находящихся под антропогенным стрессом, но и для прогнозирования мутагенной и канцерогенной опасности средовых факторов для людей, проживающих на этих территориях.

Таким образом, политические перемены в Прикаспии нарушили табу на многие нацио-

нальные, региональные и международные проблемы. К их числу можно отнести не только вопросы геополитики, но и использования биоресурсов, притока иностранных инвестиций, вопросы этно-культурные, цивилизованные, конфессиональные, вопросы парадигмы развития новых государств и т.д. Новому мировому порядку должен соответствовать и новый прикаспийский порядок. Для региона Каспийского моря более полезными являются принципы биполярности (Север-Юг), которые позволят государствам прикаспийского региона сохранить автономию и маневренность в международной сфере, достичь своих национальных целей. В рамках концепции биполярности надо создавать региональные структуры: экологические, экономические, инвестиционные, политические, военные и другие. Только цивилизованный диалог позволит снять страх и тревоги, унаследованные с XX века, когда ряд государств региона были превращены в арену экспериментов политики вестернизации и конфронтационной борьбы двух политических систем (Восток-Запад)

#### Литература

1. Bigaliev A.B., Ishanova N.E. The egological assessment of the impact of oil pollution on the soil of Tengizshevrooil of Atyraus provance. Conference materials, Baki – Azerbaijan, 1998, 8p.
2. Бигалиев А.Б., Бигалиев А.А. Проблемы радиационной генетики и экологии в Казахстане в условиях загрязнения природной среды. / Медицинский журнал. 2007. №7. С.11-16.
3. Бигалиев А.Б., Шаймарданова Б.К. Жизнеспособность пыльцы *Agropyron repens* в условиях урбоэкосистемы. /Материалы II международной конференции «Современные проблемы геоэкологии и сохранения биоразнообразия. 18-21 сентя-бря. Бишкек. 2007. С.27-31.
4. Бигалиев А.Б., Тилекова Ж.Т. Экологическая оценка последствий деградации экосистем Или-Балхашского бассейна и пути сохранения биоразнообразия. / Материалы II международной конференции «Современные проблемы геоэкологии и сохранения биоразнообразия. Бишкек. 18-21 сентября. 2007. С.69-74.
5. Bigaliev A.B. and oth. Mutagenetic effects of radiation and prognosis of the inherited pathology of the population of the regions adjoining to the former Semipalatinsk nuclear tests side. /The materials of international conference of Genetics Society of China. Synzjan University. 25-27 August. 2007. P.148.
6. Бигалиев А.Б., Бияшева З.М., Кошкимбаев К.С., Костюк Т.П., Шмаков В.Н., Жантаев Б.С. Оценка экологической опасности влияния загрязнителей водной среды на биоту северной части Каспия// Доклады (Reports) IV Международной научно-практической конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде». Семипалатинск – Казахстан. 2006. Т.1. С.8-16
7. Bigaliev A.A., Ishanova N.E., Bigaliev A.B.\*, Bijasheva Z.M. Ecological assessment of oil-gas producing area in Kazakhstan zone of Caspian sea and using bioremediation technology for cleaning of high level oil polluted sites. International journal“Colloid and Surface.”, Kyoto, 2008, special issue, IAP2008 conference materials.
8. Bigaliev A.A., Ishanova N.E., Bigaliev A.B.\*, Bijasheva Z.M. Ecological assessment of oil-gas producing area in Kazakhstan zone of Caspian sea and using bioremediation technology for cleaning of high level oil polluted sites 1-4 June, Kyoto, 2008. Abstracts
9. Бигалиев А.А., Ищанова Н.Е., Бигалиев А.Б., Бияшева З.М., Новикова А. Экологическая оценка нефтегазоносных районов казахстанской зоны Каспийского моря и использование технологии биоремедиации для очистки территории с высоким уровнем загрязнения нефтью. Материалы V международной конференции «Международной научно-практической конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде». Семипалатинск – Казахстан. 2008. Т.1. С.78-86.
10. Голубовский М.Д. 1996. Концепция эпигена 20 лет спустя//Биополимеры и клетка т. 12. №6. с.5-24
11. Киреев М.А., Надиров Н.К. Экологические проблемы нефтедобывающей отрасли Казахстана и пути их решения//Нефть и газ Казахстана. 1998. №4. С.132-138.
12. Landman O.E. 1991. The inheritance of acquired characteristics // Ann. Rev. Genet. V.25. p. 1-20
13. Муравей А.А., редактор. Экология и жизнедеятельность человека. – М.ЮНИТИ, 2000
14. Панин М.С. Химическая экология. Под редакцией С.Е. Кудайбергенова.- Семипалатинск, 2001

15. Пехов А.П. Биология с основами экологии. – СПб.: Лань, 2000
16. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. – М.: Финансы и статистика, 2000
17. Rings A.D., Bourgeois S., Cohn N., 1970 The lacpressor – operator interaction. 3. Kinetic studies // J. Mol. Biol. V. 53 p. 401-417
18. Сафронова И.Н. Пустыни Мангышлака (Очерк растительности)//Труды Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. –С-кт Пбг: выпуск 18, 1996. –С12-14.
19. Сериков Т.П. Природоохранные методы транспортировки и переработки нефти и газа морских месторождений: Автореф. дис. ...канд.техн.наук. Тараз, 1999, 28 с.
20. Чураев Р.Н., Ступак И.В., Тропынина Т.С., Ступак Е.Э., 2001. Сконструирован 2-х компонентный эпиген с наперед заданными свойствами// ДАН. Т.378. №6. с. 837-840
21. Wolffe A.P., Matzke M.A. 1999. Epigenetics: regulation through regression // Science v. 286. p. 481-486
22. Jablonka E., Land M. Jhon. 1989 The inheritance epigenetic variations//J. Teor. Biol. Vol.139.p.69-83

**Bigaliev A.B., Zhanburshin E.T., Bigaliev R.K., Ryskulov A.R., Bildebaeva R.M., Rakhmanov G., Kozhakhmetova A.**

**Social-economic development of Kazakhstan in present and scientific basic of ecological safety**

**Abstract:** Man-made ecosystem disturbance represent a serious threat to sustainable development in the Republic of Kazakhstan. The paper presents an analysis of the problems of the current state of biodiversity, conservation of biological and mineral resources, environmental security and sustainable development of the environmental crisis zones in the area of the Caspian Sea.

**Keywords:** biodiversity, sustainable development, environmental security, the region of the Caspian Sea

*Кірієнко С.М.*<sup>1</sup>

**Середовищевірна діяльність ссавців як фактор впливу на виділення ґрунтом CO<sub>2</sub>**

<sup>1</sup> *Кірієнко Світлана Михайлівна, Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна*

**Анотація:** Наведено аналіз сучасної вітчизняної та зарубіжної наукової літератури з оцінки екологічного стану природних та техногенно змінених ґрунтів за показниками біологічної активності. Висвітлено значення середовищевірної діяльності ссавців в процесах відновлення біологічної активності ґрунтів за показниками. Представлено результати дослідження вмісту вуглекислого газу в ґрунті.

**Ключові слова:** ґрунт, ссавці, дихання ґрунтів, екскреції

"Дихання" ґрунтів – інтегральний результат одночасного проходження ґрунтових процесів, де вирішальна роль належить біологічним чинникам. Виділення ґрунтом CO<sub>2</sub> є надзвичайно важливим життєвим процесом не тільки в едафотопі, але й у всій екосистемі, обумовлюючи з іншими компонентами її головну функцію – біопродуктивність. Це в результаті відображає комплексність біологічних процесів, спрямованих на ґрунтоутворення [13]. Екскреторна та ріюча діяльності ссавців – це важлива ланка середовищевірної діяльності тварин, яка впливає на біогеоценотичні процеси, особливо на процеси ґрунтоутворення та біологічну активність ґрунтів [1, 5-10, 11, 15-17]. Під впливом екскреторної та ріючої діяльності різних груп ссавців у цілому проявляється односпрямована їх дія на комплекс ґрунтових процесів та на прискорення кругообігу речовин, що дозволяє більш інтенсивно використовувати органічний та мінеральний ресурси біогеоценотичною системою. Відбувається прискорення використання органічної та мінеральної частини в продукційних процесах. Ґрунт ін-

тенсивно збагачується поживними елементами, прискорюються процеси деструкції органічної речовини, оптимізуються фізико-хімічні властивості ґрунтів, підвищується їх загальна біологічна активність [6, 7, 12, 20, 21].

Зроблено опис особливостей рельєфу та геоморфологічної структури території південного сходу України [4, 14, 18]. Охарактеризовано гідрологічні [19] та кліматичні умови регіону досліджень. Розглянуто особливості складу рослинного покриву [2, 4] та тваринного світ. Наведено характеристику ґрунтового покриву.

В основу роботи покладено вчення В. М. Сукачова [19] про біогеоценоз; учення С. В. Зонна [12] про ґрунт як компонент лісового біогеоценозу; типологію штучних і природних лісів степової зони О. Л. Бельгарда [4].

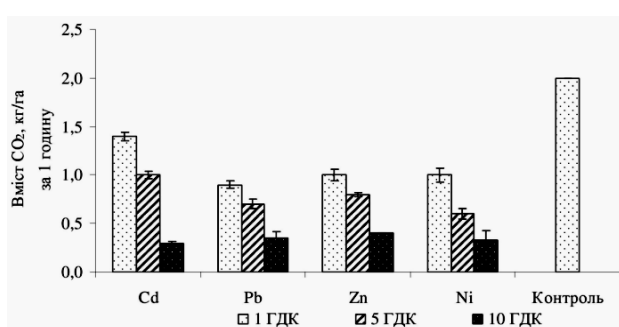
Для дослідження вмісту вуглекислого газу в ґрунті використовувалася адсорбційно-польова методика (за Карпачевським) [13]. Лабораторні дослідження проводилися на базі Криворізького ботанічного саду НАНУ в лабораторії біології ґрунтів. Математична обробка отриманих даних



проводилася за допомогою стандартного пакета прикладних програм *Microsoft Excel* [3].

Пробні ділянки, де проводилися досліди розташовані на території металургійних підприємств м. Кривий Ріг. Тому доцільно навести приклади складу порід кар'єрів, з відкладень яких й формуються відвали, на яких й вивчалися аспекти впливу середовищтвірної діяльності ссавців на швидкість відновлення біологічної активності ґрунтів. Досліди з вивчення впливу середовищтвірної діяльності ссавців на виділення ґрунтом  $CO_2$  проводилися на території Присамарського Міжнародного Біосферного стаціонару (пробна площа № 224, штучні дубові насадження на плакорі).

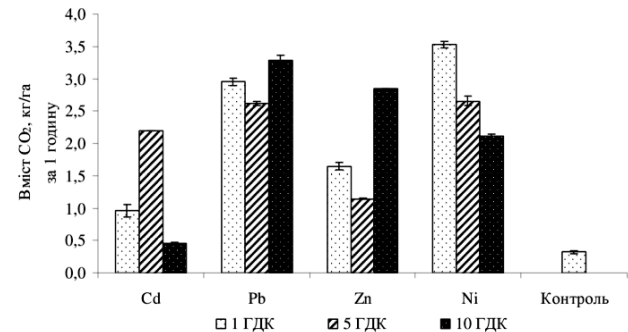
Екскреції усіх видів ссавців, що вивчалися, підвищують ефективність дихання. При цьому вона залежить від часу тривалості досліджень. Максимальні значення зареєстровано при експозиції у 3 місяці. Щонайбільше цей показник достовірно зростає під екскреціями лося (*Alces alces*). В цілому ж приріст "дихання" ґрунту у біогеоценозі підвищується за рахунок екскрецій такого найбільш масового виду всеїдних як кабан звичайний (*Sus scrofa*) і таких фітофагів як козуля (*Capreolus capreolus*) і заєць (*Lepus europaeus*). Найменші зміни зареєстровано від дії екскрецій хижака - куниці лісової (*Martes martes*). Експериментально доведено, що забруднення ґрунту шляхом внесення розчинів важких металів (*Cd, Pb, Zn i Ni*) пригнічує ґрунтове "дихання". Так на рис. 1 видно, що усі метали при збільшенні концентрацій призводять до збільшення падіння величини ґрунтового "дихання", і воно у всіх випадках стає достовірно ( $p \leq 0.001$ ) (у 1,8 - 5,8 разів) менше ніж у контролі.



**Рис. 1.** Ґрунтове «дихання» без впливу середовищтвірної діяльності ссавців при різних рівнях забруднення окремими металами (контроль без екскрецій і без внесення поллютантів); пробна площа №224, травень 1998р.

На рис.1 добре видно, що найбільш сильне пригнічення важкі метали здійснюють при вне-

сенні у 10 ГДК. Але навіть у таких умовах, біологічна активність ґрунтів під дією екскрементів не тільки зростає, а й перевищує таке у контролі (рис. 2).



**Рис. 2.** Ґрунтове «дихання» під екскреціями лося при різних рівнях забруднення окремими металами (контроль – середнє значення при 1 ГДК для усіх важких металів); експозиція – 1 місяць; пробна площа №224, червень 2000р.

На рис. 2 можна бачити як зростає інтенсивність виділення вуглекислого газу у ґрунті з різними рівнями перевищення ГДК під екскреціями лося. Порівняно із контролем, де вони були відсутні і де додаткове забруднення окремими важкими металами не перевищувало ГДК, величина ґрунтового «дихання» зросла у декілька разів. На рис. 2 також можна бачити, що екскреції лося найбільше знімають негативний вплив свинцю і цинку, бо для них приріст виділення вуглекислого газу при забрудненні у 10 ГДК навіть більший ніж при менших концентраціях.

Таким чином, середовищтвірна діяльність ссавців відіграє роль своєрідного буфера і значно зменшує негативний вплив важких металів на біологічну активність ґрунту, особливо якщо це забруднення не перевищує 5ГДК, а для плюмба і цинку 10 ГДК.

Вплив мікроамалій на такий інтегральний показник, як виділення ґрунтом вуглекислого газу визначається такими тенденціями:

- знижується ефективність впливу в міру старіння пориїв;

- відновлення ґрунтового "дихання" у більшій мірі відбувається на ділянках із забрудненням у 1 ГДК і 5 ГДК, значно зменшується при 10 ГДК із забрудненнями важкими металами (*Cd, Pb, Zn i Ni*);

- у порівнянні інтенсивністю ґрунтового дихання на ділянках не порушених ґрунторіями з ділянками, де відмічені порії відзначають значний позитивний вплив риючу діяльність сліпака.

### Література

1. Абатуров Б.Д. Деятельность животных-землероев в почвах, ее значение и основные пути изучения / Абатуров Б.Д. // Проблемы почвенной зоологии: Материалы 4-го Всесоюз. совещ. – М.: Наука, 1972. – 5 с.
2. Апостолов Л.Г. Вредная энтомофауна в лесных биогеоценозах юго-восточной Украины: Автореф. дис. д-ра биол. наук: 03.00.08. – Харьк. гос. Ун-т. – Х., 1970. – 34 с.
3. Барсов В.А. Кадастровая характеристика населения беспозвоночных животных основных биогеоценологических катен степной зоны Украины (Присамарье). Придолинно-балочный ландшафт / Барсов В.А., Кораблев А.М., Кульбачко Ю.Л., Пилипенко А.Ф. // Вопросы степного лесоведения и лесной рекультивации земель. – Днепропетровск: ДГУ, 1996. – С. 132–142.
4. Бельгард А.Л. Степное лесоведение. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 336 с.
5. Булахов В.Л. Млекопитающие степных лесов и их значение // Вопросы степного лесоведения и охраны природы. – Д.: ДГУ, 1977. – С. 138-143.
6. Булахов В.Л. О роли позвоночных животных в формировании биомассы и биологической продуктивности в лесных биогеоценозах степной зоны юго-востока УССР / Булахов В.Л. // Вопросы степного лесоведения. – Д.: ДГУ, 1972. – Вып. 3. – С. 132-141.
7. Булахов В.Л. Характеристика средообразующей деятельности позвоночных животных в лесах степной зоны юго-востока УССР / Булахов В.Л. // Вопросы степного лесоведения: Труды Комплексной экспедиции ДГУ. – Д.: ДГУ, 1973. – Вып. 4. – С. 117-125.
8. Булахов В.Л. Влияние экскреторной деятельности копытных на интенсивность выделения почвой CO<sub>2</sub> в лесных биогеоценозах Присамарья / Булахов В.Л., Пахомов А.Е. // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы степной зоны. – Д.: ДГУ, 1990. – С. 119-127.
9. Булахов В.Л. Роющая деятельность млекопитающих как экологический фактор почвенных процессов в степных лесах Украины / Булахов В.Л., Пахомов А.Е. // Почвенная фауна и почвенное плодородие: Труды 9-го Междунар. коллоквиума по почвенной зоологии. – М.: Наука, 1987. – С. 287-289.
10. Булахов В.Л. Средообразующая деятельность млекопитающих как биотический фактор преждевременной деградации почвенного покрова степных лесов промышленного Приднепровья / Булахов В.Л., Пахомов А. Е. // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения: Тезисы докл. Всерос. конф. – М., 1998. – Т. 2. – С. 220-221.
11. Злотин Р.И. Влияние животных на автотрофный цикл биологического кругооборота / Злотин Р. И., Ходашова К. С. // Проблемы биоценологии. – М.: Наука, 1973. – С. 105-117.
12. Зонн С.В. Почва как компонент лесного биогеоценоза / Зонн С. В. // Основы лесной биогеоценологии. – М.: Наука, 1964. – С. 327-457.
13. Карпячевский Л.О. Лес и лесные почвы. –М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 324 с.
14. Пасічний Г.В. Фізична та економічна географія Дніпропетровської області. – Дніпропетровськ.: ДДУ, 1992. – 177 с.
15. Пахомов А.Е. Биогеоценологическая роль млекопитающих в почвообразовательных процессах степных лесов Украины: – Кн. 1. – Д.: ДГУ, 1998. – 232 с.
16. Пахомов А.Е. Биогеоценологическая роль млекопитающих в почвообразовательных процессах степных лесов Украины: В 2 кн. – Кн. 2: Трофический тип воздействия. Биогеоценологический процесс становления биологической устойчивости эдафотопы. – Д.: ДГУ, 1998. – 216 с.
17. Пашенко В.М. Степная зона / Пашенко В.М. // Природа Украинской ССР. Ландшафты, физико-географическое районирование. – Киев: Наукова думка, 1985. – С. 122-180.
18. Соболев С.С. Развитие эрозийных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними. – М.: Изд-во АН СССР, 1948. – 310 с.
19. Травлеев А.П. Материалы к номенклатуре и классификации лесных почв подзоны настоящих степей / Травлеев А.П. // Сб. науч. тр. ДГУ. – Д.: ДГУ, 1972. – Вып. 3. – С. 16-22.
20. Цветкова Н.Н. Закономерности распространения и содержания тяжелых металлов в почвогрунтах лесных биогеоценозов долинно-террасового ландшафта Присамарского мониторинга / Цветкова Н.Н. // Мониторинговые исследования лесных экосистем степной зоны, их охрана и рациональное использование. – Д.: ДГУ, 1988. – С. 76-82.
21. Цветкова Н.Н. Мониторинговые исследования гумуса в черноземе обыкновенном / Цветкова Н.Н. Тупика Н.П., Кабар А.Н. // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2002. – Кн. 2. – С. 198-199.

### Kirienko S. Functional role of mammal as factor influence on the respiration of soil

**Abstract:** Functional role of mammal as factor influence on the respiration of soil Soil "breathing" - an integral component of simultaneous passage of soil processes, where the decisive role is played by biological factors. Soil excretion of CO<sub>2</sub> is an extremely important life process, not only in edafotop, but also in the whole ecosystem, determining with other components its main function - biological productivity. As a result it displays the complexity of biological processes aimed to soil formation. Mammals excretory and burrowing activities are an important link of functional role of animals, especially on the processes of soil formation and soil biological activity. Under the influence of excretory and burrowing activity of different groups of mammals is shown one-way effect on soil processes and accelerate the cycling of matter that allows more intensive use of organic and mineral resources of ecosystem. Soil is intensively enriched with nutrients, processes of decomposition of organic substances are accelerated, the physicochemical characteristics of the soils are optimized, increasing their overall biological activity. Excretions of all mammal species that have been

studied increase the efficiency of breathing. In this case, it depends on the duration of the study in the set experiment. The maximum values of soil respiration reported with exposure in 3 months. The most significant increase of this index recorded under the excretion of elk (*Alces alces*). In general, the growth of soil "breathing" in biogeocenosis is rised by the excretion of the most massive omnivorous species like wild boar ordinary (*Sus scrofa*) and such phytophages as deer (*Capreolus capreolus*) and hare (*Lepus europaeus*). The smallest changes are registered under the action of excretion of predator - marten (*Martes martes*). The influence of micromammalias on such an integral index as soil excretion of carbon dioxide is determined by such tendencies: - the effectiveness of the influence with aging of the soil destruct the animal with burrowing activities is reduced; - renewal of the soil "breathing" is increasingly happening in the areas of pollution with 1 MPC and 5 MPC, and is significantly reduced when the soil is polluted with heavy metals (Cd, Pb, Zn and Ni) 10 MPC; - Comparing with the intensity of soil respiration in areas that are not disturbed by the animal with burrowing activities, and with areas where of the soil destruct the animal with burrowing activities was marked a significant positive impact of burrow activity of mole-rat is noted.

**Keyword:** functional role, mammal, respiration of soil, excretory.

**Кириенко С.М. Средообразующая деятельность млекопитающих как фактор влияния на выделение почвой CO<sub>2</sub>**

**Аннотация:** "Дыхание" почв – интегральный показатель одновременного прохождения почвенных процессов, где решающая роль принадлежит биологическим факторам. Выделение почвой CO<sub>2</sub> является чрезвычайно важным жизненным процессом не только в эдафотопе, но и во всей экосистеме, обуславливая с другими компонентами ее главную функцию – биопродуктивность. Это в результате отображает комплексность биологических процессов, направленных на почвообразование. Экскреторна и роющая деятельности млекопитающих – это важное звено средообразующей деятельности животных, которая влияет на биогеоценотические процессы, особенно на процессы почвообразования и биологическую активность почв. Под воздействием экскреторной и роющей деятельности разных групп млекопитающих в целом проявляется однонаправленное действие на комплекс почвенных процессов и на ускорение круговорота веществ, что позволяет более интенсивно использовать органический и минеральный ресурсы бигеоценотической системы. Почва интенсивно обогащается питательными элементами, ускоряются процессы деструкции органического вещества, оптимизируются физико-химические свойства почв, повышается их общая биологическая активность. Экскреции всех видов млекопитающих, которые изучались, повышают эффективность почвенного дыхания. При этом она зависит от длительности изучения в поставленном опыте. Максимальные значения дыхания почв зарегистрированы при экспозиции опыта в 3 месяца. Наибольшее достоверное возрастание этого показателя зафиксировано под экскрециями лося (*Alces alces*). В целом же прирост "дыхания" почвы в биогеоценозе повышается за счет экскреций такого наиболее массового вида всеядных как кабан обыкновенный (*Sus scrofa*) и таких фитофагов как косуля (*Capreolus capreolus*) и заяц (*Lepus europaeus*). Наименьшие изменения зарегистрированы под воздействием экскреций хищника - куницы лесной (*Martes martes*). Влияние микромамалий на такой интегральный показатель, как выделение почвой углекислого газа определяется такими тенденциями: – снижается эффективность влияния со временем старения пороев; – возобновление почвенного "дыхания" в большей мере происходит на участках с загрязнением в 1 ПДК и 5 ПДК, значительно уменьшается при загрязнениях тяжелыми металлами (Cd, Pb, Zn и Ni) с концентрациями в 10 ПДК; – в сравнении интенсивностью почвенного дыхания на участках не нарушенных почвопорами с участками, где отмечены пории отмечают значительное позитивное влияние роющей деятельности слепыша.

**Ключевые слова:** средообразующая деятельность, млекопитающие, почвенное дыхание, экскреции.

Кур'янова С.О.<sup>1</sup>, Юрасов С.М.<sup>2</sup>

Недоліки вітчизняних класифікацій якості водних об'єктів централізованого водопостачання

<sup>1</sup> Кур'янова Світлана Олександрівна, асистент

<sup>2</sup> Юрасов Сергій Миколайович, кандидат технічних наук,  
Одеський державний екологічний університет, м. Одеса, Україна

**Анотація:** В статті виконано критичний аналіз класифікації якості вод за різними методиками. Доведено, що недоліки існуючих методик не дозволяють адекватно характеризувати стан водних об'єктів як джерел господарсько-питного призначення, інтегральний й середні блокові індекси методики ДСТУ 4808:2007 не можна використовувати при класифікації джерел централізованого водопостачання. Запропоновано шляхи усунення цих недоліків.

**Ключові слова:** оцінка якості, господарсько-питне призначення, джерело централізованого водопостачання, показник якості, блок показників.

Забезпечення населення питною водою є актуальною проблемою багатьох держав. Поверхневі води суші, які використовують для господарсько-питних потреб, зазнають дуже великого антропогенного впливу, в результаті якого суттєво змінюється природний стан цих вод. Антропогенні зміни стану вод обмежують можливість використання окремих об'єктів для потреб людини. У таких обставинах дуже важливою й актуальною є об'єктивна інформація про стан водних об'єктів.

Класифікацію стану водних об'єктів централізованого водопостачання виконують методами детального аналізу та комплексних індексів [1].

Метод детального аналізу полягає у тому, що за значенням (вимірним або розрахованим) кожного показника з усього їх набору, який використовується при оцінці якості вод, визначається індекс (клас) якості вод. Індекс (клас) водного об'єкта встановлюється за показником з найгіршим значенням індексу [2], [3].

За вітчизняними нормами оцінку якості вод за деякий період часу виконують найчастіше за се-

редніми значеннями показників за розглядуваний період. Використовують також фонові значення показників (права межа 95%-го довірчого інтервалу середніх значень) і найгірші середні значення показників за окремі сезони року.

В країнах ЄС вода вважається такою, що відповідає вимогам норм питного водокористування, якщо [4]:

- 95% проб відповідають нормативам (табл. 1), зазначеним як обов'язкові (аналогічні вітчизняним ТДК або ОБРВ);

- 90% проб відповідають вимогам у решті випадків (тобто відповідають оптимальним нормативам (аналогічні вітчизняним ГДК));

- у 5 і 10% проб, які не відповідають встановленим нормативам, відсутні відхилення від встановлених нормативів більш ніж на 50%, окрім рН, розчиненого кисню та мікробіологічних показників;

- відсутня загроза здоров'ю населення;

- відсутні відхилення від нормативів у послідовно відібраних одна за одною пробах [4].

Таблиця 1

Фрагмент таблиці нормативів якості вод, які використовуються для пиття в країнах ЄС [4]

Показник	Значення для А1		Значення для А2		Значення для А3	
	оптимальне	обов'язкове	оптимальне	обов'язкове	оптимальне	обов'язкове
рН	6,5–8,5		5,5–9,0		5,5–9,0	
Загальні завислі частинки, мг/дм <sup>3</sup>	25					
БСК <sub>П</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	3		5		7	
Запах, коефіцієнт розводж. при 25 <sup>0</sup> С	3		10		20	
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	25	50		50		50
Фториди, мг/дм <sup>3</sup>	0,7–1,0	1,5	0,7–1,7		0,7–1,7	
Розчинене залізо, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,3	1	2	1	
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,05		0,1		1	
Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,05	0,05		1	
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	3	1	5	1	5

Слід звернути увагу на те, що якість вод за деякий період часу в країнах ЄС оцінюється за результатами аналізу разових спостережень. Осереднення значень показників за будь-які періоди часу не виконується.

Примітка. У табл. 1 символами А1, А2, А3 позначені класи якості природних вод, які потребують різного ступеня очищення до кондицій водопровідної води. Вони повністю відповідають класам в табл. 2.

Крім того, поряд зі значенням показника нормується також сумарна тривалість інтервалів часу забрудненого стоку за розглянутий період (не більше 10% періоду), найбільша тривалість цих інтервалів (залежить від нормованої частоти відбору проб) і співвідношення значення показника з його нормативом (не більше 50%). У вітчизняних нормах про це не згадується.

Суттєвий недолік осереднення значень показників якості вод за деякий період часу полягає у тому, що при збігу значення деякого показника з його нормативом (це відповідає вимогам вітчизняних норм) приблизно 50% значень цього показника за розглядуваний період часу будуть перевищувати норматив. В країнах ЄС припустимо не більше 10%.

Тобто використання середніх значень показників ( $C_{СЕР}$ ) за деякі періоди часу при оцінці якості вод неприпустимо. Найбільш логічним буде використання значень показників не із забезпеченістю близько 50% ( $C_{СЕР}$ ), а з деякою іншою. Враховуючи досвід країн ЄС, її можна взяти на рівні 10% ( $C_{10}$ ). У цьому випадку при  $C_{10} = ГДК$  сумарна тривалість періоду забруднення вод буде не більше 10% від періоду, за який оцінюється якість вод.

Розглянемо тепер *метод комплексних індексів* [1]. Особливість цього методу полягає у тому, що при оцінці якості вод дані по усіх показниках (або по їх частині) узагальнюються, а по окремих показниках інформація губиться.

У 2007 році замість ГОСТ 2761-84 [3] прийнято ДСТУ 4808:2007 [5], у якому класифікація поверхневих джерел централізованого водопостачання здійснюється за комплексним індексом. Розглянемо докладніше цей документ.

Класифікація якості поверхневих вод України – джерел централізованого питного водопостачання охоплює 80 показників, які застосовують для оцінювання якості питної води згідно з санітарним законодавством, і має сім окремих груп (блоків) [5]. Діапазон значень показників якості води в класифікації поділено на чотири класи: 1 клас – *відмінна*, бажана якість води; 2 клас – *добра*, прийнятна якість води; 3 клас – *задовільна*, прийнятна якість води; 4 клас – *посередня*, обмежено придатна, небажана якість води (видно, що межа між чистими і брудними водами проходить між 2 і 3 класами).

Оцінювання якості води, залежно від його (оцінювання) конкретного призначення, можна виконувати трьома способами: а) за значеннями окремих показників; б) за значеннями інтегральних блокових індексів; в) за значеннями інтегрального комплексного індексу [5].

а) Оцінювання (*орієнтовне*) якості води за значеннями окремих показників виконують на

основі разових або серійних вимірювань, здійснюваних одночасно або протягом короткого відрізка часу (доба, тиждень), тоді, коли необхідно одержати попереднє уявлення щодо якості води у місцях водозабору в будь-який час.

б) Оцінювання якості води за значеннями *інтегральних блокових індексів (грунтового)* виконують задля переконливих і відповідальних висновків і рішень щодо якості води в джерелах на основі арифметичної обробки емпіричних значень усіх (*повне* оцінювання) або кількох (*неповне* оцінювання) показників I–VII блоків.

Грунтового оцінювання якості води за значеннями *інтегральних блокових індексів* виконують за процедурою, що складається з трьох послідовних етапів: - етап групування і обробки вихідних даних; - етап визначення класів якості води джерела водопостачання за окремими показниками; - етап узагальнення оцінювання якості води за окремими показниками і погодження їх з технологічними прийомами кондиціонування вод залежно від фізико-хімічної та мікробіологічної природи забруднювальних домішок.

*Етап групування і обробки вихідних даних.* Вихідні дані щодо якості води за окремими показниками (дані аналізів проб води, які відбиралися щомісячно протягом останніх 3-х років) об'єднують у межах блоків I–VII і для кожного наявного показника визначають середні та найгірші значення.

*Етап визначення класів якості води за окремими показниками.* Для кожного показника окремо його середнє та найгірше значення зіставляють з відповідними критеріями якості води у класифікаторі та записують клас якості води.

*Етап узагальнення оцінювання якості води за окремими показниками з визначенням інтегрального блокового індексу* теж виконують лише у межах окремих блоків показників. Це узагальнення полягає у визначенні середніх і найгірших значень для семи блокових індексів якості води ( $I_{I-VIIСЕР}$  та  $I_{I-VIIПНТ}$ ).

Значення середнього блокового індексу якості води визначають шляхом усереднення номерів класів по усіх наявних показниках у межах блоку, який розглядається. Значення найгіршого блокового індексу якості води визначають за показником з найгіршим значенням (з найбільшим номером класу) серед інших показників даного блоку.

Маючи середні й найгірші значення блокових індексів якості води, визначають їх належність до певного класу якості води за допомогою таблиці. Значення блокових індексів якості води можуть виражатись як цілими, так і дробовими числами. Використання дробових значень блокових індексів і обчислених на їх основі

підкласів якості води дозволяє диференціювати і точнішим. оцінювання якості води, робити його гнучкішим

Таблиця 2

Результати статистичної обробки даних спостережень за якістю вод р. Дунай–м. Вилкове біля водозабору за період 2004–2009 роки

№ п/п	Показник	Значення					
		C <sub>СЕР</sub>	C <sub>МАХ</sub>	C <sub>МІН</sub>	σ	C <sub>ФОН</sub>	C <sub>10</sub>
1	Кольоровість, град.	6,6	25,2	2,4	3,2	7,1	10,7
2	Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	58,1	891	2,8	131,3	79,6	228
3	pH	7,98	8,41	7,45	0,16	8,01	8,18
4	Розчинений кисень, мг/дм <sup>3</sup>	9,3	13,4	5,9	2,0	9,0	6,8
5	Азот амонійний, мг/дм <sup>3</sup>	0,194	0,680	0,037	0,117	0,213	0,346
6	Азот нітритний, мг/дм <sup>3</sup>	0,024	0,095	0,002	0,016	0,027	0,045
7	Азот нітратний, мг/дм <sup>3</sup>	1,36	2,44	0,60	0,43	1,43	1,92
8	Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	0,160	0,395	0,052	0,060	0,170	0,238
9	Залізо, мг/дм <sup>3</sup>	0,073	0,466	0,004	0,081	0,086	0,178
10	Окислюваність перм., мг/дм <sup>3</sup>	3,91	6,20	2,66	0,90	4,06	5,08
11	ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	18,9	65,7	5,8	7,9	20,2	29,1
12	БСК <sub>п</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	4,55	10,40	1,60	1,86	4,86	6,97
13	Кремній, мг/дм <sup>3</sup>	3,07	5,80	0,50	1,25	3,27	4,69
14	Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup>	2,93	3,83	2,13	0,36	2,99	3,39
15	Жорсткість, мг-екв/дм <sup>3</sup>	3,75	5,25	2,67	0,47	3,83	4,36
16	Магній, мг/дм <sup>3</sup>	13,6	19,8	7,8	2,2	14,0	16,5
17	Натрій + калій, мг/дм <sup>3</sup>	19,6	34,6	6,4	5,9	20,6	27,3
18	Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	29,1	44,5	17,6	5,8	30,0	36,6
19	Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	38,2	53,5	26,1	6,0	39,2	45,9
20	Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	289	387	222	35	295	335
21	Хром, мг/дм <sup>3</sup>	0,0012	0,0040	0,0000	0,0009	0,0014	0,0023
22	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	0,0070	0,0520	0,0000	0,0108	0,0088	0,0209
23	Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	0,0022	0,0160	0,0000	0,0024	0,0026	0,0052
24	Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,0331	0,1300	0,0000	0,0311	0,0381	0,0734
25	Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,0197	0,0940	0,0050	0,0142	0,0220	0,0380
26	Феноли, мг/дм <sup>3</sup>	0,0007	0,0030	0,0000	0,00072	0,00085	0,00167
27	СПАР, мг/дм <sup>3</sup>	0,107	0,4510	0,0210	0,0971	0,123	0,233

в) Узагальнене оцінювання якості води за значеннями інтегрального індексу доцільне в тих випадках, коли зручніше мати однозначне і в той же час узагальнене оцінювання якості води у джерелах централізованого питного водопостачання, а саме: для порівняння різних варіантів розташування водозабору станцій водопідготовки у випадку проектування їх будівництва чи реконструкції; для картографування стану поверхневих джерел централізованого питного водопостачання; для планування водоохоронних заходів щодо захисту поверхневих джерел централізованого питного водопостачання.

Значення узагальненого інтегрального індексу якості води визначають за формулою:

$$I_{INT} = (I_I + I_{II} + I_{III} + I_{IV} + I_V + I_{VI} + I_{VII}) / 7, (1)$$

де  $I_I - I_{VII}$  – значення блокових індексів; 7 – кількість групових індексів.

У разі відсутності одного або двох групових індексів,  $I_{INT}$  обчислюють як частку від ділення суми значень наявних групових індексів. Значення  $I_{INT}$  обчислюють на основі блокових індексів, обчислених за середніми і найгіршими зна-

ченнями окремих показників якості води. З формули (1) видно, що значення інтегрального індексу ( $I_{INT}$ ) визначають шляхом усереднення блокових індексів. Таким чином, в ДСТУ 4808:2007 задля переконливих і відповідальних висновків і рішень щодо якості води при розгляді технологічних прийомів кондиціонування вод, при експлуатації, проектуванні чи реконструкції станцій водопідготовки та їх водозаборів рекомендується використання блокових й інтегральних індексів, які розраховуються шляхом усереднення даних спостережень за останні три роки, визначення класів якості по кожному показнику окремо, усереднення класів якості по усіх показниках в окремих блоках (грунтового оцінювання за блоковими індексами  $I_{I-VII\text{СЕР}}$ ) та усереднення блокових індексів (узагальнене оцінювання за інтегральним індексом  $I_{INT\text{-СЕР}}$ ). Видно, що при розрахунку  $I_{I-VII\text{СЕР}}$  втрачається інформація не тільки про часові зміни значень показників (усереднювання за деякий період часу), а також за окремими показниками (усереднення всередині блоків). Розрахунок  $I_{INT\text{-СЕР}}$  додатково супроводжується втраченою інформацією з окремих блоків. Недолік цього

очевидний: за деякими окремими показниками у межах блоку (чи блоковим індексом) вода може бути віднесена до класу 4 (посередня, обмежено придатна), але якщо за іншими показниками (чи блоковими індексами) вона буде віднесена до класу 1 (відмінна, бажана якість), то середній клас може виявитися 1 (відмінна, бажана якість) або 2 (добра, прийнятна якість). Середня оцінка у даному випадку є неінформативною, вона не має сенсу. Нею не можна користуватися при прийнятті переконливих і відповідальних рішень.

Результати статистичної обробки вихідних даних спостережень за якістю вод р. Дунай у районі м. Вилкове біля водозабору за 2004-2009 роки. наведено в табл. 2. Відповідно СанПиН – 4630–88 [2] ступінь забруднення вод р. Дунай–м. Вилкове за середніми значеннями показників має індекс 1 з характеристикою «помірний».

Як джерело централізованого водопостачання відповідно до ГОСТ 2761–84 [3] води ріки Дунай відносяться до класу 2 за двома показниками: мутність (завислі речовини) і БСК<sub>П</sub>. За нормами країн ЄС [4] якість вод буде відповідати класу А3 за показником БСК<sub>П</sub>. Ця оцінка не співпадає з жодною оцінкою за вітчизняними нормами. Причина цього полягає в тому, що оцінки за [2] та [3] виконані за середніми значеннями показників. Правильніше використовувати значення з забезпеченістю 10%.

При використанні  $C_{10}$  замість  $C_{СЕР}$  оцінка якості вод р. Дунай–м. Вилкове змінюється: за [2] ступінь забруднення вод з індексом 2 – високий; за [3] клас як джерела централізованого водопостачання 3. Розглянемо тепер оцінку якості вод річки Дунай за ДСТУ 4808:2007 (табл. 3).

Таблиця 3

Оцінка якості вод р. Дунай–м. Вилкове за ДСТУ 4808:2007

Блок	Показник	Одиниця виміру	Значення		Клас за показником		Блоковий індекс
			сер.	найг.	сер.	найг.	
I	Кольоровість	град.	6,6	25,2	1	2	$I_{IСЕР} = 1,50$ $I_{IHG} = 2$
	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	58,1	891	2	2	
II	Сухий залишок	– " –	289	387	1	1	$I_{IIСЕР} = 31/15 = 2,07$ $I_{IIHG} = 4$
	Сульфати	– " –	38,2	53,5	1	2	
	Хлориди	– " –	29,1	44,5	1	2	
	Магній, мг/дм <sup>3</sup>	– " –	13,6	19,8	2	2	
	Жорсткість	мг-екв/дм <sup>3</sup>	3,75	5,25	2	3	
	Лужність	– " –	2,93	3,83	2	2	
	pH	–	7,98	8,41	2	3	
	Азот амонійний	мг/дм <sup>3</sup>	0,194	0,680	2	3	
	Азот нітритний	– " –	0,024	0,095	3	4	
	Азот нітратний	– " –	1,36	2,44	4	4	
	Фосфати	– " –	0,070	0,172	3	3	
	Розчинений кисень	– " –	9,3	5,9	1	3	
	Окислюваність перм.	– " –	3,91	6,20	2	2	
	ХСК	– " –	18,9	65,7	2	4	
БСК <sub>П</sub>	– " –	4,55	10,4	3	4		
VII	Залізо	– " –	0,073	0,466	2	3	$I_{VIIСЕР} = 14/8 = 1,75$ $I_{VIIHG} = 4$
	Марганець	– " –	0,0331	0,130	2	3	
	Мідь	– " –	0,0022	0,0160	2	2	
	Хром	– " –	0,0012	0,0040	1	2	
	Цинк	– " –	0,0070	0,0520	1	2	
	Нафтопродукти	– " –	0,0197	0,0940	2	3	
	СПАР	– " –	0,107	0,451	3	4	
	Феноли	– " –	0,0007	0,0030	1	2	
$I_{IINT-СЕР} = (1,50+2,07+1,75)/3 = 1,77$ – клас 2, підклас 2(1);							
$I_{IINT-HG} = (2+4+4)/3 = 3,33$ – клас 3, підклас 3(4)							

Показники представлені трьома блоками: I – органолептичні; II – загально-санітарні хімічні та VII – токсикологічні показники.

За середніми блоковими й інтегральним індексами якість вод р. Дунай–м. Вилкове відноситься до класу 2 з характеристикою – добра, прийнят-

на якість. Це не співпадає з оцінкою за санітарними нормами – помірно забруднена. Номер класу співпадає з ГОСТ 2761-84, але у ГОСТ 2761-84 три класи і його клас 2 має характеристику задовільна якість вод або помірно забруднені води. Ця розбіжність є результатом усереднення.

Наприклад, у другому блоці (табл. 3) за показниками нітриту, нітрату, фосфату та БСК<sub>П</sub> вода відноситься до класів 3, 4 (задовільна, посередня), однак при усередненні за всіма показниками вона стає класу 2 (добра).

За найгіршими показниками оцінка різко відрізняється: за блоками вода має клас 4 (посередня); за інтегральним індексом – 3 (задовільна). Це співпадає з ГОСТ 2761-84. Однак оцінка за найгіршими значеннями показників занадто жорстка тому, що найгірші значення спостерігались лише один раз за увесь період спостережень.

Усунення недоліків ДСТУ 4808:2007 можливо шляхом подальших змін при *грунтовному оцінюванні* якості вод: для кожного окремого показника замість середнього та найгіршого значень визначити значення із забезпеченістю 10% ( $C_{10}$ ); за значеннях  $C_{10}$  для кожного окремого показника визначити клас якості вод; значення блокових індексів  $I_{I-VII}$  взяти за показниками з найбільшим (найгіршим) номером класу у блоках.

При *узагальненому оцінюванні* якості вод значення інтегрального індексу  $I_{INT}$  (також як і ДСТУ 4808:2007) розраховувати шляхом усере-

днення наявних блокових індексів. Це припустимо з врахуванням призначення узагальненої оцінки.

**Висновки.** Аналіз результатів розрахунків дозволяє зробити такі висновки.

1. Основним недоліком вітчизняних норм при оцінці якості вод за деякий період часу є усереднення значень показників за цей період, а також відсутність нормування загальної кількості перевищень ГДК (загальної тривалості періодів забруднення вод).

2. Методика ДСТУ 4808:2007 за середніми блоковими та інтегральним індексами не дозволяє дати об'єктивну оцінку стану водного об'єкта з-за неодноразового усереднення вихідних і розрахункових даних.

3. Вдосконалення вітчизняних методик оцінки якості вод можливо шляхом використання  $C_{10}$  замість  $C_{СЕР}$ . Крім того, в ДСТУ 4808:2007 значення  $I_{I-VII}$  необхідно виконувати за показником з найбільшим (найгіршим) номером класу.

4. Визначення забезпеченості значень показників при оцінці якості вод у кожному конкретному випадку необхідно виконувати шляхом техніко-економічного обґрунтування.

#### Література

1. Оцінка якості природних вод: Навчальний посібник / С.М.Юрасов, Т.А.Сафранов, А.В.Чугай. – Одеса: Екологія, 2012. – 168 с.
2. СанПиН – 4630–88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Министерство здравоохранения СССР. – Москва – 1988.
3. ГОСТ 2761–84. Источники хозяйственно–питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. – Москва – 1985.
4. Матеріали семінару «Основи природоохоронного законодавства України та Європейського співтовариства: водні ресурси». – К.: Державний інститут підвищення кваліфікації та перепідготовки кадрів Мінекобезпеки України, 1997. – 79 с.
5. ДСТУ 4808:2007 – Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правила вибирання. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 36 с.

#### Kuryanova S.A., Yurasov S.M. Disadvantages of national classifications as groundwater water supply

**Abstract:** The article presents a critical analysis of water quality assessment by different methods on the example of the Danube River at Vilkove town. It is shown that the drawbacks of the existing methods do not make it possible to adequately characterize the state of water bodies as household water sources; and that the integral and average unit indices of DSTU 4808:2007 cannot be used for classification of the sources of centralized water supply. The means for elimination of these drawbacks are suggested.

**Keywords:** qualityassessment, household water, the source of centralized water supply, the quality indicator, unit of indices.

#### Курьянова С.А., Юрасов С.Н. Недостатки отечественных классификаций качества водных объектов централизованного водоснабжения

**Аннотация:** В статье выполнен критический анализ классификации качества вод по различным методикам. Доказано, что недостатки существующих методик не позволяют адекватно характеризовать состояние водных объектов как источников хозяйственно-питьевого назначения, интегральный и средние блочные индексы методики ДСТУ 4808:2007 нельзя использовать при классификации источников централизованного водоснабжения. Предложены пути устранения этих недостатков.

**Ключевые слова:** оценка качества, хозяйственно-питьевое назначение, источник централизованного водоснабжения, показатель качества, блок показателей.



<sup>1</sup>*Bernát Nikolett, II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Beregszász, Ukrajna*

A környezetszennyezés napjainkban egyre nagyobb méreteket ölt. Mindnyájan közrejátszunk ebben. Sokszor azt gondolnánk, az általunk kibocsátott szennyező anyagok elhanyagolhatóak, viszont ennek is hatalmas jelentősége lehet. Munkám során különböző vizsgálatokat végeztem el szülőfalum területén: tartottam terepszemlélt, helyi lakosokkal beszélgettem a környezetvédelem fontosságáról, érdekeltségéről, felkutatam a különféle szennyező forrásokat.

**A háztartási hulladék.** A szernyei lakosok többsége fontosnak tartja, hogy tiszta környezetben éljen. Elmondásuk szerint igyekeznek a lebomló hulladékot (növényi maradványok, konyhai hulladék, stb.) komposztálni. Az éghető hulladékot a háztartások többsége elégeti a tüzelőanyaggal, vagy önmagában. Akadnak olyan háztartások is, akik az ilyen és hasonló hulladékokat is kidobják (1. ábra).



**1. ábra.** Illegális szemétlerakó a falu határában

Egyik sem környezetbarát megoldás – a kidobott szemét tartósan a környezetet, az égetés a levegőt szennyezi. Ha eltekintünk az őszi, illetve tavaszi növénymaradványok elégetése során keletkező füsttől és koromtól, a község CO és CO<sub>2</sub> kibocsátása elmarad a nagyvárosokétól. A maradványok égetése károsítja a talaj mikrofaunáját, pozitívuma viszont a talaj káliummal való feltöltődése. Szernye környékén senki sem folytat ipari tevékenységet, ennek ellenére hatalmas szemét-felhalmozódás észlelhető a község közelében. Mindenki számára nyilvánvaló, hogy a falu lakosai a felelősek érte. Szembetűnő az, hogy a falu közvetlen közele viszonylag tiszta, de azon kívül rengeteg kidobott, feleslegessé vált hulladék hever az út mentén.

A lakosok elmondás szerint van egy kijelölt hely a szemétlerakásra, de az a tapasztalat, hogy egyszerűbb az, ha egyszerűen az út szélére dobják a szeméttel. Mint, például, a Szernyét Bátyúval összekötő út mentén. Mindkét település mellett hulladékkupacok tucatjai hevertek. A szemétlerakás már évek óta ezen a helyen történik. Legnagyobb része a hulladéknak műanyag, de akadt temérdek mennyiségű pelenka, ruhanemű, építési törmelék, stb.

A falu lakosai ügyelnek arra, hogy a közvetlen környezetük, a saját udvaruk, továbbá a lakóházak környéke tisztaságára, és nem vesznek tudomást arról, hogy néhány száz méternyi távolság nem zárja ki a hulladék káros hatását a szervezetükre. A talajon keresztül nagy eséllyel kerülnek szennyező anyagok az ivóvízkészletbe is.



**2. ábra.** Égetés az út mentén

Szernye környékén hulladék mennyisége 40 tonnára becsülhető, ami a lakossághoz képest jelentős mennyiség. A környezetemben lévő hulladék lebomlási ideje különböző. Ilyen mennyiségű szemét gyors lebomlása természetes úton nem lehetséges, ami azt jelenti, hogy amennyiben nem történik meg a szakszerű feldolgozása, még hosszú évtizedekig szennyezi a környezetet.



**3. ábra.** Szemét úton útfélen...



4. ábra. A hulladék általános látképpé vált

1. táblázat

Különböző hulladékok lebomlási ideje

Hulladék megnevezése	Lebomlási idő
Kötél	3-14 hónap
Papír	2-5 hónap
Pamutruha	1-5 év
Tejes doboz	5 év
Nejlonzacskó	10-100 év
Pelenka	50-100 év
Konzervdoboz	50-100 év
Sörös dobozok karikája	450 év
Zöld üveg	1 millió év
Műanyag flakon	soha

#### A szennyvíz.

A település nem rendelkezik központi csatorna-rendszerrel. Minden háztartás egyénileg oldja meg a szennyvíz elvezetését, amire, általában, egy emésztőtógödör szolgál, ami nem képes ellátni funkcióját. A szennyvíz a talajba szivárog, s a benne található vegyi anyagok, tisztítószerek, fekália, korokozók stb. mind az ivóvízkészletet szennyezik, továbbá káros hatással vannak a talajban élő mikroorganizmusokra. Mint minden negatív hatás, végül ez is eljut a kiindulópontjához, az emberhez.



5. ábra. Az eutrofizáció jelensége

Néhány háztartás a szennyvizet a közelben lévő tóba engedi. A faluban a környezetszennyezésnek ta-

lán ez a legfélelőtlenebb formája. A tó ennek következtében elkezdett mocsarasodni, bűzlik, s az egykor benne élő vízi élőlények lassan kipusztulnak.

Az egykor mesterségesen létrehozott tóban a tápanyag jelentős mértékű feldúsulása miatt eutrofizációs jelenségek figyelhetők meg. Az eutrofizáció leginkább a magas nitrogén- és a foszfortartalom miatt jöhet létre (5. ábra).

Tény, hogy a lakosság önmaga a saját környezete tisztaságát sem képes fenntartani. A már meglévő szennyezés eltávolításához csupán az összefogásuk nem elég.

#### A mezőgazdasági szennyvíz.

A növényvédelemben és a talaj tápanyag-utánpótlásában a falubeliek leginkább a tapasztalataikra hagyatkoznak. Talajvizsgálatot nem végeznek. Többségük szerves és műtrágyázást is alkalmaz, anélkül, hogy tisztában lenne a növényvédelmi tevékenység környezeti vonatkozásaival, betartaná a munka- és környezetvédelmi előírásokat, hatósági rendelkezéseket.

A kapott eredmények jelentős mértékben megnövekedett nitrát koncentrációról tanúskodnak, amely a szennyvizek nem megfelelő kezelésére vezethető vissza, továbbá a mezőgazdasági tevékenységekben jelen lévő műtrágyák használatára is. A mérési eredmények szerint a településen lévő vizek nagy része emberi fogyasztásra már nem alkalmas. A megengedett nitrát koncentrációja nem haladhatja meg az 50 mg/litert. A magas nitrát-tartalom régi, nem friss szennyeződésre utal.

2. táblázat

Különböző mélységű kutak vizeinek nitrát-tartalma Szernyén

N <sub>o</sub>	A vizsgált kút mélysége, m	A jelenlévő nitrát koncentrációja, mg/l	Nitrát többlet, mg/l
1.	6	285	235
2.	7	214	164
3.	9	250	200
4.	45	18	-

A megnövekedett érték következtében kialakulhat az ún. methemoglobinaemia nevű betegség, amely következménye az oxigén nem megfelelő szállítása a vérben. A betegség csecsemőknél fordulhat elő, és végzetes kimenetelű lehet az oxigénhiány miatt. A községben a legtöbb édesanya a gyermekének forralt vizet ad, de a megvizsgált mintákban a nitrát koncentrációja nem csökkent forraláskor, sőt, az érték magasabb lett, mint forralatlan víz esetében.

A sótartalom. A víz sótartalmát elektromos vezetőképesség mérésével vizsgáltuk. Átlagosan ez az érték 500–800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Az ennél magasabb értéknél – amit minden mintában kaptunk – az ivóvíz már káros az ember egészségére. A kutak

többségében a víz nem alkalmas fogyasztásra. Ivóvíz csak a 45 m-es kútban található. Az ilyen kutak furása a lakosok többsége számára túl drága.

**3. táblázat**

Különböző mélységű kutak vizeinek elektromos vezetőképessége és pH értéke Szernyén

N <sub>o</sub>	A kút mélysége, m	Elektromos vezetőképesség, $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH érték a vízmintában
1.	6	1910	6,979
2.	7	1813	6,917
3.	9	1262	7,09
4.	45	644	7,082

A pH érték tájékoztat a víz korróziós tulajdonságairól, lúgosságáról és savanyúságáról. Enyhén lúgos a víz, ha az érték 7,3–7,5 között van. Az alacsony pH érték miatt a szerkezeti anyagok korrodálódnak. A kapott eredmények szerint (3. táblázat) a

víz pH értéke minden kutban a emgengedett határon belül van.

**A fűtési módok, légszennyezés.** A levegőszennyeződés fő forrása télen a háztartások fűtése. Ezen belül a szénrel, fával és, e mellé gyakran társuló, háztartási hulladékkal történő fűtés. A községbe a földgázt csak nemrég vezették be, s a lakosok egy része még nem rendelkezik gázfűtéssel (4. táblázat).

**4. táblázat**

A fűtési módok eloszlása Szernyén 2012-ben

A házak száma	Földgázfűtésű	Fa-, szén- stb. fűtésű
562	445	117

A községben alkalmazott fűtési módok közül a környezet szempontjából a földgáz hasznosítása a kedvezőbb. A hagyományos fűtés sokkal több melléktermék-képződéssel jár. Ide sorolható a CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, a korom és a pernye, melyek az egészségre nézve káros hatásúak.

**Irodalom**

- Gönczi Sándor (2004): Földtani alapfogalmak, PoliPrint, Ungvár, (22, 24oldal)
- Jakab Sámuel- Füleky György (2004): Környezetvédelem TALAJ, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, (13. oldal)
- Dr. Katona Sándor (1974): Az ember és környezete, Tankönyvkiadó, Budapest, (5- 22, 41- 101. oldal)
- Dr. Kerényi Attila (1999): Regionális környezetvédelem I. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, (102- 108. oldal)
- Dr. Kerényi Attila (2003): Környezettan, Mezőgazda Kiadó, Budapest, (11-13, 102-106. oldal)
- Majer József (2005): Bevezetés a környezettanba biológusoknak, Pannonöko BT, Pécs, (4-7. oldal)
- Moser Miklós-Pálmai György (1992): A környezetvédelem alapjai, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, (25- 28, 246- 248. oldal)
- <http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/KorSzeny.htm>, Horváth Miklós (2012): <http://www.vilaglex.hu>
- <http://www.fsz.bme.hu/mtsz/szakmai/zk04.htm>, Hubai József (1992): Levegőburok (atmoszféra), <http://www.fsz.bme.hu>
- [http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1\\_\\_Leveg\\_szenyez\\_s/-\\_Mi\\_a\\_l\\_gszennyez\\_s\\_3hj.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1__Leveg_szenyez_s/-_Mi_a_l_gszennyez_s_3hj.html), Pawel Jezioro, Anita Bokwa: Mi a levegőszennyezés?
- [http://eki.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/levved/leveg/nod\\_e79.htm](http://eki.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/levved/leveg/nod_e79.htm) Dr. Nagy Géza - Dr. Papp Zoltán (1997): Levegővédelem
- <http://www.fsz.bme.hu/mtsz/szakmai/zk05.htm>, Hubai József (1992): Vízburok (hidroszféra)
- <http://www.vizazelet.hu/vizrol/nitratos.html>, Ví az élet ©(2012): A nitrátos víz, <http://www.coolpex.com/>
- <http://www.exploreronline.hu/cikkek/voros-konyv>, Bencsik Éva(2009):A Vörös Könyv, <http://www.exploreronline.hu/>
- <http://www.glia.hu/okolabnyom/>, Glia Számítástechnikai és Tanácsadó Kft. (2012) Ökológia lábnyom számítás, <http://www.glia.hu/site/index.php>
- [http://vallalkozas.hulladekboltermek.hu/zold\\_vallalat/okologiai\\_labnyom/](http://vallalkozas.hulladekboltermek.hu/zold_vallalat/okologiai_labnyom/), HULLAD-EKBOLTERMEK.HU 2007 (C): Ökológiai lábnyom, <http://vallalkozas.hulladekboltermek.hu>
- <http://hu.wikipedia.org/wiki/Szernye> (2010), <http://hu.wikipedia.org/wiki/Kezd%C5%91lap>
- <http://www.termeszetesen.eoldal.hu/cikkek/hulladekok-lebomlasi-ideje/>, Hulladékok lebomlási ideje (2007-2010), <http://www.termeszetesen.eoldal.hu/>
- <http://www.kothalo.hu/labnyom/>, Környezeti Tanácsadó Irodák Hálózata (© 2012): Ökológiai lábnyomszámítás, <http://www.kothalo.hu>

**Bernát N. Exploration and presentation of pollution sources of Sernye**

**Abstract:** naturally occurring processes play an important role in people's lives. We know that the relationship with nature can affect state of our environment in a negative and positive way. In this research I studied and measured the degree of pollution in my native village Sernye. During the research I visited places which could be sources of pollution, talked to local residents about possible sources, checked potential sources of pollution, and conducted various measurements of water pollution. In the village everyone loves to preserve the purity of his own yard. However, my work is extended to the purity of nature throughout the village, so I had to face and realize the sad fact that the seemingly clear environment is actually strongly polluted. Because of the lack of services the villagers throw away waste from their yards to the edge of the village. In this way they have a detrimental effect on the aesthetic details of the village, and pollute the environment. In large areas, you can see a huge variety of different types of waste. The next major source of pollution was the lack of a central sewage drainage system in the courts, as well as in areas of agricultural and farmer

activity. I conducted water tests for nitrate and salt to give more accurate information about the quality of water. It turned out that the drinking water has very high levels of nitrates and salts, which is a consequence of infiltration of drinking water by sewage from households and agriculture. According to the results of my work there are two major sources of pollution: sewage water and domestic waste.

**Keywords:** environment, pollution, water quality, waste

### **Бернат Н.Б. Исследование и описание источников загрязнения села Серне**

**Аннотация:** Встречающиеся в природе процессы играют важную роль в жизни людей. Мы знаем, что отношение к природе может повлиять на состояние нашей окружающей среды и в негативном и позитивном смысле. Я в этом научном исследовании я измеряла степень загрязнения окружающей среды родной деревни Серне. Я во время исследования я выезжала на места для источников загрязнения, разговаривая с местными жителями о возможных источниках, проверяла потенциальные источники загрязнения, проводила различные измерения загрязнения воды. В посёлке все любят сохранять чистоту своего собственного двора. Однако моя работа распространялась на чистоту природы по всей деревне, и поэтому мне предстояла осознать печальный факт, что за кажущейся чистотой огромное количество загрязнений. Из-за отсутствия коммунальных услуг жители посёлка выбрасывают отходы из своих дворов на край деревни. Этим они оказывают вредное влияние на эстетические данные посёлка, и загрязняют окружающую среду. На больших территориях можно встретится с множеством различных видов отходов. Следующим важным источником загрязнения было отсутствием центрального отвода канализационных стоков в дворах, а также на территориях сельскохозяйственной деятельности. Я провел тесты воды на нитраты и соли, чтобы получить более точную информацию о качестве воды. Оказалось, что в питьевой воде очень высокие уровни нитратов и солей, что есть последствием инфильтрации питьевой воды сточными водами из дворов и сельскохозяйственных. По результатам моей работы два крупнейших источников загрязнения это: сточные воды, и домашние отходы.

**Ключевые слова:** окружающая среда, загрязнение окружающей среды, качества воды, отходы

*Казімір І.І.<sup>1</sup>, Солодкий В.Д.<sup>2</sup>, Беспалько Р.І.<sup>3</sup>*

### **Імплементация принципів сталого розвитку в умовах гірських екосистем Українських Карпат**

<sup>1</sup> *Казімір Іван Іванович, кандидат біологічних наук, доцент*

<sup>2</sup> *Солодкий Володимир Дмитрович, доктор біологічних наук, професор*

<sup>3</sup> *Беспалько Руслан Іванович, кандидат біологічних наук, доцент  
кафедра землевпорядкування та кадастру,*

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна*

**Аннотация:** Розроблено науково-методичні та організаційні засади оптимізації використання та збереження потенціалу біотичних ресурсів Буковинських Карпат шляхом впровадження норм сталого розвитку у контексті реалізації Стратегії Карпатської конвенції. Визначено причинно-наслідкові зв'язки антропогенної трансформації біорізноманіття та природно-ресурсного потенціалу Буковинських Карпат. Найбільшу небезпеку природному розвитку територій Чернівецької області та суміжних регіонів України, Молдови і Румунії спричиняють повені в басейнах рік Дністер, Прут і Сірет. Вони є наслідком природних особливостей регіону та порушення лісового покриву верхнього поясу гір. Розвитку різноманіття ландшафтів і біоти загрожують ненормативне ведення лісового та сільського господарств, туризму, рекреаційної діяльності, побічного природокористування. Досліджено таксономічний склад флори і фауни та оцінено стан захищеності раритетних видів судинних рослин і тварин Буковинських Карпат, занесених до Червоної книги України, Європейського Червоного Списку та додатків Бернської конвенції. Особливу увагу надано стану лісів, їхньому біорізноманіттю та екологічній ролі у водозбірних ландшафтах, впровадженню екологічних норм у систему ведення лісового господарства, розвитку природно-заповідного фонду і розбудові екомережі. Для реалізації принципів і завдань Стратегії Карпатської конвенції розроблено: 1) методологію діяльності (визначено науково-методичну і законодавчо-нормативну базу, ресурсне та організаційне забезпечення); 2) комплексну програму «Буковинські Карпати» з цільових програм дій секторів економіки і охорони природного довкілля; 3) напрями, етапи, алгоритми, перепони та законодавчо-інституційні рамки реалізації завдань; 4) механізми співпраці суб'єктів суспільної діяльності на засадах інтегрованого управління та на водозбірно-басейновій основі. Запропоновано принципові схеми: удосконалення системи моніторингу та управління екологічними ризиками Буковинських Карпат шляхом міжсекторальної прозорості взаємодії інституцій природокористування і охорони навколишнього природного середовища; основні напрями вдосконалення системи управління екологічними загрозами в регіоні за принципами Карпатської конвенції. Доведено, що реалізація напрацьованих пропозицій створить сприятливі умови для організації і підтримання збалансованого природокористування та розвитку Українських Карпат.

**Ключові слова:** Карпатська конвенція, антропогенно-природні загрози, екосистемний підхід, збереження біорізноманіття, екомережа.

Імплементация принципів сталого розвитку в умовах гірських екосистем в Українських Карпатах здійснюється на базі Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат та відповідної Стратегії виконання Рамкової конвенції (далі Стратегія Карпатської конвенції) [1-3,10]. Карпатська конвенція відіграє визначну роль як багатостороння угода між Румунією, Польщею, Чехією, Словаччиною, Сербією, Угорщиною та Україною щодо зосередження спільних зусиль для збереження, відновлення та раціонального використання природних ресурсів Карпатського регіону Європи. Стратегією Карпатської конвенції, що затверджена рішенням уряду України передбачено врегулювання природоохоронних, економічних, соціальних відносин на місцевому, національному та міжнародному рівнях. В основу покладено положення про те, що однією із найважливіших передумов забезпечення цілісності гірських та передгірських ландшафтів є збереження природних екосистем, здатних ефективно виконувати кліматорегулювальну роль і протистояти катастрофічним повеням та зсувам – основній загрозі екологічній безпеці регіону, що спричиняє дестабілізацію природного середовища краю [5, 6].

З метою впровадження сталого розвитку в умовах гірських екосистем Українських Карпат визначено базові принципи внутрішнього національного та транскордонного співробітництва з урахуванням цілей Карпатської конвенції: а) принципи запобігання та застереження; б) принцип «забруднювач платить»; в) участь громадськості та залучення заінтересованих організацій; г) транскордонна співпраця; д) інтегроване планування та управління земельними та водними ресурсами; е) програмний підхід; ж) екосистемний підхід. Дослідження здійснювали у в Буковинських Карпат та Передкарпатті, де базові принципи Карпатської конвенції реалізують за напрямками: інтегрований підхід до управління земельними ресурсами; збереження та стале використання біологічного та ландшафтного різноманіття та розвиток екомережі; просторове планування; сталі та інтегровані управління водними ресурсами та річковими басейнами; сталі сільське та лісове господарство; сталий туризм; система оцінювання інформації про стан природного довкілля, моніторинг та раннє попередження; участь громадськості.

У питаннях реалізації Стратегії Карпатської конвенції особливу увагу надано лісам як основному структурному елементу екомережі. Це пов'язано з тим, що у лісах Буковини накопичилося багато актуальних проблем (екологізація

господарювання, оптимізація лісокористування, складна структура водозбірних ландшафтів тощо), що можуть призвести до соціально-економічних негараздів. Гірські ліси Буковини розташовані на площі 118,3 тис. га. Щорічно тут заготовляють понад 300 тис. куб. метрів деревини. Але гірські ліси Буковини є не тільки джерелом цінної сировини, вони також виконують водоохоронні, водорегулюючі та протиерозійні функції і мають велике екологічне значення [7,9]. Слід зауважити що у Буковинських Карпатах протягом багатьох десятиріч здійснювалося інтенсивне господарювання без врахування специфіки гірських та передгірських умов, що призвело до порушення екологічної рівноваги - у великих обсягах, особливо у повоєнний період, коли велися суцільні рубки лісу, безсистемно будувалися лісовозні дороги та трельовальні волоки, нафто- і газопроводи, проводилося розорювання крутосхилів тощо [4,11].

У зв'язку з цим вживається низка науково-виробничих заходів, зокрема, екомережа Буковинських Карпат та Передкарпаття формується на принципах забезпечення цілісності екосистемних функцій основних її структурних елементів – територій природно-заповідного та лісового фонду, захисних насаджень, земель оздоровчого, рекреаційного призначення; та місць поширення видів і угруповань занесених до Червоної та Зеленої книг України.

Проведений аналіз застосування різних методів трельовання деревини засвідчив, що екологічна безпека лісових формацій гірських лісів Буковинських Карпат (60 відсотків їх знаходиться на схилах понад 20 градусів) значною мірою залежить від технології рубок головного користування. Загальною проблемою лісового господарства в гірських умовах є відсутність механізмів для повітряного трельовання деревини при розробці лісосік. Це призводить до того, що в місцях суцільних рубок деревостанів (наземного спуску деревини з гір) деградують природні комплекси, посилюється змив ґрунту, засмічуються і забруднюються гірські потоки, що в кінцевому підсумку призводить до інтенсифікації стихійних явищ та порушення сталості екологічної безпеки регіону. Внаслідок таких систем господарської діяльності нижній гірський пояс буково-ялицевих лісів поступово змінювався смерековими монокультурами, що в окремих випадках привело до випадання цінної породи - ялиці білої. Все це потребує заходів щодо приведення лісокористування у відповідність до сучасних нормативів [8,11].

Ефективним способом транспортування деревини в умовах Буковинських Карпат та Передкарпаття є повітряно-канатний спуск. Він

відповідає вимогам раціонального природокористування, оскільки забезпечує збереження природних гірських ландшафтів від руйнівного впливу, що спостерігається при тракторному трелюванні.

З врахуванням сучасних економічних умов нами впроваджено у виробництво Державного Підприємства «Путильське лісове господарство» вдосконалену конструкцію канатно-підвісної установки. Дана установка забезпечує високу продуктивність механізованої праці при здійсненні лісозаготівельних робіт, збереження водорегулюючих, ґрунтозахисних та інших корисних властивостей лісу, успішне поновлення головних порід. Впровадження даної канатнопідвісної установки в гірських умовах дозволить зберегти їх цінні екосистеми, дасть значний не тільки екологічний, але й економічний ефект [7].

Провідну роль в імплементації Карпатської конвенції відіграють рівномірно-поступові руб-

ки, що мають значний природоохоронний ефект, зберігають захисні функції лісових насаджень та ландшафтів. На цих лісосіках мінімально порушується ґрунт та лісова підстилка технікою, що зменшує, порівняно з суцільнолісосічними рубками, їх негативний вплив на водоохоронні та ґрунтозахисні властивості лісу. Важливо те, що рівномірно-поступові рубки сприяють збереженню корінних типів лісу та оптимальному лісовідновленню за рахунок створення для молодняку мікроумов для їх активного росту. Рівномірно-поступові рубки дозволяють створювати благонадійний підріст на лісосіках і відповідні високобонітетні насадження при скороченні термінів їх вирощування.

Механізм реалізації вимог Карпатської конвенції враховує також положення Закону «Про екологічну мережу України» (рис.), перспективний план розвитку територій природно-заповідного фонду та домінуючу роль лісових ландшафтів області.



Рис. 1. Механізм системної реалізації Стратегії Карпатської конвенції в Українських Карпатах

У зв'язку з цим згідно встановленому порядку визначено ключові території екомережі Буковини:

- Національний природний парк «Вижницький»,
- Національний природний парк «Черемоський»,
- Національний природний парк «Хотинський»,

- Проектований національний природний парк «Сторожинецький»,
- Проектований національний природний парк «Буковинські ліси»,
- Зоологічний заказник «Зубровиця».

У напрямку оптимізації лісокористування проведено господарсько-доцільне групування типів лісу за цільовим призначенням особливо захисних ділянок лісового фонду. З позицій екологічно збалансованого лісокористування, запобігання проявам згубних наслідків природних явищ, посилення водоохоронних, захисних, рекреаційних та інших корисних властивостей лісу ці ділянки запропоновано виключити із головного користування. Господарське групування типів лісу по зонах та пріоритетних напрямків здійснення лісгосподарських заходів у особливо захисних ділянках різних категорій згідно Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок» (2007 р.), свідчить про доцільність виділення трьох цільових захисних груп лісів: темнохвойних, букових і гірських долин. Для успішної реалізації водозбірного принципу господарювання передбачено розробити план дій правового регулювання відносин між землекористувачами, посилити відповідальність за його порушення.

Механізмом реалізації вимог Карпатської конвенції (рис) передбачено також впровадження екологічних стандартів у природокористування як основного напрямку збереження біорізноманіття та збалансованого управління агролісоландшафтами. Зокрема для стабілізації

природокористування і поліпшення екологічного стану в Буковинських Карпатах необхідно розробити програму щодо охорони та відтворення природних екосистем. З метою оптимізації лісокористування у Карпатах слід розробити еколого-економічну науково-обґрунтовану систему ведення лісового господарства з врахуванням цілого комплексу взаємопов'язаних чинників геологічного, кліматичного і гідрологічного характеру. Пріоритетним напрямом оптимізації системи ведення лісового господарства у горах, що забезпечує комплексний, екосистемний підхід до природокористування, є перехід на водозбірно-ландшафтні принципи лісгосподарювання.

Таким чином імплементація принципів сталого розвитку в умовах гірських екосистем на базі Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат та відповідної Стратегії виконання Рамкової конвенції вирішує існуючі протиріччя між необхідністю збереження екосистем і забезпеченням народного господарства продукцією лісового господарства. Одночасно вирішується питання збалансованого розвитку регіону - створення відповідних економічних, організаційних і правових передумов, удосконалення підходів до збереження біотичного та ландшафтного різноманіття, невиснажливого використання природних ресурсів Українських Карпат.

### Література

1. Голубець М.А. Кілька постулатів академіка В.І. Вернадського як заповіт всесвітньому людству на XXI століття (з погляду еколога) / М.А. Голубець // Вісник Національної академії наук України – 2012. – №10. – С. 12-24.
2. Екологічний паспорт Чернівецької області. Чернівці, Зелена Буковина, 2010 – 208 с.
3. Концепція збереження біологічного різноманіття України / Затв. Постановою КМУ № 439 від 12.05.1997 р. – К., 1997. – 28 с.
4. Лавров В.В. Приклад системного підходу до формування програми інтегрованого управління водозбірними басейнами Чернівецької області з використанням екологічної ролі лісів / Лавров В.В., Солодкий В.Д. // Лісівництво і агролісомеліорація. – Вип. 107. – Харків: “С.А.М.”, 2004. – С. 40-49.
5. Національний план дій з охорони навколишнього природного середовища на 2011-2015 роки / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 травня 2011 р. № 577-р. – 12 с.
6. Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2020 року // Відомості Верховної Ради України, 2011, № 26. – С. 218–234.
7. Солодкий В.Д. Ліси Буковини: Буковинські Карпати та Передкарпаття: Монографія / В.Д. Солодкий. – Чернівці: Зелена Буковина, 2012 - 320 с.
8. Солодкий В.Д. Вплив техногенно-природних факторів на збалансоване природокористування в умовах гірських екосистем / В.Д. Солодкий, Р.І. Беспалько, І.І. Казімір // Геодезія, картографія та аерофотознімання. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Національний університет «Львівська політехніка» – Випуск 76, Львів, 2012 – С. 127-133.
9. Солодкий В.Д. Лісові та заповідні складові структурних елементів екомережі Чернівецької області / В.Д. Солодкий, В.В. Лавров, В.К. Сівак, С.В. Робулець // Наукові праці Лісівничої академії наук України. Випуск 10. – Львів: Національний лісотехнічний університет України, 2012. – С. 177-182.
10. Стратегія виконання Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 січня 2007 р. N 11-р (968-164).
11. Furdychko O.I. Implementation of Carpathian Convention provisions in Bukovinian Carpathians / Furdychko O.I., Solodky V.D. // S4C Science for the Carpathians Newsflash, January, 2009. – P.3.

**Kazimir I.I., Solodky V.D., Bespalko R.I. Implementation of principles of steady development in the conditions of mountain ecosystems of Ukrainian Carpathians**

**Abstract:** The thesis deals with scientific, methodological and organizational principles development of optimization use the Bukovyna Carpathians biotic resources by means of sustainable development standards implementation in terms of the Carpathian Convention Implementation Strategy. Cause-and-effect relations of biological diversity anthropogenic transformation and natural resources potential of the Bukovyna Carpathians have been determined. The highest danger to natural development of Chernivtsi Region territories and adjacent areas of Ukraine, Moldova and Rumania is caused by floods in Dnister, Prut and Siret river basins. The floods are consequences of natural peculiarities of the region as well as of forest damage of high mountain zone. Development of landscape and biotic diversity is also endangered by forestry, agriculture, tourism, recreation activities and indirect natural resources use performed not in compliance with the legal norms. Taxonomic structure of flora and fauna has been researched; protection level of rare species of vascular plants and animals of the Bukovyna Carpathians listed in the Red Book of Endangered Species of Ukraine, in the European Red List and in Supplements to the Bern Convention has been evaluated. Special attention has been paid to condition of the forests, its biological diversity and ecological role for water accumulation landscapes as well as to implementation of ecological standards in the field of forestry, nature reserve fund development and ecological network. The following has been developed for application of principles and terms of the Carpathian Convention Implementation Strategy: 1) methodology of the activity (scientific, methodological, legal norms base as well as resource and organization support have been defined); 2) complex programme "The Bukovyna Carpathians" consisting of goal-oriented action plans in the field of different economy branches and environmental protection; 3) areas, stages, algorithms, impediments, legal and institutional limits of task fulfilment; 4) procedures of social activity parties cooperation based on principles of integrated management and division according to water accumulation areas and basins. The following principal schemes have been proposed: monitoring and management improvement of ecological risks in the Bukovyna Carpathians by means of transparent inter-regional cooperation of the offices competent in the field of natural resources use and environmental protection; the main areas of ecological risks management system improvement in the region in terms of the Carpathian Convention Principals have been determined. It has been proved that implementation of the proposals developed in this thesis will create favourable conditions for organization and maintenance of balanced natural resources use and development system in the Ukrainian Carpathians.

**Keywords:** the Carpathian Convention, anthropogenic and natural dangers, ecological system approach, biological diversity preservation, network.

**Казимир И.И., Солодкий В.Д., Беспалько Р.И. Имплементация принципов устойчивого развития в условиях горных экосистем Украинских Карпат**

**Аннотация:** Разработаны научно-методические и организационные основы оптимизации использования потенциала биотических ресурсов Буковинских Карпат путем внедрения норм устойчивого развития в контексте реализации Карпатской конвенции. Определены причинно-следственные связи антропогенной трансформации биоразнообразия и природно-ресурсного потенциала Буковинских Карпат. Наибольшую угрозу природному развитию территорий Черновицкой области и смежных регионов Украины, Молдавии и Румынии представляют паводки в бассейнах рек Днестр, Прут и Сирет. Они порождены природными особенностями региона и нарушением лесного покрова верхнего пояса гор. Развитие разнообразия ландшафтов и биоты нарушают ненормативное ведение лесного и сельского хозяйств, туризма, рекреационной деятельности. Исследован таксономический состав флоры и фауны и оценено состояние защищенности раритетных видов сосудистых растений и животных Буковинских Карпат, занесенных в Красную книгу Украины, Европейский Красный Список и приложений Бернской конвенции. Особенное внимание уделено состоянию лесов, причинам, масштабам и степени трансформации их структуры, снижения продуктивности, а также биоразнообразию и экологической роли лесов в водосборных ландшафтах, внедрению экологических норм в систему ведения лесного хозяйства, сохранению природно-заповедного фонда, в частности, НПП «Вижницкий», «Хотинский» и «Черемошский», зоологического заказника «Зубровица» и развитию экосети. Для реализации принципов и заданий Стратегии Карпатской конвенции разработаны: 1) методология деятельности (определена научно-методическая и законодательно-нормативная база, ресурсного и организационное обеспечение); 2) комплексная программа «Буковинские Карпаты» с целевых программ действий секторов экономики и охраны природной среды; 3) определены направления, этапы, алгоритмы, препятствия и законодательно-институционные рамки реализации заданий; 4) системные и прозрачные механизмы сотрудничества субъектов общественной деятельности на основе интегрированного управления и на водосборно-бассейновый принципах. Предложены принципиальные схемы: усовершенствования системы мониторинга Буковинских Карпат; усовершенствования системы управления экологическими рисками региона путем межсекторального прозрачного взаимодействия институций природопользования и охраны окружающей природной среды; основные направления усовершенствования системы управления экологическими угрозами в регионе в соответствии с принципами Карпатской конвенции. Доказано, что реализация предложений создаст благоприятные условия для организации и поддержания сбалансированного природопользования и развития Украинских Карпат.

**Ключевые слова:** Карпатская конвенция, антропогенно-природные угрозы, экосистемный подход, сохранение биоразнообразия, экосеть.



## CHEMISTRY

Брем В.В.<sup>1</sup>

## Насыщение расплавленных флюсов парами воды и водородом

<sup>1</sup> Брем Владимир Викторович, кандидат химических наук, доцент, декан химико-технологического факультета, Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

**Аннотация:** Для выбора оптимальных составов флюсов, используемых при переплаве сталей, проведена серия опытов по насыщению парами воды и водородом жидких промышленных флюсов, находящихся в состоянии химического равновесия с газовой смесью ( $H_2O + HF$ ). В итоге было сделано заключение о том, что выплавляемые в промышленных условиях флюсы электрошлакового переплава обладают значительной неоднородностью. Не устранялась, по-видимому, эта неоднородность и при переплаве малых по объему образцов в процессе их насыщения газами при температурах до  $1700^\circ C$  на разработанных экспериментальных установках. Последнее обстоятельство может быть связано либо с наличием расслаивания в подобных оксидно-фторидных жидких системах, либо с какими-то фазовыми превращениями при их охлаждении, делающими затвердевший флюс, даже в условиях его мгновенного стеклования, чрезвычайно неоднородным. Проведена серия опытов по насыщению ряда расплавленных флюсов парами воды в условиях контакта с равновесной газовой фазой ( $H_2O + HF$ ). Содержание водорода в пробах флюсов АНФ-1, АНФ-6, АНФ-29, АН-291 и «Бисра» найдено равным нескольким десяткам  $см^3/100г$  флюса. С большей или меньшей четкостью проявляется тенденция к снижению растворимости водорода при повышении температуры на первые  $50...100^\circ C$  от минимально возможной для жидкого состояния. Осуществлена теоретическая оценка температурной зависимости растворимости водорода в расплавленных флюсах, находящихся в контакте с равновесной газовой фазой ( $H_2O + HF$ ). Использовано расчетное уравнение для нахождения ионной доли  $H^+$  ( $x_1$ ), полученное нами ранее для фторидно-оксидных систем лишь в общем виде, основываясь на ионной теории растворов с произвольным числом катионов и анионов. После подстановки полученных в работе значений  $x_1$  и отыскания констант уравнения было установлено, что при повышении температуры на  $100^\circ C$  наибольшая убыль значений  $C_H$  должна иметь место для флюса АНФ-6, где она достигает 20%; наименьшие изменения  $C_H$  ( $5\div 7\%$ ) должны иметь место для флюса «Бисра» и предполагаются таковыми же для флюсов АН-291 и АНФ-29. Проведена серия опытов по насыщению ряда расплавленных флюсов в восстановительной атмосфере чистого водорода. Установлено, что значения  $C_H$  имеют здесь также порядок нескольких десятков  $см^3/100 г$  флюса и в известной степени коррелируются с данными, полученными при насыщении этих же расплавов парами воды.

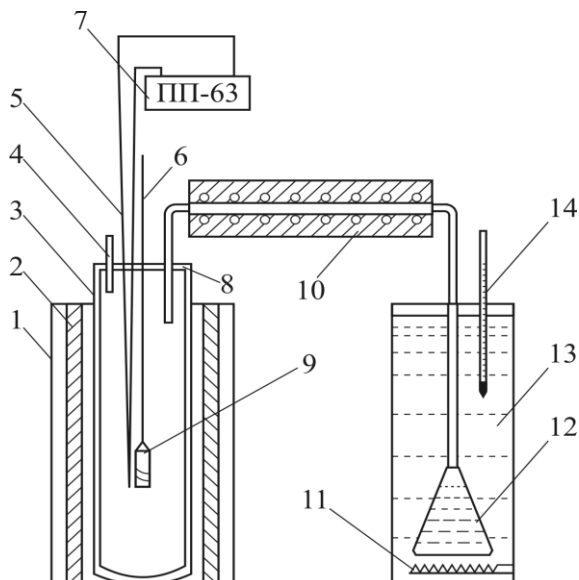
**Ключевые слова:** насыщение, вода, водород, флюс, расплав, газовая фаза.

Прочностные характеристики сталей существенно зависят от содержания в них растворенного водорода. Одним из наиболее существенных факторов на его содержание является насыщенность газами шлакового покрова, т.е. от состава газовой фазы над системой «шлак–металл». Поэтому поиски путей уменьшения склонности к образованию водородных трещин всегда сводились к выбору рационального режима водорода, в стадии сталеплавильного передела, прежде всего по отношению к шлаку. Изучение взаимодействия с газовой фазой фторидно-оксидных расплавов можно считать находящимся лишь в начальной стадии [1].

Первым этапом рассмотрения процессов межфазного распределения водорода в сложной гетерогенной системе газ–флюс–металл является исследование количественных зависимостей взаимодействия газовой фазы, содержащей пары воды, с фторидно-оксидным расплавом. С этой целью была проведена серия опытов по насыщению парами воды жидких промышленных флюсов, находящихся в состоянии химического равновесия с газовой смесью ( $H_2O + HF$ ).

Общая схема установки представлена на рис. 1. В печь (1) с трубчатым угольным нагревателем (2) помещался корундовый чехол (3) диаметром  $35...40$  мм и длиной  $350...400$  мм, обеспечивающий создание замкнутой реакционной зоны. При комнатной температуре в чехол вводился тигель (9) с флюсом, заключенный в корзину из вольфрамовой проволоки. Корзинка подвешивалась на вольфрамовой нити (6), выходящей за пределы замкнутого объема. Верхний конец чехла закрывался асбестовой крышкой и обмазывался смесью асбестовых волокон и огнеупорной глины, что обеспечивало полную герметичность реакционной зоны и возможность создания даже некоторого избыточного давления для устранения подсоса кислорода воздуха. Печь питалась переменным током от трансформатора мощностью  $40$  кВа, обеспечивающего плавную регулировку температуры. Для измерения рабочих температур в реакционной зоне использовалась вольфрам-вольфрамрениевая термопара (5) и потенциометр ПП-63 (7). Генератором водяных паров являлась колба с дистиллированной водой (12), помещавшаяся в термостат (13). Температура в термостате автоматически под-

держивалась нагревателем (11) и контролировалась с помощью термометра (14). На выходе из колбы-испарителя парциальное давление паров воды  $P_{H_2O}$  равнялось 1 атм. Дальнейшая транспортировка его в реакционную зону во избежание конденсации осуществлялась по подогреваемой печью (10) магистрالی.



**Рис. 1.** Установка по насыщению расплавов флюсов парами воды: 1 – печь; 2 – угольный нагреватель; 3 – корундовый чехол; 4 – выход газа; 5 – термопара; 6 – вольфрамовая нить; 7 – потенциометр; 8 – крышка; 9 – тигель; 10 – нагреватель пара; 11 – кипятыльник воды; 12 – колба; 13 – термостат; 14 – термометр

Необходимость использования корзинок для подвешивания тиглей была связана с тем, что при температурах опыта, достигавших 1700 °С, и точках контакта тигля с любыми другими материалами, которые пытались использовать в качестве подставок, происходило спекание и даже разъединение тигля. Материал тигля, в связи с очень высокой агрессивностью исследовавшихся флюсов, в каждом конкретном случае определялся путем проведения предварительных расплавлений. Использование тиглей из окиси алюминия во всех случаях оказалось невозможным. Применялись либо тигли из двуокиси циркония (высотой 40 мм и диаметром 18 мм), либо из окиси бериллия (высотой 42 мм и диаметром 14 мм). Температурные пределы, в которых оказалось возможным провести насыщение с использованием наиболее подходящего материала тигля, указаны в табл. 1. Нижние температурные границы, указанные в этой таблице, определялись на основании данных [2,3].

Пары воды начинали подаваться в рабочий объем с момента достижения в печи температуры 150 °С и в течении первых 5 минут осуществлялось промывание его не менее чем десятикратным объемом пара. Дальнейшее повыше-

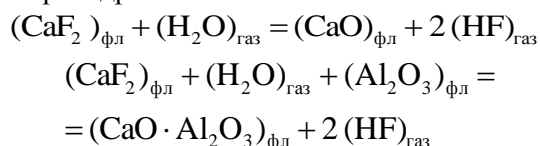
ние температуры до заданной в опыте осуществлялось с одновременной подачей пара, но с значительно меньшим расходом. После достижения необходимой температуры подача пара прекращалась, рабочий объем герметизировался.

**Таблица 1**

Условия проведения насыщения парами воды

Флюс	Материал тигля	Температурный интервал °С
АНФ-1	двуокись циркония	1550-1700
АНФ-6	двуокись циркония	1600-1700
АНФ-29	окись бериллия	1450-1600
АНФ-291	окись бериллия	1400-1450
«Бисра»	окись бериллия	1450-1650

Система выдерживалась до установления химического равновесия в соответствии с реакциями пиролиза:



Использование специального проотборника [1] из-за малых объемов расплава оказалось невозможным. Поэтому пробы флюса отбирались с применением плющильного стеклователя [1]. Полученные при этом пробы флюса представляли собой хрупкие пленки толщиной 0,3...0,1 мм. В соответствии с рекомендациями заказчика они анализировались методом несущего газа с применением специальной лигатуры [1].

Пробы флюсов, взятые после насыщения их расплавов парами воды, делились на две части. Анализ их проводился параллельно. В первом случае в качестве несущего газа использовался аргон, а во втором азот. После проведения серии плавок, по принятым методикам были выполнены анализы всех полученных проб. Для флюса АНФ-6, насыщавшегося при 1600 °С, ниже представлены данные в табл.2 для различного времени выдержки системы до достижения равновесия.

**Таблица 2**

Содержание водорода во флюсе АНФ-6 при 1600 °С и различных выдержках во времени

Время выдержки, мин.	Содержание водорода в параллельных анализах одной пробы, см <sup>3</sup> /100 г		
	15	41,8	25,3
30	46,7	33,6	35,6
45	32,0	22,4	27,7
60	37,3	27,0	32,4

Данные табл.2 свидетельствуют о малом влиянии времени насыщения на значениях раствори-

мости водорода в жидком флюсе АНФ-6. Результаты насыщения парами воды различных флюсов приведены в табл. 3.

Для выявления верхнего возможного предела насыщения расплавленных флюсов парами воды для двух из них при 1600 °С были осуществлены 15 мин. выдержки при постоянном интенсивном пропускании паров через реакционную зону, обеспечивавшим наличие в газовой фазе 100 % H<sub>2</sub>O.

В этих случаях магистраль подачи пара сочленялась с дополнительной корундовой трубкой и струя его подводилась к поверхности расплава на расстояние 8÷10 мм. Если учесть, что подача пара, судя по убыли воды в испарителе, осуществлялась с расходом до 20 литров в минуту, то станет очевидным, что скорость истечения ее из трубки Ø 6 мм (внутренним) была достаточной для обеспечения интенсивного перемешивания расплава и максимально возможного его насыщения. В указанных условиях содержание водорода во флюсе АНФ-6 не превысило 60÷80 см<sup>3</sup>/100 г, а во флюсе «Бисра» 85 см<sup>3</sup>/100 г. Проведенные (для сравнения) выдержки этих же флюсов при 1600 °С в непроточной атмосфере аргона обнаружили содержание водорода в пробе флюса АНФ-6 около 20, а в пробе флюса «Бисра» около 10 см<sup>3</sup>/100 г.

При рассмотрении полученных данных обратил на себя внимание ряд следующих обстоятельств:

- а) наличие значительных разбросов в результатах параллельных анализов одной и той же пробы;
- б) близкие значения C<sub>H</sub> (а в ряде случаев и совпадение их) для параллельных проб, анализирующихся с различным несущим газом;
- в) отсутствие заметных температурных зависимостей величин C<sub>H</sub> для каждого флюса;
- г) одинаковый порядок величин C<sub>H</sub> для всех рассматривавшихся флюсов как в условиях контакта с равновесной газовой фазой (H<sub>2</sub>O + HF), так и в условиях 100 % паров H<sub>2</sub>O.

Сопоставление этих положений позволило сразу же снять с обсуждения ряд предложений, возникших при ознакомлении с данными табл. 3. По-видимому, разбросы значений C<sub>H</sub> для навесок одной и той же пробы не определяются выбранным методом насыщения.

Здесь следует отметить, что серия дополнительных сопоставлений и измерений, ставших своей целью уточнение методики взятия проб и проведения анализов, показала наличие разбросов не только в пробах, отобранных нами после насыщения, но и в пробах исходных промышленных флюсов, использовавшихся в данной работе. Для рассмотрения этих результатов потре-

бовалось уточнить составы равновесной газовой фазы, с которой контактируют флюсовые расплавы при различных температурах, и оценить влияние температуры на растворимость водорода в этих расплавах.

Таблица 3

Содержание водорода (C<sub>H</sub>, см<sup>3</sup>/100 г) в пробах флюсов насыщенных парами воды при различных температурах (параллельные анализы навесок одной и той же пробы)

Флюс	t, °С	Несущий газ азот	Несущий газ аргон
АНФ-1	1550	59,3; 63,3	24,5; 34,3
	1600	23,4; 19,9	11,1; 17,1
	1650	30,7; 25,0; 26,0	18,0
	1700	31,1; 28,7; 38,7	–
АНФ-6	1600	37,3; 27,0; 27,0	20,5; 19,4
	1650	24,0; 19,6; 22,5	14,8; 12,5; 14,2
	1700	69,3; 57,7; 59,9	27,1; 31,5; 26,2
АНФ-29	1450	45,5; 36,0; 49,7	73,1; 87,3; 56,2
	1500	34,8; 37,2; 40,4	38,2; 43,3; 30,0
	1550	19,7; 18,3	12,5; 13,3
	1600	56,6; 60,3	–
АН-291	1400	–	18,9; 31,0; 15,2
	1450	–	–
«Бисра» – БР-2	1450	27,6; 21,5	–
	1500	24,6; 19,4; 18,1	–
	1550	22,4; 18,0	–
	1600	25,4; 23,5	–

Для осмысления полученных результатов представилось целесообразным воспользоваться открывшейся возможностью провести ряд оценочных расчетов с использованием уравнения растворимости водорода во флюсах, полученного нами ранее [4]. Для системы CaF<sub>2</sub> – CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> оно имеет вид:

$$\lg x_1 = \frac{1}{2} \lg P_{H_2O} + \frac{1}{2} \lg y_2 + a_0 + \frac{a_1 y_2 + a_2 x_2 + a_3 x_3}{2x_2 + 3x_3} \quad (1)$$

где x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub> и x<sub>3</sub> соответственно, ионные доли катионов H<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> и Al<sup>3+</sup>; y<sub>1</sub> и y<sub>2</sub> – ионные доли анионов F<sup>-</sup> и O<sup>2-</sup>; a<sub>i</sub> – константы. По данным табл. 4 были найдены значения x<sub>i</sub> и y<sub>i</sub> (кроме x<sub>i</sub>) условных флюсов АНФ-1, АНФ-6, АНФ-291 и «Бисра», а из рис. 2 взяты значения P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> в равновесной газовой смеси над ними при 1600°С. Значения ионных долей H<sup>+</sup> (на основании данных табл. 3) были получены для содержаний водорода в перечисленных флюсах, принятых равными 18, 26, 22 и 20 см<sup>3</sup>/100 г соответственно. После постановки перечисленных значений полученная система четырех уравнений с четырьмя неизвестными была решена методом Гаусса: a<sub>0</sub>=+2,8841; a<sub>1</sub>=+5,7784; a<sub>2</sub>=+1,9478; a<sub>3</sub>=-12,8237.

Таблица 4

Значения активностей компонентов и химсоединения в расплавах условных флюсов при 1600°C

Флюс	X <sub>CaF<sub>2</sub></sub>	X <sub>CaO</sub>	X <sub>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub>	a <sub>CaF<sub>2</sub></sub>	a <sub>CaO</sub>	a <sub>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub>	ахс
АНФ-1	0,94	0,06	–	0,94	0,170	–	–
АНФ-29	0,35	0,32	0,33	0,98	0,025	0,010	0,733
АН-291	0,09	0,45	0,46	0,47	0,032	0,022	0,910
«Бисра»	0,26	0,36	0,38	0,85	0,020	0,015	0,780
АНФ-6	0,50	0,06	0,44	0,45	0,0005	0,150	0,006

В каждом частном случае уравнение растворимости приняло вид для:

$$\text{АНФ-1 } \lg x_1 = \frac{1}{2} \lg P_{\text{H}_2\text{O}} - 2,7581 \quad (2)$$

$$\text{АНФ-6 } \lg x_1 = \frac{1}{2} \lg P_{\text{H}_2\text{O}} - 1,9653 \quad (3)$$

$$\text{АН-291 } \lg x_1 = \frac{1}{2} \lg P_{\text{H}_2\text{O}} - 2,8264 \quad (4)$$

$$\text{«Бисра» } \lg x_1 = \frac{1}{2} \lg P_{\text{H}_2\text{O}} - 2,9174 \quad (5)$$

То, обстоятельство, что для заданного состава флюса растворимость водорода в нем (т.е. величина x<sub>1</sub>) однозначно определяется значениями P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> в равновесной газовой фазе над расплавом, которые, в свою очередь, определяются температурой, было очевидным исходя и из общей зависимости.

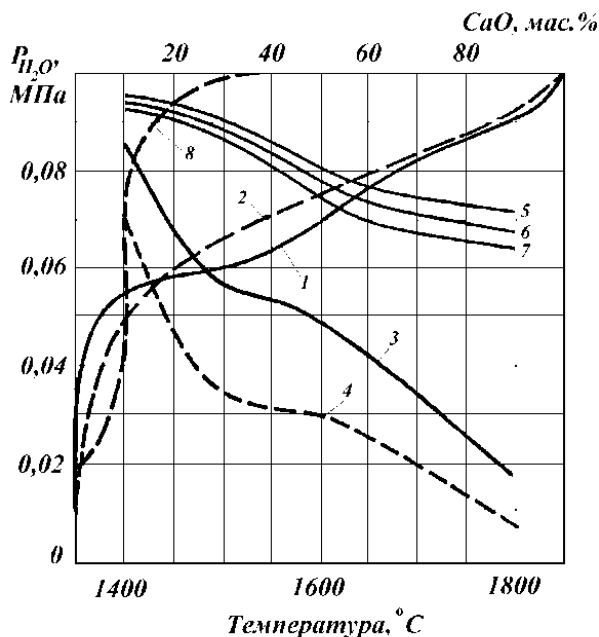


Рис. 2 – Изменение состава равновесной газовой фазы (HF + H<sub>2</sub>O) в зависимости от состава расплава системы CaF<sub>2</sub> – CaO при 1600 °C (1,2), в зависимости от температуры для флюсов АНФ-1 (3,4), АН-291 (5), АНФ-29 (6), БР-2 (7) и в зависимости от состава системы CaF<sub>2</sub> – CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> с отношениями Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: SiO<sub>2</sub> = 1:2; и результаты расчетов равновесной газовой фазы по активностям и мольным долям

Однако, лишь после получения численных значений констант этого уравнения удалось оценить пределы изменения x<sub>1</sub> при различных температурах насыщения. С этой целью уравнения (2) - (5) были решены для всего гипотетического интервала значений P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> от 0,1 до 1,0 атм. Зависимости x<sub>1</sub>=f(P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) для флюсов АН-291 и «Бисра», например, оказались столь же близкими, как и зависимости P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>=f(T) для них, представленные кривыми 5 и 7 на рис. 2.

При высоких P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> значения x<sub>1</sub> для флюса АНФ-6 на порядок величины больше, по сравнению с флюсами АН-291 и «Бисра». Однако, для области рассматриваемых температур, за счет очень низких равновесных P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> для флюса АНФ-6 значения x<sub>1</sub> во всех случаях очень близки.

Для больше наглядности сделан пересчет с зависимости x<sub>1</sub>=y(P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) на зависимость C<sub>H</sub>=f(T). Эти величины представлены в табл. 5.

Таблица 5

Исходные данные и полученные из них основания растворимости водорода во флюсах (C<sub>H</sub>) при различных температурах

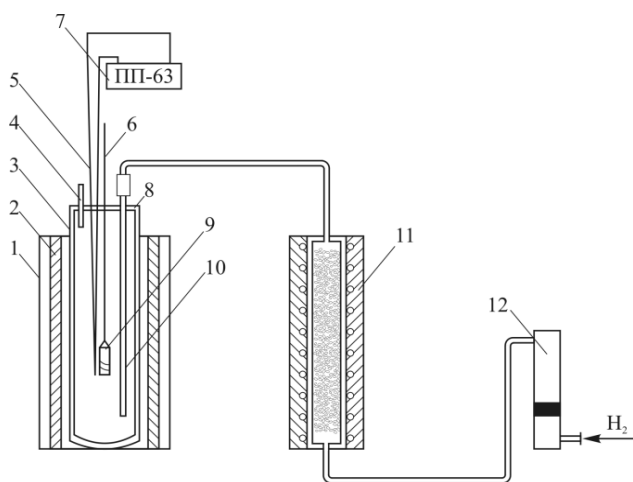
Флюс	t, °C	P <sub>H<sub>2</sub>O</sub> , атм (из рис. 2)	x <sub>1</sub> ·10 <sup>4</sup> по уравнениям (2)...(5)	C <sub>H</sub> , см <sup>3</sup> /100г
АНФ-6	1600	0,019	14,93	26,00
	1700	0,011	12,00	20,85
«Бисра»	1500	0,887	11,40	21,40
	1600	0,759	10,66	20,00
	1700	0,690	10,10	18,92

Согласно этим оценочным расчетам наиболее температурные растворимости водорода должны проявляться для флюса АНФ-6, где убыль C<sub>H</sub> при повышении температуры на 100°C составляет 20%. Для флюса «Бисра» она не превышает 5...7% и примерно такой же она должна быть для АНФ-291 и АНФ-29. Для флюса АНФ-1 можно ожидать промежуточных величин убыли C<sub>H</sub> с температурой по сравнению с указанными крайними значениями.

При рассмотрении результатов по насыщению флюсовых расплавок парами воды в условиях интенсивного химического взаимодействия между газовой и жидкой фазами за счет протекания пиролиза в различных опытах не

удалось достичь воспроизводимых равновесий. Причины: малые перегревы над температурами плавления, ограниченная устойчивость материала тигля, не полное расплавления системы, а также процесс перевода различных форм водорода в единую при анализе его содержания. Перечисленные неопределенности практически полностью устранялись при проведении насыщения расплавов в атмосфере чистого водорода. Водород, подаваемый на насыщения флюсов, предварительно очищался ферромарганцем при температуре 750...800°C.

Схема установки представлена на рис. 3. Подготовка ее к работе была аналогична таковой при насыщении флюсов парами воды.



**Рис. 3** – Установка по насыщению расплавов флюсов водородом: 1 – печь; 2 – угольный нагреватель; 3 – корундовый чехол; 4 – выход газа; 5 – термопара; 6 – вольфрамовая нить; 7 – потенциометр; 8 – крышка; 9 – тигель; 10 – трубка ввода газа; 11 – печь очистки водорода; 12 – ротаметр

Существенным отличием являлось то, что в восстановительной атмосфере стало возможным использование стеклографитовых тиглей, абсолютно стойких против воздействия расплавов при температурах вплоть до 1700°C. Использовались тигли высотой 55 мм и Ø 14 мм.

Подаваемый для насыщения флюсового расплава водород предварительно пропусклся через слой ферромарганцевой крошки при 700 °С. При оборке реакционной зоны и в начале разогрева печи в систему подавался чистый аргон для удаления следов кислорода. Затем осуществлялась промывка объема водорода при расходах 5 л/мин в течении 5...6 минут.

После этого устанавливался постоянный расход 0,5 л/мин на весь период разогрева печи и выдержки при постоянной температуре. На выходе из рабочего объема избыточный водород ожигался. Отбираемые пробы флюсов, как и в предыдущих случаях, застекловывались.

Как и в случае проб флюсов, насыщавшихся парами воды, анализ здесь проводился и с использованием в качестве несущего газа азота, и с использованием аргона. Результаты представлены в табл. 6. порядок величин  $C_H$  здесь оказался таким же, как и при насыщении парами воды – десятками  $см^3/100 г$ .

**Таблица 6**

Содержание водорода ( $C_H, см^3/100г$ ) в пробах флюсов, насыщенных водородом при различных температурах (результаты параллельных анализов навесок одной и той же пробы)

Флюс	t, °C	Несущий газ азот	Несущий газ аргон
АНФ-1	1550	38,9	13,6; 12,0; 12,5
	1600	27,5	24,2; 18,1; 17,1
	1650	16,1	20,8; 27,7
	1700	7,5	19,5; 49,3
АНФ-6	1550	27,6	50,1; 22,5
	1600	84,2	14,9; 35,3; 65,2
	1650	20,8; 28,7	43,2; 20,6
АНФ-29	1700		25,0; 21,4
	1450	56,8; 95,5	68,8
	1500	39,9	55,0
	1550	38,1; 66,4	4,2; 8,3; 5,2
	1600	18,5	12,6; 8,0

Результаты, полученные в данной серии опытов, как и в предыдущей, не позволили сделать однозначных количественно подтвержденных выводов ни по влиянию химического состава на этот процесс, ни по влиянию температуры. Это побудило нас провести дополнительное обсуждение и уточнение рекомендованной методики взятия проб и проведения анализа.

При взятии пробы из расплавов необходимо, во-первых, избежать потери растворенного водорода за счет выделения его из охлаждающегося и твердеющего флюса, во-вторых, не допустить в дальнейшем увеличения его количества за счет поглощения влаги из окружающей среды при хранении и подготовке этой пробы к анализу. Наиболее надежным способом фиксации водорода следует считать [1] стеклование пробы за счет обеспечения резкого охлаждения ее с величиной температурного градиента  $10^3 ÷ 10^6$  град/сек.

Если основываться на данных по сравнительной гидратируемости образцов промышленных гранулированных флюсов и предварительно переплавленных, а затем застеклованных образцов, то можно полагать, что застеклованная проба должна наилучшим образом противостоять и поглощению влаги. С учетом изложенного нами и была принята методика взятия проб с применением плющильного стеклования.

При этом тигель извлекался из печи, расплав выливался на плиту стеклователя и расплющи-

вался до толщины порядка 0,5 м. Вся операция взятия пробы занимала не более 1,0÷1,5 сек.

Было предпринято выявление наличия радиального градиента диффузия в застеклованной пробе по направлению от центра полученного диска к его краям. Таким образом, мы попытались выяснить, не является ли разброс результатов следствием взятия навесок от разных частей застеклованного диска. Была взята проба флюса АНФ-29, насыщенного при 1600°C в атмосфере 100% паров воды. В двух навесках, взятых с краев диска, водорода оказалось 81,6, 71,1 и 17,3 см<sup>3</sup>/100 г. Еще три пробы, взятые на периферии диска, были измельчены до крупинок и усреднены. Анализ показал в них 62,6, 45,7 и 32,0 см<sup>3</sup>/100 г. Поскольку разброс значений от средней величины для второй серии проб оказался достигающим почти 70%, предложение о влиянии радиального градиента диффузии на разброс результатов анализа пришлось считать не подтвердившимся.

Затем были проведены анализы проб взятых в одном и том же опыте, но одни из них застекловывались, а другие кристаллизировались в процессе самопроизвольного охлаждения на воздухе. Варьировались температуры дегазации при проведении анализа. Сопоставлялись анализы навесок одной и той же пробы, либо проведенные тотчас после проведения плавки, либо через различные промежутки времени. Во всех этих сериях имели место анализы, полностью выпадающие из ряда величин, которые можно было бы считать приемлемыми к усреднению.

В итоге возникло заключение о том, что выплавляемые в промышленных условиях флюсы ЭШВ обладают значительной неоднородностью. Не устранялась, по-видимому, эта неоднородность и при переплавлении малых по объему образцов в процессе их насыщения газами при температурах до 1700°C.

Последнее обстоятельство может быть связано либо с наличием расслаивания в подобных

оксидно-фторидных жидких системах, либо с каким-то фазовыми превращениями при их охлаждении, делающими затвердевший флюс, даже в условиях его мгновенного стеклования, чрезвычайно неоднородным.

Проведена серия опытов по насыщению ряда расплавленных флюсов парами воды в условиях контакта с равновесной газовой фазой (H<sub>2</sub>O + HF). Содержание водорода в пробах флюсов АНФ-1, АНФ-6, АНФ-29, АНФ-291 и «Бисра» найдено равным нескольким десяткам см<sup>3</sup>/100г флюса. С большей или меньшей четкостью проявляется тенденция к снижению растворимости водорода при повышении температуры на первые 50...100°C от минимально возможной для жидкого состояния.

Осуществлена теоретическая оценка температурной зависимости растворимости водорода в расплавленных флюсах, находящихся в контакте с равновесной газовой фазой (H<sub>2</sub>O + HF). Использовано расчетное уравнение для нахождения ионной доли H<sup>+</sup> (x<sub>1</sub>), полученное нами ранее для фторидно-оксидных систем лишь в общем виде, основываясь на ионной теории растворов с произвольным числом катионов и анионов. После подстановки полученных в работе значений x<sub>1</sub> и отыскания констант уравнения было установлено, что при повышении температуры на 100°C наибольшая убыль значений C<sub>H</sub> должна иметь место для флюса АНФ-6, где она достигает 20%; наименьшие изменения C<sub>H</sub> (5÷7%) должны иметь место для флюса «Бисра» и предполагаются таковыми же для флюсов АН-291 и АНФ-29. Проведена серия опытов по насыщению ряда расплавленных флюсов в восстановительной атмосфере чистого водорода. Установлено, что значения C<sub>H</sub> имеют здесь также порядок нескольких десятков см<sup>3</sup>/100 г флюса и в известной степени коррелируются с данными, полученными при насыщении этих же расплавов парами воды.

### Литература

1. Водород в процессах электрошлакового переплава сталей / Новохатский И.А., Кожухарь В.Я., Романов О.Н., Брем В.В. – Одесса: Астропринт, 1997. – 212 с.
2. Кожухарь В.Я., Новохатский И.А., Брем В.В. Методика изучения равновесной газовой фазы (H<sub>2</sub>O+HF) над фторидно-оксидными расплавами // Труды Одеск. политехн. ун-та: – Одесса, 1997. – Вып.1. – С. 223-225.
3. Брем В.В., Кожухарь В.Я., Спутатов Ю.М. Фізико-хімічні властивості наплавлених флюсів. – Одеса: Екологія, 2005. – 108 с.
4. Брем В.В., Кожухарь В.Я. Розчинність водню у фторидно-оксидних розплавах. – Одеса: Екологія, 2005. – 10 с

### Brem V.V. Saturation of melted flux with water vapor and hydrogen

**Abstract:** For the selection of the optimum flux compositions that are used for remelting of steel, a series of tests on the saturation of water vapor and hydrogen of industrial liquid fluxes that are in chemical equilibrium with the gas mixture (H<sub>2</sub>O+HF) were made. As a result, it was concluded that the fusible in an industrial environment electroslag fluxes have considerable inhomogeneity. Evidently, this inhomogeneity was not persisted while remelting samples of small volume

during their saturation with gases at temperatures up to 1700°C on the developed pilot plants. The latter fact may be due either to the presence of delamination in such oxide-fluoride liquid systems, or with some kind of phase transformations during their cooling doing solidified flux, even in the conditions of its instant glass is extremely heterogeneous. A series of experiments were made to saturate a number of melted flux with water vapor in the condition of contact with the equilibrium gas phase (H<sub>2</sub>O+HF). The hydrogen content in the samples of fluxes ANF-1, ANF-6, ANF-29, ANF-291 and "Bisra" was found to be several tens cm<sup>3</sup>/100g of flux. With greater or lesser clarity the solubility of hydrogen tends to decrease with the increasing of the temperature for the first 50...100°C from the minimum possible for the liquid state. The theoretical estimate of the temperature dependence of the solubility of hydrogen in the molten flux, that are in contact with the equilibrium gas phase (H<sub>2</sub>O+HF), was implemented. The estimated equation for the proportion of H<sup>+</sup> ion (x<sub>1</sub>) obtained earlier for the fluoride-oxide systems only in a general way was used, basing on the ionic theory of solutions with an arbitrary number of cations and anions. After substituting of the obtained values of the x<sub>1</sub> and finding the constants of the equation has been found with the temperature increasing on 100°C maximum decrease of values of C<sub>H</sub> should occur for flux ANF-6, where it reaches 20%, the least changes C<sub>H</sub> (5÷7%) should occur for the flux "Bisra" and are assumed such for the flux AN-291 and ANF-29. A series of experiments on the saturation of the number of melted flux in a reducing atmosphere of pure hydrogen were made. It is established that values of C<sub>H</sub> have also the order of several tens of flux cm<sup>3</sup>/100 g of flux and in a known degree correlates with the points, obtained in the process of saturation of the same melt with water vapor.

**Keywords:** saturation, water, hydrogen, flux, melt, gas phase.

*Дмитренко И.В.*<sup>1</sup>

### **Проницаемость водорода во фторидно-оксидных расплавах**

<sup>1</sup> *Дмитренко Инна Викторовна, ассистент, Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина*

**Аннотация:** Анализ всей совокупности имеющихся в рассмотренной области сведений позволяет сделать вывод, что проницаемость водорода в флюсовых расплавах, которые используются для переплава, оказывается сравнительно высокой. Вследствие чего открытый процесс переплава не обеспечивает необходимой защиты переплавляемого металла от водорода. Нами проведено сначала систематическое исследование проницаемости водорода ряда более всего широко применяемых в промышленности стандартных флюсов ЭШП, а затем с учетом полученных результатов начата попытка поиска новых флюсовых композиций, которые обеспечивают эффективную защиту от водорода переплавляемых сталей. Разработка новых составов флюсов проводилась на основе широко применяемых в металлургии компонентов: CaF<sub>2</sub>, CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub>. Для снижения же их проницаемости водородом и уменьшение флокочувствительности переплавляемых конструкционных сталей исследовалась эффективность введения в них оптимальных добавок фторидов, хлоридов и оксидов некоторых гидридообразующих элементов (Ca, Li и Ce). Методика проведения исследовательских плавок оставалась стандартной. При переплаве стали марки 08X18H10T найдено, что для данной марки стали величина Q<sub>H</sub> в зависимости от основности флюсов меняется по экстремальному закону с максимумом Q<sub>H</sub> при основности в пределах 1,5...1,7. Относительно ЭШП стали 08X18H10T исследованы водородозащитные свойства некоторых исследовательских флюсов, избранных главным образом на основе систем CaO – SiO<sub>2</sub> и CaF<sub>2</sub> – CaO – SiO<sub>2</sub>. Показано, что для обеспечения удовлетворительных водородозащитных свойств фторидно-оксидных флюсов снижения в них содержимого CaF<sub>2</sub> ниже 25 % нецелесообразно. Найдено два оригинальных флюсовых состава, которые обеспечивают снижение значения Q<sub>H</sub> по сравнению с лучшими стандартными флюсами. Для конструкционных сталей 40XH, 15X3HMФ определены величины Q<sub>H</sub> в условиях переплава их с применением как стандартных, так и исследовательских флюсов, составленных на основе системы CaF<sub>2</sub> – CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> с добавлением к ним в разных комбинациях фторидных, хлоридных и оксидных соединений сравнительно с распространенными сильными гидридообразующими элементами (Li, Ce и Y). Установлено, что для избранных сталей водородозащитные свойства стандартных флюсов неудовлетворительные (величины Q<sub>H</sub> находятся в пределах 1,95...3,46). Найдено, что оптимальные соединения основных компонентов флюса и добавок соединений гидридообразующих элементов, которые вводят в них, позволяют снизить величины Q<sub>H</sub> к значениям существенным образом меньших 1,5. Из полученных материалов некоторые исследовательские составы флюсов рекомендованы для практического использования в процессах электрошлакового переплава исследованных конструкционных сталей.

**Ключевые слова:** водород, флюс, расплав, переплав, состав, сталь

**Введение.** Анализ всей совокупности имеющихся в рассмотренной области сведений позволяет сделать вывод, что проницаемость водорода в флюсовых расплавах, которые используются для

переплава, оказывается сравнительно высокой. Вследствие чего открытый процесс переплава не обеспечивает необходимой защиты переплавляемого металла от водорода. Нами проведено

сначала систематическое исследование проницаемости водорода ряда более всего широко применяемых в промышленности стандартных флюсов ЭШП [1], а затем с учетом полученных результатов начата попытка поиска новых флюсовых композиций, которые обеспечивают эффективную защиту от водорода переплавляемых сталей.

**Методы оценки эксперимента.** Наводороженность переплавленного металла оценивалась по результатам исследовательских плавов ЭШП несколькими количественными характеристиками. Первая с них – наводороженность переплавляемого металла  $\Delta[H]$  – представляет собой разность между исходным содержанием водорода в расходуемом электроде  $[H]_{исх}$  и значением концентрации его в готовом слитке  $[H]_{кон}$ :

$$\Delta[H] = [H]_{кон} - [H]_{исх} \quad (1)$$

С привлечением закономерностей [1], возможно показать, что величина  $([H])$  при этом окажется пропорциональной водородной проницаемости шлакового расплава. Параметр  $\Delta[H]$ , определяемый с помощью уравнения (1) для разных флюсов позволяет при идентичных технологических параметрах плавов непосредственно судить о влиянии флюса на наводороженность переплавленного металла.

Однако, исследовательские значения  $([H])$  могут иметь разные знаки, которые затрудняет их количественное сопоставление. Для получения безразмерных величин, которые характеризуют относительную наводороженность металла (при заданных условиях проведения плавов), целесообразно использовать и другое соотношение

$$Q_H = ([H]_{исх} + \Delta[H]) / [H]_{исх} \quad (2)$$

где  $Q_H$  – показатель наводороженности переплавленного металла.

Рассчитанные за формулой (2) значение  $Q_H$  всегда окажутся положительными. В том случае, когда содержание водорода в металле в процессе переплава возрастает, величина  $Q_H > 1$ , в противном случае  $Q_H < 1$ . Для тех редких случаев, когда в процессе ЭШП не происходит изменение величины  $[H]$  металла,  $Q_H = 1$ .

Для сопоставления результатов исследовательских плавов, которые проводились в разные поры года и при разной влажности цеховой атмосферы, их можно представить в виде приведенного показателя наводороженности металла  $Q^{\circ}_H$ . Он определяется с учетом уравнения (3) из соотношения

$$Q^{\circ}_H = Q_H \cdot (P^{\circ}_{H_2O}/P_{H_2O})^{0.5} \quad (3)$$

в котором  $Q_H$  – показатель наводороженности переплавленного металла;  $P_{H_2O}$  – парциальное

давление паров воды в процессе плавки;  $P^{\circ}_{H_2O}$  – парциальное давление паров воды при принятых стандартных условиях: 50 % влажность при 25°C (1,58 · 103 Па).

**Проведение эксперимента и результаты обсуждения.** Для избранных условий экспериментирования определенные значения  $\Delta[H]$ ,  $Q_H$  и  $Q^{\circ}_H$  за уравнениями (1) – (3) как для стандартных флюсов, так и для исследовательских. Влажность цеховой атмосферы при проведении этих плавов определялась по помощи лабораторного психрометра. Разные значения фактических  $P_{H_2O}$  были обусловлены суточными и сезонными колебаниями влажности атмосферного воздуха [2].

Разработка новых составов флюсов проводилась на основе широко применяемых в металлургии компонентов:  $CaF_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ . Для снижения же их проницаемости водородом и уменьшение флокеночувствительности переплавляемых конструкционных сталей исследовалась эффективность введения в них оптимальных добавок фторидов, хлоридов и оксидов некоторых гидридообразующих элементов ( $Ca$ ,  $Li$  и  $Ce$ ). Методика проведения исследовательских плавов оставалась стандартной.

Всего было проведено 30 параллельных плавов. Основное внимание было уделено исследованию наводороженности под флюсовыми расплавами двух систем:  $CaF_2 - CaO - SiO_2$  и  $CaO - SiO_2$  с добавками к ним  $LiF$ ,  $CaCl_2$ ,  $Li_2O$ . Полученные результаты для переплава стали 08X18H10T с применением флюсов системы  $CaF_2 - CaO - SiO_2$  представленные в табл. 1.

Таблица 1					
Результаты плавов при переплаве стали 08X18H10T под флюсами системы $CaF_2 - CaO - SiO_2$					
Химический состав флюса, масс %					Среднее значение $Q^{\circ}_H$
$CaF_2$	$CaO$	$SiO_2$	$CaCl_2$	$LiF$	
33,0	33,0	33,0	–	–	1,05
40,0	20,0	15,0	–	15,0	1,40
15,0	35,0	25,0	15,0	15,0	1,24
35,0	25,0	25,0	–	15,0	1,18
40,0	25,0	25,0	–	10,0	1,13
45,0	25,0	25,0	–	5,0	1,14
40,0	10,0	25,0	15,0	10,0	0,93

Добавками к этим флюсам на основе этой системы примененные  $CaCl_2$  (15 мас. %) и  $LiF$  (от 5 до 15 мас. %). Эталонным флюсом в рассмотренной группе опытов выбрано флюс с равным содержанием (по 33,3 мас. %) всех трех компонентов системы. Для него величина  $Q^{\circ}_H = 1,05$ .



Наилучшим флюсом из исследованного набора оказался флюс состава  $40CaF_2 - 10CaO - 25SiO_2 - 15CaCl_2 - 10LiF$ , который обеспечивает в плавках существенную дегазацию металла  $Q^{\circ}_H = 0,93$ .

Для оценки влияния состава флюса на проницаемость водорода в системе флюс-металл избрано его характеристику – основность. Это важная металлургическая характеристика, которая имеет большое влияние на процессы гидратации флюса и на окислительно-восстановительные процессы на гетерогенной границе раздела фаз металлы-шлаки. В связи с этим решалась задача сравнительного анализа выражений основности от  $B$  до  $B_9$  [3] и оценки влияния разных компонентов флюса и их соотношений на проницаемость водорода (содержание в мас. %):  
 $B = [(CaO)+(MgO)]/[(SiO_2)+0,5(Al_2O_3)];$   
 $B_1 = [(CaO)+(MgO)+(BaO)+(Na_2O)+(K_2O)+(CaF_2)+0,5(MnO)+(FeO)]/[(SiO_2)+0,5(Al_2O_3)+(TiO_2)+(ZrO_2)];$   
 $B_2 = [(CaO)+(MgO)+(MnO)+(K_2O)+(Na_2O)]/[(SiO_2)+(TiO_2)+(ZrO_2)+(Al_2O_3)];$   
 $B_3 = [0,108(CaO)+0,068(MnO)+0,07(MgO)]/[(0,105(SiO_2)+0,000196(Al_2O_3)];$   
 $B_4 = [(0,0179(CaO)+0,025(MgO)+0,0141(MnO)]/[1,0+(0,0141(MnO)/0,0167 \cdot (SiO_2)];$   
 $B_5 = [(CaO)+(MgO)+(CaF_2)]/[(SiO_2)+0,5(Al_2O_3)];$   
 $B_6 = [(CaO)+(MgO)+(MnO)+(FeO)+(Na_2O)+(K_2O)]/[(SiO_2)+0,79(TiO_2)];$   
 $B_7 = [(CaO)+0,5(MgO)+0,37(MnO)+0,26(FeO)]/0,0167(SiO_2);$   
 $B_8 = [0,018(CaO)+0,015(MgO)+0,06(CaF_2)]/[0,017(SiO_2)+0,005(Al_2O_3)];$   
 $B_9 = [0,018(CaO)+0,015(MgO)+0,006(CaF_2)+0,014(Na_2O)+(K_2O)+0,007 \cdot (MnO)+(FeO)]/[0,017(SiO_2)+0,005(Al_2O_3)+(TiO_2)+(ZrO_2)].$

Из полученных результатов видно, что величина  $Q^{\circ}_H$  выявляет выраженную экстремальную (с минимумом) зависимость от  $B$  и оказывается практически нечувствительной к основностям, рассчитанных за формулами от  $B_1$  к  $B_9$ . В связи с указанным обстоятельством установленный, что наиболее информативным есть связь  $Q^{\circ}_H$  с основностью флюсов  $B$ . Таким образом, основность флюса рядом с концентрационными условиями позволяет регулировать реакции взаимодействия между флюсом и металлом на межфазной границе в зоне плавления расходуемого электрода. При этом уровень наводороженности металла определяется скоростью развития окислительно-восстановительных реакций на межфазных границах флюс-металлическая ванная [4]. Растворенные в флюсах водородосодержащие газы  $H_2O$  и  $HF$  выступают как окислители относительно легко окисляемых элементов сталей.

На основе рассмотренных данных рекомендованные для практического использования флюсы системы  $CaF_2 - CaO - SiO_2 - CaCl_2 - LiF$  с содержанием  $CaCl_2$  в 15 мас. %,  $LiF$  в 10 мас. % и с основностью в пределах 0,3...0,4. Предложенные для промышленного освоения флюсы имеют

благоприятный комплекс основных технологических и специфических для процессов переплава свойств.

Экспериментальные данные за особенностями обращения водорода стали 08X18H10T, которая переплавляется под флюсами, избранные основе системы  $CaO - SiO_2$  с добавками к нее соединений:  $CaCl_2$ ,  $LiF$  и  $Li_2O$  приведенные в табл. 2.

Полученные результаты показали, что проницаемость водорода определяется их основностью. Максимальных значений величина  $Q^{\circ}_H$  достигает в интервале  $B$  от 0,6 до 0,8. Минимальное значение проницаемости водорода  $Q^{\circ}_H = 1,01$  в рассмотренной серии плавков имеет флюс  $50SiO_2 - 10Li_2O - 40CaCl_2$ . Однако его способность уменьшать содержание серы в металле оказалась чрезвычайно низким, что и определяет его технологическую не перспективность. Введение в флюсы соединений гидридообразующих элементов (рядом с оптимальными соотношениями у последних основных компонентов) дало возможность стабильно обеспечивать наводороженность переплавляемого металла на уровне, значительно меньшему сравнительно с применением для переплава стандартных флюсов. С другой стороны, с учетом, выявленного нами механизма наводороженности металла в результате окислительно-восстановительных реакций можно показать [4], что для процессов электрошлакового переплава (ЭШП) в принципе, невозможно разработать такой флюс, который владел бы сниженной проницаемостью водорода при переплаве всех типов марок сталей.

Таблица 2						
Результаты плавков при переплаве стали 08X18H10T под флюсами системы $CaF_2 - CaO$						
Химический состав флюса, масс %						Среднее значение $Q^{\circ}_H$
CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Li <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	LiF	
31	–	45	–	15	10	1,60
20	–	25	–	40	15	1,53
45	–	35	5	10	5	1,25
40	–	30	10	20	–	1,16
55	–	30	15	–	–	1,53
50	–	35	–	10	5	1,06
15	–	50	15	20	–	1,51
10	5	55	15	15	–	1,37
15	–	50	–	20	15	1,36
–	–	48	16	36	–	1,19
10	5	50	20	15	–	1,06
–	–	50	10	40	–	1,01

Специфика указанного механизма такая, что величина  $Q^{\circ}_H$ , которую формально мы рассмат-

риваем как проницаемость водорода избранного флюса для заданных условий плавки, окажется зависимой одновременно как от состава флюса, так и от состава переплавляемого металла. В связи с этим экспериментальный поиск новых составов флюсов, которые владеют сниженной проницаемостью водорода, необходимо четко ориентировать на конкретную марку переплавляемой стали. В проведенных плавках использовали стандартные флюсы промышленного производства, флюсы исследовательских составов наплавлялись в тигле-ковше из шихтовых компонентов.

Для введения в состав флюсов оксида лития применяли  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ . Все плавки проведены в варианте открытого ЭШП с жидким стартом.

Результаты исследований с использованием флюсов на основе системы  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  с добавками  $\text{LiF}$  приведено в табл. 3.

Результаты плавки при переплаве стали 08X18H10T под флюсами системы $\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$				
Химический состав флюса, масс %				Среднее значение $Q^\circ_{\text{H}}$
$\text{CaF}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{LiF}$	
45,0	25,0	25,0	5,0	1,35
40,0	25,0	25,0	10,0	1,27
40,0	20,0	25,0	15,0	1,45

По показателю  $Q^\circ_{\text{H}}$  видим, что оптимальная концентрация фторида лития в этих флюсах равняется 10,0 мас.%. В общем же все флюсы указанной группы опытов имеют сравнительно большую величину  $Q^\circ_{\text{H}}$  (больше 1,27), а потому практического интереса (с точки зрения проблемы водорода в ЭШП) они не представляют.

Результатами измерения величины  $Q^\circ_{\text{H}}$  для трех флюсов, которые не вошли в ни одну из рассмотренных выше систем, установлено, что два из них обеспечивают существенную дегазацию переплавленного металла ( $Q^\circ_{\text{H}} = 0,94$ ). Характерной особенностью флюсов этих вариантов есть то, что в их составе отсутствуют полностью оксидные соединения. Первый с них составленный лишь из двух фторидов: по 50 мас. %  $\text{CaF}_2$  и  $\text{CeF}_3$ , второй – из фторидов кальция, церия и лития с добавкой 20,0 мас. %  $\text{CaCl}_2$ .

Общим компонентом во всех исследованных флюсах было избрано фторид кальция. Обобщая зависимость параметра  $Q^\circ_{\text{H}}$  для всех исследованных флюсов (как стандартных, так и исследовательских – относительно переплава стали 08X18H10T) от содержания в них  $\text{CaF}_2$  выявлена следующая закономерность: введение  $\text{CaF}_2$  в флюсы всех систем с содержанием его до 25,0 мас. % сопровождается значительным снижением

проницаемости водорода в флюсах (по параметру  $Q^\circ_{\text{H}}$  приблизительно с 1,4 до 1,15). Дальнейшее повышение концентрации фторида кальция в флюсах на параметр  $Q^\circ_{\text{H}}$  практически не влияет. Таким образом можно сделать важный практический вывод с точки зрения обеспечения благоприятных водородозащитных свойств фторидно-оксидных флюсов ЭШП: введение в них фторида кальция менее 25,9 мас. % нецелесообразно.

С учетом рассмотренного обстоятельства изучена проницаемость водорода целого ряда шлаковых композиций на основе обобщенной системы  $\text{CaF}_2 - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2 - \text{LiCl} - \text{CeF}_3 - \text{Li}_2\text{O} - \text{Y}_2\text{O}_3$  относительно марок конструкционных флюкочувствительных сталей, которые представляют большой практический интерес: а именно к маркам 40XH и 15X3HMФ. Стандартом для сравнения в этой серии поисковых плавки мы пользовались параметром  $Q^\circ_{\text{H}}$ , полученного для переплава избранных марок сталей под теми стандартными флюсами, которые применяются в настоящее время для них ЭШП в промышленности. Во всех сериях плавки (как со стандартными, так и исследовательскими флюсами) условия переплава для данной марки стали оставались идентичными. Результаты эксперимента для 25 параллельных плавки представлены в табл. 4. Анализ результатов исследования наводороженности металла при применении ряда исследовательских флюсов (большой частью впервые примененных для переплава) свидетельствуют о том, что большинство испробованных исследовательских флюсов, которые содержат в своем составе разные соединения гидридообразующих элементов, обеспечивают существенным образом более низкую дополнительную наводороженность конструкционных сталей после переплава, в сравнении с таким переплавом на стандартных флюсах. При этом наилучшие результаты получены для сталей марки 40XH, переплав которой на всех исследованных составах флюсов сопровождается значительным снижением водорода в металле по сравнению с контрольными плавками (на стандартных флюсах). Так, например, исследовательский флюс  $40\text{CaF}_2 - 10\text{CaO} - 25\text{SiO}_2 - 15\text{CaCl}_2 - 10\text{LiCl}$  обеспечивает для постоянные 40XH  $Q^\circ_{\text{H}} = 1,73$ , в то время как для стандартных флюсов величины этого параметра находятся в пределах 2,72...3,44.

Вместе с тем следует отметить, что для переплава марки 15X3HMФ некоторые исследовательские флюсы оказались с величинами  $Q^\circ_{\text{H}}$ , которые находятся приблизительно в тех же границах (2,07...3,23), что и такие для стандартных флюсов (2,07...3,46). Это обстоятельство указы-

вает на то, что природа и тип соединений гидридообразующих элементов, их разные комбинации и количественные соотношения имеют потребность в специальной оптимизации для каждой конкретной шлаковой композиции, составленной на основе ее основных компонентов ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$ ), в соединении с

конкретной маркой стали. Поэтому дальнейшая (более детальная) оптимизация составов исследованных нами флюсовых систем позволит разработать новые флюсы ЭШП из более высокими, чем в разработанных к настоящему времени, водородозащитными свойствами.

Таблица 4										
Результаты плавки при переплаве стали 08X18H10T под флюсами исследовательских систем										
Марки сталей	Химический состав флюса, мас. %									Среднее значение $Q_{\text{H}}^{\circ}$
	$\text{CaF}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaCl}_2$	$\text{LiCl}$	$\text{CeF}_3$	$\text{Y}_2\text{O}_3$	
40XH	40,0	10,0	–	–	25,0	15,0	10,0	–	–	1,73
	40,0	10,0	–	10,0	15,0	10,0	–	15,0	–	2,08
	50,0	–	–	–	–	–	–	50,0	–	2,16
	–	48,0	–	–	36,0	16,0	–	–	–	1,74
	35,0	25,0	5,0	20,0	5,0	5,0	5,0	–	–	1,96
15X3HMФА	30,0	5,0	–	15,0	–	–	–	50,0	–	1,45
	50,0	10,0	–	10,0	20,0	10,0	–	–	–	1,48
	5,0	40,0	–	35,0	–	–	10,0	–	–	1,54
	5,0	40,0	–	5,0	30,0	–	–	10,0	10,0	2,05
	15,0	40,0	–	40,0	5,0	–	–	–	–	2,07
	55,0	–	–	25,0	–	–	–	–	20,0	2,22
	50,0	–	–	–	–	–	–	50,0	–	2,36
	15,0	40,0	–	10,0	35,0	–	–	–	–	2,63
	35,0	25,0	5,0	20,0	5,0	5,0	5,0	–	–	2,85
10,0	35,0	–	5,0	30,0	–	–	20,0	–	3,23	

**Вывод.** При переплаве стали марки 08X18H10T найдено, что для данной марки стали величина  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  в зависимости от основности флюсов меняется по экстремальному закону с максимумом  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  при основности в пределах 1,5...1,7. Относительно ЭШП стали 08X18H10T исследованы водородозащитные свойства некоторых исследовательских флюсов, избранных главным образом на основе систем  $\text{CaO} - \text{SiO}_2$  и  $\text{CaF}_2 - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ . Показано, что для обеспечения удовлетворительных водородозащитных свойств фторидно-оксидных флюсов снижения в них содержания  $\text{CaF}_2$  ниже 25 % нецелесообразно. Найдено два оригинальных флюсовых состава, которые обеспечивают снижение значения  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  по сравнению с лучшими стандартными флюсами. Для конструкционных сталей 40XH, 15X3HMФ определены величины  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  в условиях переплава их с применением как стандарт-

ных, так и исследовательских флюсов, составленных на основе системы  $\text{CaF}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  с добавлением к ним в разных комбинациях фторидных, хлоридных и оксидных соединений сравнительно с распространенными сильными гидридообразующими элементами (Li, Ce и Y).

Установлено, что для избранных сталей водородозащитные свойства стандартных флюсов неудовлетворительные (величины  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  находятся в пределах 1,95...3,46) Найдено, что оптимальные соединения основных компонентов флюса и добавок соединений гидридообразующих элементов, которые вводят в них, позволяют снизить величины  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  к значениям существенно меньшим 1,5. Из полученных материалов некоторые исследовательские составы флюсов рекомендованы для практического использования в процессах электрошлакового переплава исследованных конструкционных сталей.

### Литература

1. Водород в процессах электрошлакового переплава сталей: монография/[И.А. Новохатский, В.Я. Кожухарь, О.Н. Романов, В.В. Брем.] – Одесса: Астропринт, 1997. – 212 с.
2. Брем В.В. Фізико-хімічні властивості наплавлених флюсів: монографія/В.В. Брем, В.Я. Кожухарь, Ю.М. Єпутатов. – Одеса: Екологія, 2005. – 108 с.
3. Потапов Н.Н. Основы выбора флюсов при сварке сталей: монография/Н.Н. Потапов. – М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.
4. Брем В.В. Розчинність водню у фторидно-оксидних розплавах: монографія/ В.В. Брем, В.Я. Кожухарь. – Одеса: Екологія, 2008. – 124 с.

**Dmitrenko I. V.**

**The permeability of hydrogen in the fluoride-oxide melts**

**Abstract:** The analysis of all set of information in the considered area suggests that the permeability of hydrogen in the flux melts, which are used for remelting, is relatively high. The result is that an open process of melting does not provide the necessary protection of remelted metal from hydrogen. We carried out firstly a systematic investigation of hydrogen permeability of the most widely used in industry standard electroslag remelting fluxes, and then considering the results, was initiated the attempt to find new flux compositions which provide effective protection against hydrogen in remelted steels. The development of new flux compositions was based on the widely used in metallurgy components:  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$ . In order to reduce the permeability of hydrogen and sensitivity to flocs of remelted structural steels was investigated the efficiency of introduction to them optimal additives of fluorides, chlorides and oxides of some hydride-forming elements (Ca, Li, and Ce). The methodology of the research heats remained the standard. When remelting steel 08X18H10T, it was found that for a given grade of steel quantity  $Q_{\text{H}}^{\circ}$ , depending on the basicity of flux, changes according to the extreme law with a maximum  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  at the basicity within 1,5...1,7. Regarding the electroslag remelting of steel 08X18H10T were researched hydrogen-protective properties of some research fluxes selected primarily on the basis of systems  $\text{CaO} - \text{SiO}_2$  and  $\text{CaF}_2 - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ . It is shown that to ensure satisfactory hydrogen-protective properties of fluoride-oxide fluxes reducing in them  $\text{CaF}_2$  content below 25% is inappropriate. Were found two original flux compositions that reduce the value  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  compared to the best standard fluxes. For the structural steels 40XH, 15X3HMΦ quantity  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  are identified in the conditions of their remelting, using both standard and research fluxes, drawn up on the basis of system  $\text{CaF}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  with the addition to them of a variety of combinations of fluoride, chloride and oxide compounds compared to the widespread strong hydride-forming elements (Li, Ce and Y). Found that for selected steels hydrogen-protective properties of standard fluxes are unsatisfactory (values  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  are within 1,95 ... 3,46). Found that optimal compounds of major flux components and a hydride-forming elements additive compounds which are introduced into them, can reduce  $Q_{\text{H}}^{\circ}$  values to values significantly below 1,5. From the received materials, some research fluxes are recommended for practical use in electroslag remelting processes of studied structural steels.

**Keywords:** hydrogen, flux, melt, remelting, composition, steel.

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCE

Mitsa V.<sup>1</sup>, Borkach E.<sup>2</sup>, Lovas G.<sup>1</sup>, Holomb R.<sup>1</sup>, Rosola I.<sup>1</sup>, Rudyko G.<sup>3</sup>, Gule E.<sup>3</sup>, Fekeshgazi I.<sup>3</sup>  
The visible photoluminescence from aged and freshly fractured surfaces of chalcogenide glasses

<sup>1</sup>*Uzhhorod National University, Institute for Solid State Physics and Chemistry, Uzhhorod, Ukraine  
E-mail: v.mitsa@gmail.com*

<sup>2</sup>*II. Rákóczi Ferenc Transcarpathian Hungarian Institute, Beregovo, Ukraine*

<sup>3</sup>*Lashkarjov Institute Physics of Semiconductors, National Academy of Science, Kiev, Ukraine*

**Abstract:** The position of PL maximum at  $E_1=2.43$  in PL spectrum of freshly fractured g-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> is in good agreement with early found “hot luminescence” g-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> and illumination of elemental sulfur species on the surface of the ZnS nanobelts in this region. PL radiation from long term aged fractured surfaces of GeS<sub>2</sub>-based chalcogenide glasses was assigned to the surface contaminant effect from native oxidized layer, which might have formed in the air. When have been used for PL measuring the freshly fractured surface of g-GeS<sub>2</sub>(T<sub>3</sub>V<sub>2</sub>) all PL peaks which was connected with GeO<sub>x</sub> species where disappeared in PL spectrum.

**Keywords:** visible photoluminescence, chalcogenide glass, oxide phase, edge absorption, glassy GeS<sub>2</sub>

### Introduction

Wide band chalcogenide glassy semiconductors (ChGS) have been studied as host materials for different types of ions due to potential applications as optical amplifiers for the telecommunications window and nonlinear optical media for high-speed all-optical signal processing [1-4]. Nowadays optical and electronic properties of nanostructured ChGS have attracted much attention because they exhibit useful phenomena and have potentials for becoming novel media for future photonic devices [5]. Earlier we have measured low temperature photoluminescence (PL) in nanostructured wide band ChGS by using a projector lamp as excitation light source [6]. The position of peak energies near 1.1-1.3 eV in measured PL spectra in this case were corresponding to so called “half-gap” rule [7-9]. During last decades for exiting PL and Raman spectra of ChGS a different laser lines were intensively used [2-4, 10-18] and some deviation from above mentioned rule in PL spectra of some ChGS was found [11, 12]. The low temperature PL spectrum of g-GeS<sub>2</sub> obtained with two different excitation energies at 2.7 and 2.81 eV each has two peaks with position of main peak energies at 2.20 and 2.28 eV correspondingly. The shape of this luminescence bands was dependent on the excitation wavelength [11]. The low temperature PL spectrum of nanostructured (GeS<sub>2</sub>)<sub>100-x</sub>(GeO<sub>2</sub>)<sub>x</sub> glasses excited by 3.1 eV laser line is blue shifted from 1.3 to 2.1 eV when x increases from x=0 to x=80 [12]. Room temperature PL in the visible range of nanocrystalline (nc) nc-Ge was reported in literature and attributed to different origins [15-18]. From chemically etched Ge the 2.3-2.3 eV visible PL (excited photon energy,  $E_{ex}=2.8$  eV) was assigned to GeO<sub>x</sub> species [16]. The PL results presented in [17] shows that visible luminescence ( $E_{ex}=3.81$  eV) of the porous Ge thin films originated from the germanium oxide. A number of mentioned above

results show that exact mechanism of luminescence in nc-Ge is still under discussion. Nanostructured ChGS are known to be susceptible to oxide impurities [19]. Presented here new results of experimental investigation of Ge-free binary g-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, g-GeS<sub>2</sub> glass and ternary (GeS<sub>2</sub>)<sub>x</sub>(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>100-x</sub> glasses at high energy of PL excitation might add new information about the nature of luminescence in nanostructured materials.

### Materials and methods

Glasses were prepared from the mixture of high-purity germanium (99.999 wt. %), elemental sulfur and arsenic refined by vacuum distillation. The mixture was synthesized in the evacuated ( $\sim 10^{-3}$  Pa) quartz ampoules by step-wise gradual heating up to 973 K for g-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> sample and 1223 K for Ge-containing samples in a rocking furnace. The g-GeS<sub>2</sub> samples for PL measuring were synthesized by melt quenching from different temperatures ranging from 1173 K (T<sub>1</sub>) to 1473 K (T<sub>4</sub>) and quenching rate from 100 K/s (V<sub>1</sub>) and 150 K/s (V<sub>2</sub>) (hereafter be denoted T<sub>i</sub>V<sub>j</sub>). The long term aged (9 years) of samples fractured surfaces were excited by cw laser illumination of 3.03 eV. From comparison of PL spectra a fresh fractured surfaces was used. An exiting diode laser scattering was filtering by cut-off filter at  $E>2.75$  eV. To study the light absorption of these glasses by convenient method, transmittance and reflectance spectra from polished samples have been used to extract the absorption coefficient ( $\alpha$ ).

### Results and discussion

When the fresh fractured surface of bulk glass of g-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> with inclusion of realgar-type As<sub>4</sub>S<sub>4</sub> molecules was chosen [13] it gives in PL spectrum an intensive narrow symmetric PL signal which maximum is centered at  $E_1=2.43$  eV with low energy side band at  $E_2=1.7$  eV (Figure 1). The excitation energy (3.03 eV) was higher than optical band-gap

energy ( $E_0$ ) of  $g\text{-As}_2\text{S}_3$  ( $E_0=2.4$  eV). The position of PL maximum  $E_1$  is in good agreement with value  $E_0$  in region of Tauc-rule absorption (Figure 1), LUMO-HOMO energy width of 12-member rings based on  $\text{AsS}_{3/2}$  pyramids ( $\Delta E=2.41$  eV) [13] and earlier found in this region the “hot luminescence” of  $g\text{-As}_2\text{S}_3$  [14]. The origin of the green PL band at about 2.4 eV was related to elemental sulfur species on the surface of the ZnS nanobelts, enrich in sulfur [15]. In our case in Raman spectra of  $g\text{-As}_2\text{S}_3$  was found the band which is responsible to S-S vibration [13]. Secondly, the energy dependent intensity of luminescence (Fig.1) is not proportional of  $\alpha=\alpha(E)$  of edge absorption [15] and not clear is high energy PL in  $g\text{-As}_2\text{S}_3$  the surface contaminant or photostructural effect. It needs further investigations and detail analysis will be further performed.

The position of a good separated low intensive wide band near  $E_2=1.7$  eV is in excellent agreement with the position of intensive PL band in PL spectrum of natural crystal realgar  $\beta\text{-As}_4\text{S}_4$  [20]. Raman scattering measuring by varying of excitation photon energy combined with computer simulation experiments in order to obtain detailed images of structure of  $g\text{-As}_2\text{S}_3$  has shown existing of realgar-type molecules  $\text{As}_4\text{S}_4$  in  $g\text{-As}_2\text{S}_3$  [4,13]. Therefore, we consider in first approximation that  $E_2$  maximum could be connected with realgar-type  $\text{As}_4\text{S}_4$  molecules inclusions in  $g\text{-As}_2\text{S}_3$ . [13].

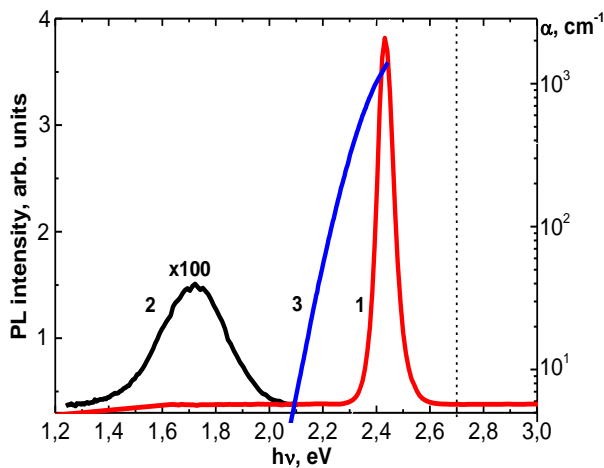


Figure 1. PL and edge absorption spectra of  $g\text{-As}_2\text{S}_3$ : 1,2 - PL; 3 - edge absorption.

PL spectra  $g\text{-GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_j)$  are shown in Figure 2. They have on high energy side of wide band almost the same peak position near  $E^*_1=2.6\text{-}2.7$  eV, shoulder near  $E^*_2=2.2\text{-}2.3$  eV and the tail of each the spectrum is extending beyond 2 eV. The peak position will be indicated  $E^*_1$  and  $E^*_2$  hereafter. In general, depending on the excitation wavelength the PL energy in  $\text{GeO}_x$  shows variations. Usually a blue PL band (2.8 -3.1 eV) is observed when the PL is excited in the near UV [21], and when the excitation wavelength is longer than the blue wavelengths, the

other PL bands (i. e. 1.6-1.9 eV, 2.1-2.3 eV bands) are observed [21]. From the variety of oxygen-deficient defects the theoretical modeling shows that  $\text{X}_3\text{Ge-GeX}_2$  ( $\text{X}=\text{OH}, \text{OAH}_3, \text{A}=\text{Ge}$ ) defect gives only a red/orange PL band at 2.0–2.1 eV [22].

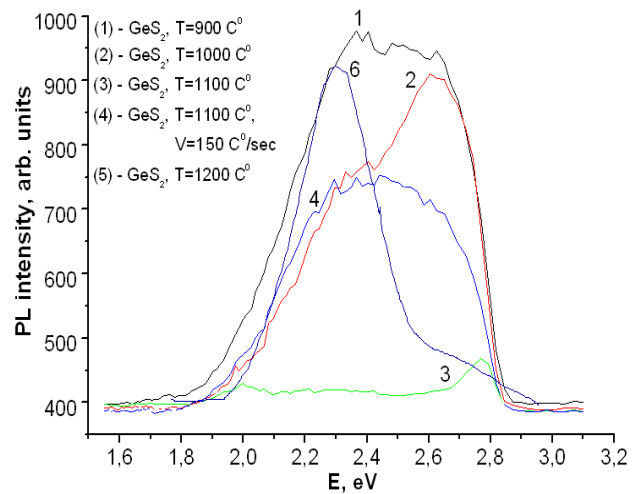


Figure 2. PL spectra  $g\text{-GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_j)$ , curve 6 for PL of  $\text{GeO}_x$  was taken from [21].

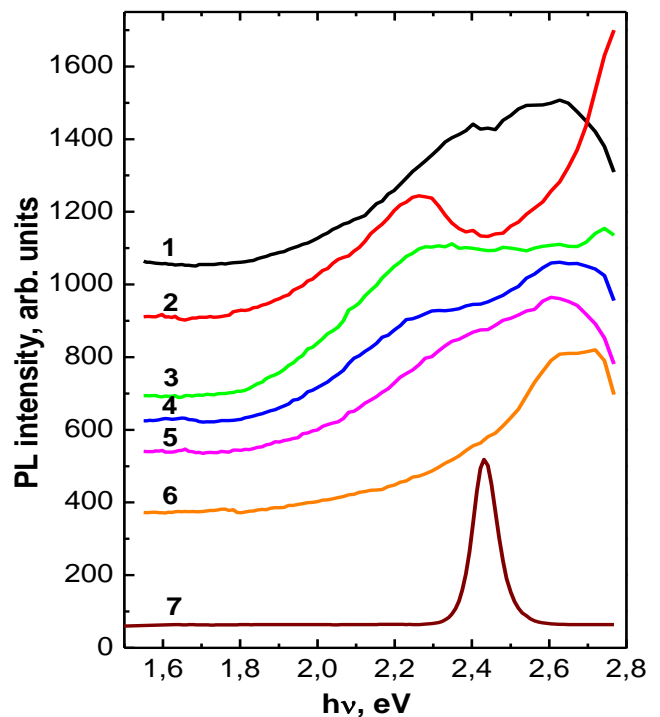


Figure 3. PL spectra of  $(\text{As}_2\text{S}_3)_x(\text{GeS}_2)_{1-x}$  glasses: 1)  $x=0.1$ ; 2)  $x=0.2$ ; 3)  $x=0.3$ ; 4)  $x=0.4$ ; 5)  $x=0.6$ ; 6)  $x=0.7$ ; 7)  $x=0$ .

In order to determine the origin of the low energy  $E^*_2$  photoluminescence spectra of  $\text{GeS}_2(\text{T}_i\text{V}_j)$  glasses the luminescence spectra from ternary  $(\text{As}_2\text{S}_3)_x(\text{GeS}_2)_{1-x}$  glasses having various Ge to As ratios were examined (Figure 3). With the shift of the optical band gap of  $(\text{GeS}_2)_x(\text{As}_2\text{S}_3)_{100-x}$  to lower energy by decreasing  $x$ ,  $E^*_2=2.2\text{-}2.3$  eV peak did not change position (Figure 3). The intensity of the

luminescence  $E^*_2$  peak decreased with increasing arsenic content in ternary glasses, which indicates that the  $E^*_2$  luminescence in  $\text{GeS}_2$ -based glasses could be associated with Ge-containing centers. Oxygen related bands in the PL spectrum of an as-synthesized  $\text{GeO}_x$  nanowire (figure 2, curve 6) which was excited at the O K-edge (536.5 eV), showed during fitting procedure four components at 1.90, 2.17, 2.42, and 2.70 eV [21]. Thermal annealing of the  $\text{GeO}_x$  nanowire leads to the disappearance of the high energy bands at 2.42 and 2.70 eV and decreasing intensity of PL yield [21]. It would be more reasonable to ascribe this peaks (Fig. 2 and Fig.3) like previous PL studies of nc-Ge [17,21] to presence of  $\text{GeO}_x$  species. We consider the possibility that the PL radiation in  $\text{GeS}_2$ -based glasses is a surface contaminant effect from native oxidized layer, which might have formed in the air. Argument for this conclusion is fact when we have used for PL measuring the freshly fractured surface of  $g\text{-GeS}_2(\text{T}_3\text{V}_2)$  all PL peaks which we connected with  $\text{GeO}_x$  species where disappeared in PL spectrum of  $g\text{-GeS}_2(\text{T}_3\text{V}_2)$  (Figure 2, curve 3).

Luminescence of unknown origin peaking near 2.8 eV from the freshly fractured surface of  $g\text{-GeS}_2(\text{T}_3\text{V}_2)$  (Figure 2, curve 3) is lying in the region

of exponential part of edge absorption. We suggest that this high-energy emission could be due to the presence some types of  $\text{Ge}_n\text{S}_m$  clusters in native matrix of  $\text{GeS}_2$ -based glasses. This suggestion based on our findings of increasing intensity of bands connected with 4-member rings in resonant Raman spectra of  $g\text{-GeS}_2$  [23]. LUMO-HOMO energy gap for four-member ring is near 3 eV and it is very close to energy of excitation PL of investigated wide band glasses. Role of closed clusters in processes of luminescence in ChGS was theoretically analyzed in [24].

### Conclusion

We observed visible photoluminescence in wide band gap binary and ternary chalcogenide glasses. The position of PL maximum  $E_1=2.43$  in  $g\text{-As}_2\text{S}_3$  is in good agreement with early found [14] "hot luminescence"  $g\text{-As}_2\text{S}_3$  in this region. PL radiation from long term aged fractured surfaces of  $\text{GeS}_2$ -based glasses was assigned to the surface contaminant effect from native oxidized layer. Argument for such assigned is PL spectrum of  $g\text{-GeS}_2$  freshly fractured surface where PL peaks connected with  $\text{GeO}_x$  centers are disappeared.

### References

1. M. Zalkovsij, Bisgaard C. Zoffman, A. Novitsky, R. Malureanu, D.Savastru, A. Popescu, P.U. Jepsen, A.V. Lavrinenko. Ultrabroadband terahertz spectroscopy of chalcogenide glasses // Applied Physics Letters. 2012. - vol.100. - pp. 031901-1-031901-6.
2. V. Mitsa, R. Holomb, M. Veres, A. Marton, I. Rosola, I. Fekeshgazi, M. Koós. Non-linear optical properties and structure of wide band gap non-crystalline semiconductors. // Phys. Stat. Sol. C. - vol.8. - №.9. – 2011. - pp. 2696-2700.
3. X.Liu, M. Naftaly, A. Iha. Spectroscopic evidence for oxide dopant sites in  $\text{GeS}_2$ - based glasses using visible photoluminescence from  $\text{Pr}^{3+}$  probe ions // Journal of Luminescence. - vol.96. – 2002. - pp.227-238.
4. O. Gamulin, M. Ivanda, V. Mitsa, M. Balarin, M. Kosovic. Monitoring structural phase transition of  $(\text{Ge}_2\text{S}_3)_x(\text{As}_2\text{S}_3)_{1-x}$  chalcogenide glass with Raman spectroscopy // Journal of Molecular Structure. - vol.993. – 2011. - pp.264–268.
5. B.J. Eggleton, B. Luther-Davies, K.Richardson. Chalcogenide photonics // Nature Photonics. - vol.5. – 2011. - pp.141-148.
6. V. Mitsa, Y. Babinets, Y. Gvardionov and I.Yermolovich. Photoluminescence in  $\text{Ge}_x\text{As}_y\text{S}_{1-x-y}$  by varying the average coordination number // J. of Non-Crystalline Solids. - vol.137&138. – 1991. - pp.959-962.
7. M. Popescu. Non-Crystalline Chalcogenides // KluwerAcademic Publishers. – New York. – 2000.
8. A.V. Kolobov. Photo-induced metastability in amorphous semiconductors // Wiley-VCH. - 2003.
9. R. Fairman and B. Ushkov. Semiconducting Chalcogenide Glass. P.I–III. P.I. Glass formation,structure, and simulated transformations in chalcogenide glass; P. II. Properties of glasses // Elsevier. - 2004.
10. N.A. Davydova, N.V. Bondar, V.V. Tyschenko. Photoinduced effects in luminescent spectra of chalcogenide glasses // Journal of Applied Spectroscopy. - vol.69. – 2002. - pp. 258-262.
11. T. Nakanishi, Y. Tomii, K. Hachiya. Temperature dependence of the photoinduced fatigue-recovery phenomena of photoluminescence under prolonged irradiation in  $\text{GeS}_2$  chalcogenide glass // J. of Non-Crystalline Solids. - vol.354. – 2008. - pp.1627-1632.
12. N. Terakado, K. Tanaka. Does the charged defect exist in nano-structured chalcogenide glass ? // Applied Physics Express. - vol.1. – 2008. - npp.081501-1-081501-3.
13. R. Holomb, V. Mitsa, O. Petrachenkov, M. Veres, A. Stronski, and M. Vlček. Comparison of structural transformations in bulk and as-evaporated optical media under action of polychromatic or photon-energy dependent monochromatic illumination // Phys. Stat. Sol. C. - vol.8. - №.9. – 2011. - pp. 2705-2708.
14. K. Murayama, M. A. Bösch. Radiative recombination in crystalline  $\text{As}_2\text{S}_3$  // Physical Review B. - vol. 23. – 1981. - pp.6810-6812.
15. Changhui Ye, Xiaosheng Fang,Guanghai Li,Lide Zhang. Origin of the green photoluminescence from

- zinc sulfide nanobelts . Applied Physics Letters. -vol. 85.- 2004.- pp.3035-3037.
16. K. Tanaka. Excitation-energy-dependent photoluminescence in glassy As-S and crystalline As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> // Phys. Status Solidi B. - vol.1-6. – 2013. - DOI 10.1002/pssb.201248519.
  17. T.S. Ko, J. Shieh, M.C. Yang, T.C. Lu, H.C. Kuo, S.C. Wang. Phase transformation and optical characteristics of porous germanium thin films // Thin Solid Films. - vol.516. – 2008. - pp. 2934-2938.
  18. K.W. Sun, S.H. Sue, C.W. Liu. Visible luminescence from Ge quantum dots // Physica E. - vol.28. – 2005. - pp.525-530.
  19. D. Lezal. Chalcogenide glasses – survey and progress // Journal of Optoelectronics and Advanced Materials. - vol. 5. -2003. - pp. 23-34.
  20. S.G. Bishop, B.V. Shanabrook, U. Strom and P.C. Taylor. Comparison of optically induced localized states in chalcogenide glasses and their crystalline counterparts // J. De Physique E. - vol.42. – 1981. - pp.C4-383-C4-386.
  21. Mingfa Peng, Yang Li, Jing Gao, Duo Zhang, Zheng Jiang, Xuhui Sun. Electronic Structure and Photoluminescence Origin of Single-Crystalline Germanium Oxide Nanowires with Green Light Emission // J. Phys. Chem. C. - vol.115. – 2011. - pp.11420-11426.
  22. A.S. Zyubin, A. M. Mebel, S.H. Lin. Photoluminescence of oxygen-deficient defects in germanium oxides: A quantum chemical study // The Journal of Chemical Physics. - vol. 125. – 2006. - pp. 064701-0647011.
  23. R. Holomb, P. Johansson, V. Mitsa, I. Rosola. Local structure of technologically modified g-GeS<sub>2</sub>: resonant Raman and absorption edge spectroscopy combined with ab initio calculations // Philosophical Magazine. - vol.85.pp. – 2005. - 2947-2960.
  24. I. Banik. On photoluminescence in chalcogenide glasses based on barrier-cluster model // J. of Non – Oxide and Photonic Glasses. - vol. 1. – 2009. - pp.

**Мица В., Боркач Е., Ловас Г., Голомб Р., Росола И., Рудько Г., Гуле Е., Фекешгази И.  
Видимая фотолюминесценция старой и свежеобразованной поверхности халькогенидных стекол**

**Аннотация:** В спектре фотолюминесценции стеклообразного c-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, возбужденной со свежесколотой поверхности, спектральное положение полосы при 2,43 эВ, находится в хорошем согласии с положением ранее обнаруженной в этом стекле полосой «горячей фотолюминесценции». Природу полосы в этой области в ZnS, обогащенном серой, относят к излучению ФЛ центров, связанных с элементарной серой. Фотолюминесцентное излучение наблюдаемое со скола бинарных и тройных стекол на основе стеклообразного c-GeS<sub>2</sub> при старении, отнесено к окисной фазе GeO<sub>x</sub>, что образовалась на поверхности стекол в течении длительного хранения образцов на воздухе. Все ФЛ максимумы, связанные, с центрами GeO<sub>x</sub>, исчезли с фотолюминесцентного спектра, когда спектр был снят со свежесколотой поверхности объемного стекла g-GeS<sub>2</sub>(T<sub>3</sub>V<sub>2</sub>).

**Ключевые слова:** видимая фотолюминесценция, халькогенидное стекло, окисная фаза GeO<sub>x</sub>, край поглощения, c-GeS<sub>2</sub>, c-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>



Демеш Ш.Ш.<sup>1</sup>, Боркач Е.І.<sup>2</sup>, Ковтуненко В.С.<sup>3</sup>Визначення параметрів аналітичних виразів потенціалів міжатомної взаємодії кристалів  $As_nS_m$  методом функціонала густини<sup>1</sup> Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна<sup>2</sup> Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна<sup>3</sup> Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

**Анотація:** Для вивчення реальних систем, які містять сотні або тисячі атомів перспективними є методи комп'ютерного моделювання молекулярної динаміки, Монте-Карло та інші. Їх застосування вимагає знання точного потенціалу багаточастинкової міжатомної взаємодії в досліджуваних матеріалах. Не дивлячись на запропонований широкий набір аналітичних виразів таких потенціалів, їх реалістичні параметри встановлені для дуже вузького кола конкретних речовин. Нами такі дослідження проведені для матеріалів системи As-S шляхом квантово-механічних розрахунків методом DFT. Для аналізу було вибрано 7 різних кристалічних фаз даної системи. Для них у програмному середовищі Quantum Espresso PWSCF розраховані залежності енергії кристалічних ґраток від ступеня їх деформації вздовж кристалографічних осей  $E(x)$ . На послідуочому етапі за допомогою програми GULP розраховувалися параметри аналітичних виразів потенціалів двох- ( $V_M$ ) та трьохатомної ( $V_{EH}$ ) взаємодії. Підгонка параметрів потенціалів проводилася таким чином, щоб вони найкращим чином описували поведінку енергії елементарних комірок 7 вибраних кристалів системи As-S при їх деформації. Аналіз даних розрахунків показує, що параметр потенціалу  $D_e$  дуже близький до експериментальної енергії зв'язків As-S, рівної 2,6 еВ, а параметр  $r_0$  лише на 0,02 нм менший від рівноважної міжатомної відстані між атомами As і S, рівної 0,215–0,225 нм. Для «слабо» представлених у кристалах ковалентних хімічних зв'язків As-As параметр потенціалу  $r_0$  практично співпадає з експериментальною рівноважною міжатомною відстанню між сусідніми атомами миш'яку, рівною 0,245–0,255 нм. Але значення  $D_e=0,85$  еВ більш ніж удвічі менше енергії зв'язків As-As (2,05 еВ). Такі відмінності можуть бути зумовлені тим, що у проаналізованих кристалах для взаємодії As-As параметр  $D_e$  відображає усереднену взаємодію між значною концентрацією атомів миш'яку, зв'язаних через «мостики» сірки, та невеликою кількістю атомів As, зв'язаних між собою безпосередньо. Така гіпотеза підтверджується тим, що для взаємодії атомів S-S, всі із яких відбуваються через «мостики» атоми миш'яку, параметр  $D_e$  ще в більшій мірі є меншим від експериментального значення (0,47 еВ та 2,8 еВ, відповідно), а значення  $r_0$  наближається до рівноважної відстані між атомами сірки, як другими сусідами (0,32 нм). Отримані параметри трьохчастинкового потенціалу підтверджують вказані вище закономірності міжатомних взаємодій у кристалах системи As-S. У цілому, усереднені параметри потенціалу добре узгоджуються з енергіями зв'язку, міжатомними відстанями та кутами для взаємодіючих пар і трійок атомів As-S, As-As, As-S-As, As-As-As, але погано корелюють з локальними енергетичними та структурними параметрами пар і трійок S-S, S-S-S, S-As-S.

**Ключові слова:** потенціали міжатомної взаємодії кристалів, метод функціонала густини, система As-S

**Вступ**

Сучасна фізика конденсованого стану та наноматеріалів все ширше застосовує комп'ютерне моделювання структури й різних процесів, які протікають у даних системах. На сьогодні у даній області досліджень найбільш точними є першопринципні квантово-механічні методи та розрахунки, які ґрунтуються на них. Але їх використання обмежується системами до двох десятка атомів внаслідок різкого збільшення затрат машинного часу при подальшому збільшенні розмірів моделі. Для вивчення ж реальних систем, які містять сотні або тисячі атомів, більш перспективними є методи молекулярної динаміки, Монте-Карло та інші. Але їх застосування вимагає знання точного потенціалу багаточастинкової міжатомної взаємодії в досліджуваних матеріалах. Не дивлячись на запропонований широкий набір аналітичних виразів таких потенціалів, їх реалістичні параметри встановлені для дуже вузького кола конкретних речовин та матеріалів. Кластери, аморфні плівки, стекла та кристали

системи As-S представляють інтерес як з точки прояву в них ряду унікальних фізико-хімічних процесів, так і з точки зору модельних систем для вивчення механізмів фотостимульованих змін структури, оптичних властивостей та масопереносу.

Масштабні експериментальні дослідження даних матеріалів до цих пір не дозволили встановити атомні механізми протікання цих процесів. На нашу думку, розв'язок такої задачі можливий при поєднанні експериментальних досліджень з масштабним математичним моделювання матеріалів системи As-S. Останнє вимагає встановлення реалістичного потенціалу міжатомної взаємодії, яка реалізується в даній системі, чому і присвячена дана робота.

**Методика досліджень**

Квантово-механічний метод функціонала густини (метод DFT) базується на можливості визначення хвильових функцій, енергії, електронних властивостей та фізико-мімічних параметрів

атомної системи, якщо відома її функція розподілу електронної густини  $\rho_0(x, y, z)$  [1, 2, 3]. Для проведення розрахунків даним методом необхідно знати для досліджуваної системи точний функціонал  $\rho_0$ , правильно вибрати базисні функції (базис) для представлення електронних орбіталей системи та задати певний обмінно-кореляційний функціонал, який враховує сукупність всіх взаємодій між частинками системи. При виборі даних параметрів застосовують різні наближення, які визначаються тією конкретною комп'ютерною програмою, яка використовується для розрахунків.

Нами для кристалів  $As_2S_3$  квантово-механічні розрахунки були проведені в програмному середовищі Quantum Espresso PWSCF [4, 5]. Дана програма використовує плоскі хвилі для формування базису та метод самоузгодженого поля для виконання самозбіжних циклів пошуку функції  $\rho_0$  системи. Для проведення розрахунків застосовувалися обмінно-кореляційні функціонали Пардюв-Б'єрк-Ернзерхофа (PBE) – напівлокальні функціонали на основі апроксимації узагальненого градієнта потенціалу системи [6].

На першому етапі проводилися розрахунки енергії елементарної комірки реальної просторової ґратки кристалів мінералу ауріпігменту  $As_2S_3$ . У результаті були отримані значення радіуса відсічки кінетичної енергії  $E_{cut} = 340$  eВ та параметрів хвильових векторів електронів, які визначають сітку інтегрування в зоні Брілюена досліджених кристалів. Поріг конвергенції для процедури самозбіжності процесу розрахунків був рівним  $1.36 \times 10^{-6}$  eВ. Різні типи міжатомних взаємодій обмежували відповідними радіусам відсічки  $r_{cut}$ : для ковалентних зв'язків  $r_{cut} = 0.6$  нм; для трьохатомних взаємодій між центральними і крайнім атомом встановлювався  $r_{cut}^{12} = 0.75$  нм, а для крайніх атомів  $r_{cut}^{23} = 1.5$  нм.

На другому етапі для всіх кристалічних фаз системи As-S, для яких відомі експериментальні координати атомів в елементарній комірниці (табл.1), розраховувалися залежності енергії кристалічної ґратки від розмірів її елементарної комірки. Для цього почергово вздовж кожної з кристалографічних осей проводилася пружна деформація (стиснення або розтягування) елементарної комірки досліджу кожного кристалу. Величина деформації задавалася параметром  $x = a/a_0$ , де  $a_0$  – вихідне рівноважне значення ребер елементарної комірки, а  $a$  – ці ж ребра після деформації. Для кожного такого деформо-

ваного стану квантово-механічно розраховувалося значення енергії кристалічної ґратки  $E(x)$ . Всього із відомих 16 кристалічних фаз у системі As-S було досліджено 7 кристалічних ґраток, які мають ковалентні зв'язки всіх трьох типів: As-As, S-S, As-S (табл. 2). У результаті отримано 21 залежність  $E(x)$ . Структурні дані координат атомів відповідних елементарних комірок для розрахунків бралися із [7-18].

Третій етап розрахунків проводився за допомогою програми GULP [19]. Для цього в неї для вибраних 7 кристалічних фаз (табл. 2) вводилися параметри елементарних комірок, координати атомів в них та всі отримані на другому етапі залежності  $E(x)$ . За такими вхідними даними програма розраховувала параметри аналітичних виразів потенціалів дво- та трьохатомної взаємодії в системі As-S. У якості останніх були взяті прості потенціали Морзе попарної двоатомної взаємодії

$$V_M = D_e \left[ (1 - \exp(-a(r - r_0)))^2 - 1 \right],$$

та експоненційно-гармонічні трьохатомні потенціали

$$V_{EH} = (k/2)(\Theta - \Theta_0)^2 \exp(-r_{12}/\rho_{12})(-r_{13}/\rho_{13})$$

де  $D_e$  – енергія хімічного зв'язку (енергія дисоціації для двоатомної молекули),  $a$  задає «ширину» потенціалу (чим менше  $a$ , тим більша потенціальна яма),  $r$  – відстань між двома вибраними атомами,  $r_0$  – рівноважна відстань між цими атомами,  $k$  – силова константа деформації кута між хімічними зв'язками вибраної трійки атомів,  $\Theta$  – кут між цими зв'язками,  $\Theta_0$  – рівноважний кут між цими зв'язками,  $r_{12}$  та  $r_{13}$  – відстані між центральним та крайніми атомами у вибраній трійці,  $\rho_{12}$  та  $\rho_{13}$  – локальні густини електронів у просторі між центральним та крайніми атомами в даній трійці.

Програма GULP проводила підгонку перерахованих параметрів аналітичних виразів вказаних потенціалів таким чином, щоб вони найкращим чином описували поведінку енергії елементарних комірок 7 вибраних різних кристалів системи As-S при їх деформації. Критерієм підгонки цих параметрів служило максимальне наближення кривих  $E(x)$ , розрахованих за аналітичними виразами потенціалів, до залежностей  $E(x)$ , розрахованих квантово-механічним методом DFT.

Таблиця 1

Назви та умови отримання відомих кристалічних фаз у системі As-S

Фаза	Назва	Умови отримання	Густина	Література
$\alpha$ -S	-	Конденсація у вакуумі або кристалізація аморфних плівок	2,07	[7]
$\beta$ -S	-	Природний мінерал	1,96	[7]
As <sub>2</sub> S <sub>5</sub>	-	Кристалізація скла при високому тиску (40 – 70 кбар)		[8]
$\alpha$ -As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Ауріпігмент (орпімент)	Природний мінерал або кристалізація скла	3,49	[9]
$\beta$ -As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	-	Фазовий перехід із $\alpha$ -As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> при високому тиску (40 – 70 кбар) та температурах (700 – 1000 К) або при конденсації пари	3,53	[10]
$\gamma$ -As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	-	Фазовий перехід із $\beta$ -As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> при високому тиску (40 – 70 кбар) та температурах (1000 – 1300 К)	-	[8]
As <sub>4</sub> S <sub>5</sub>	Узоніт	Природна кристалізація, синтезується	3,37	[11]
$\alpha$ -As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	Реальгар	Природний мінерал або синтезується із елементів	3,55	[12]
$\beta$ -As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	-	Кристалізація із парів або при швидкому охолодженні розплаву	3,56–3,61	[13]
$\gamma$ -As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	-	Фазовий перехід із $\beta$ -As <sub>4</sub> S <sub>4</sub> при високому тиску (40 – 70 кбар) та температурах (1000 – 1100 К)	-	[8]
As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	Алакраніт	Перегонка у вакуумі	3,5	[14]
p-As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	Пара-реальгар	Синтезується опромінюючи світловим потоком	3,52	[15]
$\alpha$ -As <sub>4</sub> S <sub>3</sub>	Диморфіт I	Синтезується із елементів	3,57	[16]
$\beta$ -As <sub>4</sub> S <sub>3</sub>	Диморфіт II	Фазовий перехід із $\alpha$ -As <sub>4</sub> S <sub>3</sub> або конденсується із пари	3,6	[17]
$\alpha$ -As	-	Природний мінерал	5,73	[18]
$\beta$ -As	-	Конденсація у вакуумі або перехід із $\alpha$ -As під тиском	4,7–5,1	[18]

Таблиця 2

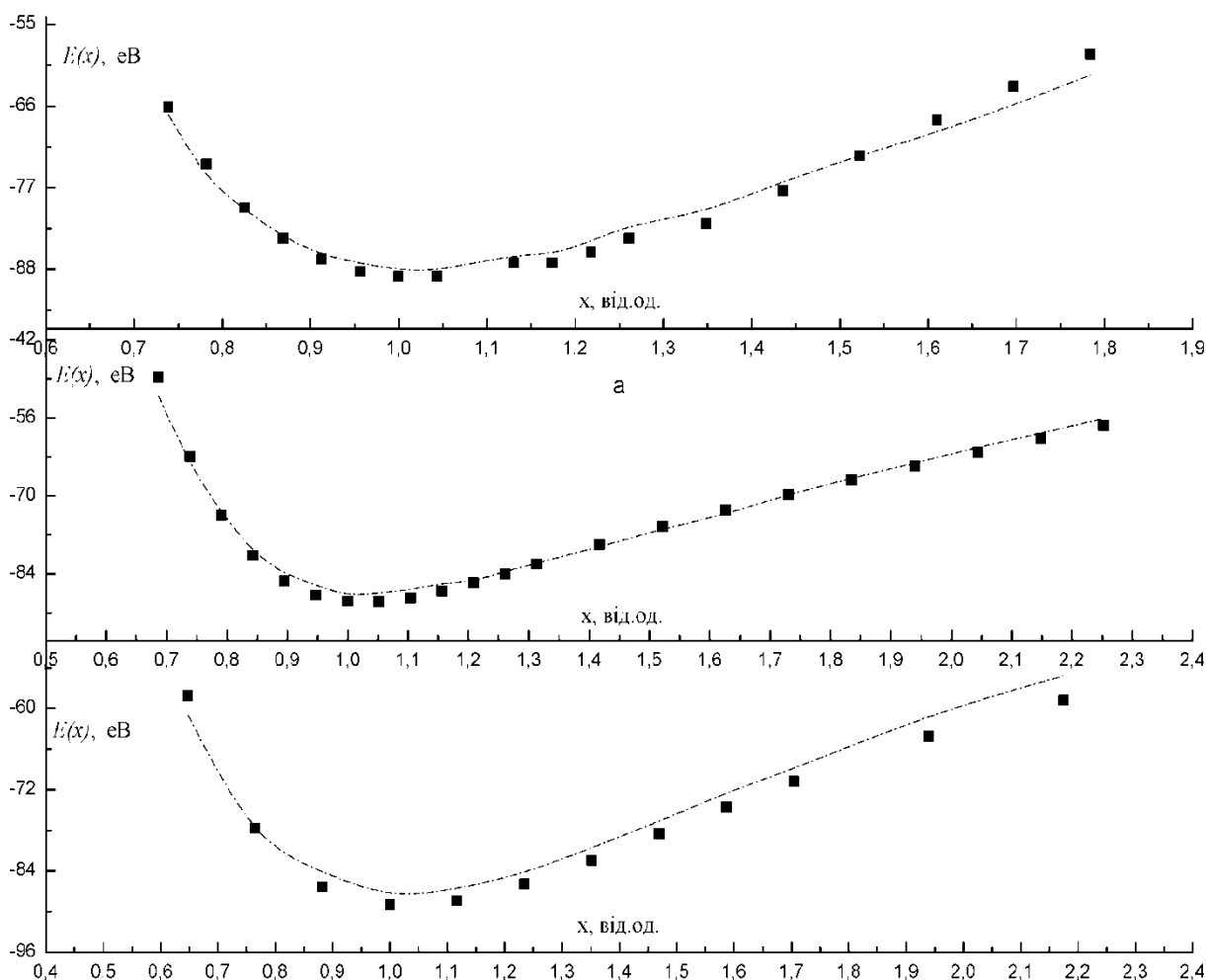
Параметри елементарної комірки кристалічних ґраток кристалів системи As-S, які були використані для знаходження параметрів потенціалу міжатомної взаємодії (Z – кількість формульних одиниць в елементарній комірці)

Зв'язок	Сингонія	Просторова група	Параметри елементарної комірки				
			a, нм	b, нм	c, нм	$\alpha$ ( $\beta, \gamma$ ), °	Z
$\alpha$ -As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	моноклінна	P <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> /n	1,1475	0,957	0,4256	$\beta=90,4$	4
$\beta$ -As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	моноклінна	P <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> /n <sub>1</sub>	11,46	9,57	4,22	$\beta=90,5$	4
As <sub>4</sub> S <sub>5</sub>	моноклінна	P <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> /m <sub>1</sub>	0,798	0,810	0,714	$\beta=101,0$	2
$\alpha$ -As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	моноклінна	P <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> /n	0,927	1,350	0,656	$\beta=106,6$	16
$\beta$ -As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	моноклінна	P <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> /n <sub>1</sub>	1,1193	0,9994	0,7153	$\beta=92,8$	4
p-As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	моноклінна	P <sub>1</sub> 2 <sub>1</sub> /c <sub>1</sub>	0,9909	0,9655	0,8502	$\beta=97,29$	4
$\beta$ -As <sub>4</sub> S <sub>3</sub>	орторомбічна	Pnma	1,121	0,990	0,658		4

### Результати та їх аналіз

Залежності  $E(x)$  енергій кристалів  $\alpha$ -As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, розраховані нами як квантово-механічними методами, так і за допомогою отриманих потенціалів, наведені на рис. 1. Аналогічні залежності отримані нами і для всіх інших проаналізованих кристалічних фаз. При цьому відмінності енергій у точці мінімуму двох кривих  $E(x)$ , розрахованих за двома відміченими підходами, не перевищували для всіх кристалів 5 %. Це свідчить про хороший опис розрахованим нами потенціалом усереднених міжатомних взаємодій у кристалах As<sub>n</sub>S<sub>m</sub>. Проаналізуємо відповідність параметрів визначеного нами потенціалу експериментальним даним з локальної міжатомної взаємодії у кристалах системи As-S. Отримані в результаті розрахунків параметри потенціалу двохатомної

взаємодії наведені в табл. 3, а параметри потенціалу трьохатомної взаємодії – в табл. 4. Для аналізу відмітимо, що у всіх кристалічних фазах As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> тригональні структурні групи AsS<sub>3</sub> пов'язані через мостикові атоми сірки у двовимірну нескінченну розтягнуту сітку, що складається з вигнутих кілець. Окремі кільця містять по шість пірамідально координованих AsS<sub>3/2</sub> структурних одиниць, пов'язаних між собою мостиковими атомами сірки. Із таких структурних фрагментів формуються окремі безкінечні шари, які розміщуються у кристалічній ґратці паралельно один до одного. Аналогічну шарувату структуру мають й інші поліморфні фази As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Між утвореними шарами реалізуються слабкі міжшарові хімічні зв'язки Ван-дер-Ваальсового типу.



**Рис.1.** Залежності енергії  $E(x)$  кристалічної ґратки кристалів  $\alpha\text{-As}_2\text{S}_3$  від величини деформації вздовж кристалографічних осей: квадрати – прямий розрахунок, штрихові лінії – розрахунки за потенціалом

**Таблиця 3**

Параметри потенціалів Морзе для опису двохатомної взаємодії в системі As-S

Тип двохатомної взаємодії	$D_e$ [eV]	$a$ [нм <sup>-1</sup> ]	$r_0$ [нм]
As-S	2,41	13,5	0,192
As-As	0,85	11,1	0,249
S-S	0,47	18,4	0,284

**Таблиця 4**

Параметри експоненційно-гармонічних трьохатомних потенціалів для опису трьохатомної взаємодії в системі As-S.

Тип трьохатомної взаємодії	$k$ [eV/рад <sup>2</sup> ]	$\Theta_0$ [град]	$\rho_{12}$ [нм]	$\rho_{13}$ [нм]
S-As-S	29,06	171,0	0,1326	0,1036
S-S-S	-261,00	61,2	0,1099	0,0791
As-As-As	14,65	62,9	0,1259	0,1641
As-S-As	85,99	87,3	0,0118	0,0167

Всі кристалічні фази  $\text{As}_4\text{S}_4$ ,  $\text{As}_4\text{S}_3$  та  $\text{As}_4\text{S}_5$  мають однотипну молекулярну структуру, в якій окремі молекули з хімічним складом, тотожним складу кристалів, ув'язані між собою силами Ван-дер-Ваальса.

Таким чином, безпосередньо ковалентними зв'язками в усіх досліджених нами кристалах зв'язані між собою переважно атоми миш'яку та сірки. Тому саме зв'язки As-S вноситимуть основний сумарний вклад в енергію двохатомної

взаємодії. Хімічні зв'язки As-As присутні лише в молекулярних кристалічних фазах у незначній кількості, а ковалентні зв'язки S-S – взагалі відсутні у використаних при розрахунках кристалах.

Такі закономірності будови кристалів системи As-S знаходять своє відображення в розрахованих параметрах потенціалів. Параметр  $D_e$  дуже близький до експериментальної енергії зв'язків As-S, рівної 2,6 eV, а параметр  $r_0$  лише на 0,02 нм менший від рівноважної міжатомної відстані між атомами As і S, рівної 0,215 – 0,225 нм. Для «слабо» представлених у кристалах ковалентних хімічних зв'язків As-As параметр потенціалу  $r_0$  практично співпадає з експериментальною рівноважною міжатомною відстанню між сусідніми атомами миш'яку, рівною 0,245 – 0,255 нм. Але значення  $D_e = 0,85$  eV більш ніж удвічі менше енергії зв'язків As-As (2,05 eV).

Такі відмінності, на нашу думку, зумовлені тим, що у проаналізованих кристалах для взаємодії As-As параметр  $D_e$  відображає усереднену взаємодію між значною концентрацією атомів миш'яку, зв'язаних через «мостики» сірки, та невеликою кількістю атомів As, зв'язаних між собою безпосередньо. Така гіпотеза підтверджується тим, що для взаємодій атомів S-S, всі із яких відбуваються через «мостикові» атоми миш'яку, параметр  $D_e$  ще в більшій мірі є меншим від експериментального значення (0,47 eV та 2,8 eV, відповідно), а значення  $r_0$  наближається до рівноважної відстані між атомами сірки, як другими сусідами (0,32 нм). Відмітимо також, що параметри ширини потенціалу  $a$  є досить близькими для різних подвійних міжатомних взаємодій у кристалічних ґратках As-S.

Отримані параметри трьохчастинкового потенціалу підтверджують вказані вище закономірності міжатомних взаємодій у кристалах системи As-S. Так для відсутніх у проаналізованих кристалічних ґратках структурних утворень S-S-S отримується не реальна від'ємна силова константа. Для присутніх же у молекулярних кристалах трійок As-As-As та присутніх у шаруватих кристалах трійок As-S-As рівноважні куту  $\theta_0$  відповідають експериментальним. Не зрозумілою лишається лише велика відмінність між параме-

тром  $\theta_0$  (171 град.) та експериментальним кутом між хімічними зв'язками у трійках атомів S-As-S (95 – 105 град.). Для в'яснення даної проблеми необхідно проводити додаткові дослідження. Для цього слід застосовувати як прямі квантово-хімічні розрахунки простих кластерів і молекул  $As_nS_m$ , так і використаний нами метод, але для інших наборів кристалічних фаз, які включаються до аналізу. Крім того, важливим завданням для шаруватих та молекулярних кристалів системи As-S є включення до потенціалів і складових, які описують міжмолекулярну взаємодію.

### Висновки

1. Квантово-механічними розрахунками з використанням методу DFT та програми GULP отримані реалістичні параметри для аналітичних виразів потенціалу усередненої дво- та трьохчастинкової міжатомної взаємодії у кристалах системи As-S, які дають близькі до експериментальних значення енергії існуючих кристалічних ґраток  $As_nS_m$ .

2. Усереднені параметри потенціалу добре узгоджуються з енергіями зв'язку, міжатомними відстанями та кутами для взаємодіючих пар і трійок атомів As-S, As-As, As-S-As, As-As-As, але погано корелюють з локальними енергетичними та структурними параметрами пар і трійок S-S, S-S-S, S-As-S.

### Подяка

Автори щиро вдячні Інституту Електронної Фізики НАН України (м.Ужгород) за забезпечення доступу до комп'ютерного кластеру для проведення розрахунків, а також проф. В.П. Іваницькому та к.ф.-м.н. В.В. Маслюку за всебічну підтримку роботи і обговорення отриманих результатів.

Наукова дослідницька робота здійснювалась в рамках проекту ТАМОР 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 «Програма Національного Відмінника» – програми погодження та керування системою фінансування і підтримки студентів та молодих науковців за підтримки Угорської держави, Європейського Союзу та з фінансуванням Європейського Соціального Фонду.

### Література

1. A bird's-eye view of density-functional theory Klaus Capelle, Universidade de São Paulo, Brazil, 2004., 69 pp.
2. Inhomogeneous Electron Gas P. Hohenberg and W. Kohn, Phys. Rev. Vol. **136**, pp. B864-B871 (1964).
3. Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects W. Kohn and L. J. Sham, Phys. Rev. Vol. **140**, pp. A1133-A1138 (1965).
4. QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials P. Giannozzi et al., J. Phys.: Condens. Matter Vol. **21** 395502 (2009), 19 pp.
5. <http://www.quantum-espresso.org>
6. Generalized Gradient Approximation Made Simple J. P. Perdew, K. Burke, and M. Ernzerhof, Phys. Rev. Lett. Vol. **77**, 3865 (1996). *ibid* Vol. **78**, 1396(E) (1997).

7. Физико-химические свойства полупроводниковых веществ. Справочник. М.: Наука, 1979.
8. Виноградова Г.З. Стеклообразование и фазовые равновесия в халькогенидных системах. – М.: Наука, 1984. – 174 с.
9. Refinement of the crystal structures of realgar AsS and orpiment As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> Mullen, D.J.E.; Nowacki, W., Zeitschrift fuer Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik, (1972), Vol. **136**, pp. 48-65.
10. The crystal structure of orpiment (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) refined Morimoto N., Mineralogical Journal, Japan, (1954) Vol. **1**, pp. 160-169.
11. Crystal and molecular structure of tetraarsenic pentasulphide H.J. Whitfield, Journal of the Chemical Society. Dalton Transactions, Inorganic Chemistry (1972-1973), 1973, pp. 1740-1742
12. Фельц А. Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела: Пер. с нем. – М.: Мир, 1986. – 558 с.
13. The crystal structure of realgar Ito, T.;Morimoto, N.;Sadanaga, R., Acta Crystallographica (1952), Vol. **5**., pp. 775-782.
14. Alacranite, As<sub>4</sub>S<sub>4</sub>: a new occurrence, new formula and determination of the crystal structure Burns, P.C.;Percival, J.B. Canadian Mineralogist (2001),Vol. **39**, pp. 809-818.
15. The crystal structure of pararealgar Bonazzi, P.;Menchetti, S.;Pratesi, G., American Mineralogist (1995), Vol. **80**, pp. 400-403.
16. The crystal structure of tetraarsenic trisulfide H.J. Whitfield, Journal of the Chemical Society A: Inorganic, Physical, Theoretical (1966-1971), 1970, pp. 1800-1803.
17. Crystal structure of the beta-form of tetraarsenic trisulphide H.J. Whitfield, Journal of the Chemical Society. Dalton Transactions, Inorganic Chemistry (1972-1973), 1973, pp. 1737-1738.
18. The Crystal Structure of Arsenic at 4.2, 78 and 299K Schiferl, D.;Barrett, C.S., Journal of Applied Crystallography (1969), **2**, 30-36.
19. Julian D. Gale, General Utility Lattice Program Version 3.4. User's manual Nanochemistry Research Institute, Department of Chemistry, Curtin University of Technology, Australia, 2010

**Demesh Sh.Sh., Borkach E.I., Kovtunenکو V.S.**

**Determination of the analytical expressions of interatomic interaction potentials for As<sub>n</sub>S<sub>m</sub> crystals with density functional method**

**Abstract:** To investigate real systems, which consist of a few hundred or thousands of atoms, molecular dynamics, Monte Carlo and other computer simulation methods have great perspectives. Their application requires the knowledge of the exact potential of many-body interatomic interaction in the investigated materials. Besides the huge variety of analytical expressions for such kinds of potentials, their realistic parameters have found for a few types of concrete materials. We have made such kinds of investigations for the materials of As-S systems with quantum-mechanical modeling, using DFT method. For the analysis we have chosen 7 different crystal phases from these systems. For the crystals we have calculated the dependence of the energies E(x) on the level of deformation according to crystallographic axes, using the software package Quantum Espresso PWSCF. In the next step we have calculated the parameters of the analytical expressions of potentials for two-body (V<sub>M</sub>) and three-body (V<sub>EH</sub>) interactions. The fitting procedures of the parameters were performed such way, that the calculated potentials were able to approximate accurately the energy-dependence of the 7 chosen crystals from their deformation levels. The analysis of the calculations shows, that the D<sub>e</sub> parameter of the potential is very close to the experimental dissociation energy, which is 2.6 eV, and the parameter r<sub>0</sub> also only to 0.02 nm lower than equilibrium interatomic distance between As and S atoms, which is about 0.215–0.225 nm. For the most infrequent As-As covalent bond type the r<sub>0</sub> parameter in fact is the same as the experimental equilibrium interatomic distance between neighbour arsenic atoms, which is about 0.245–0.255 nm. But the value of D<sub>e</sub>=0.85 eV more than two times lower than As-As binding energy (2.05 eV). Such kind of differences could be explicable that in the investigated crystals for the As-As interaction the D<sub>e</sub> parameter shows generalized interaction between a great concentration of arsenic atoms. This hypothesis can be verified with the fact that for the interaction of sulphur atoms, all of that connected through “bridge-type” atoms of arsenic, the D<sub>e</sub> parameter has still greater difference from the experimental value (0.47 eV and 2.8 eV, accordingly), while the value of r<sub>0</sub> is closer to the equilibrium distance between sulphur atoms in second neighborhood (0.32 nm). The calculated parameters of three-body potentials verify the above mentioned regularities of interatomic interactions in the crystals of As-S systems. Finally, the generalized parameters of potentials have been approximated accurately with the binding energies, interatomic distances and angles for interaction pairs and triplets of atoms As-S, As-As, As-S-As, As-As-As, but badly correlate with local energetical and structural parameters of pairs and triplets S-S, S-S-S, S-As-S.

**Keywords:** interatomic interaction potentials, density functional method, As-S system

**Демеш Ш.Ш., Боркач Е.И., Ковтуненко В.С.**

**Определение параметров аналитических выражений потенциалов межатомного взаимодействия кристаллов As<sub>n</sub>S<sub>m</sub> методом функционала плотности**

**Аннотация:** Для изучения реальных систем, которые содержат сотни или тысячи атомов перспективными являются методы компьютерного моделирования молекулярной динамики, Монте-Карло и другие. Их применение требует знания точного потенциала многочастичного межатомного взаимодействия в исследуемых материалах. Несмотря на предлагаемый широкий набор аналитических выражений таких потенциалов, их реальные параметры установлены для очень узкого круга конкретных веществ. Нами подобные исследования проведены для материалов системы As-S путем квантово-механических расчетов методом DFT. Для анализа было выбрано 7 разных кристаллических фаз данной системы. Для них в программной среде Quantum Espresso PWSCF расчи-

таны зависимости энергии кристаллических решеток от степени их деформации вдоль кристаллографических осей  $E(x)$ . На следующем этапе с помощью программы GULP рассчитывались параметры аналитических выражений потенциалов двух- ( $V_M$ ) трехатомного ( $V_{EN}$ ) взаимодействия. Подгонка параметров потенциалов проводилась таким образом, чтобы они наилучшим образом описывали поведение энергии элементарных ячеек 7 избранных кристаллов системы As-S при их деформации. Анализ данных расчетов показывает, что параметр потенциала  $D_e$  приближается к экспериментальному значению энергии связей As-S, равной 2,6 эВ, а параметр  $r_0$  лишь на 0,02 нм меньше равновесного расстояния между атомами As и S, равного 0,215–0,225 нм. Для «слабо» представленных в кристаллах ковалентных химических связей As-As параметр потенциала  $r_0$  практически совпадает с экспериментальным равновесным расстоянием между соседними атомами мышьяка, равного 0,245–0,255 нм. Однако, значение  $D_e = 0,85$  эВ более чем дважды меньше энергии связей As-As (2,05 эВ). Такие различия могут быть обусловлены тем, что в проанализированных кристаллах для взаимодействия As-As параметр  $D_e$  отображает усредненное взаимодействие между значительной концентрацией атомов мышьяка, связанных через «мостики» серы, и небольшим количеством атомов As, связанных между собой непосредственно. Такая гипотеза подтверждается тем, что для взаимодействий атомов S-S, все из которых происходят через «мостиковые» атомы мышьяка, параметр  $D_e$  является в еще большей мере меньшим от экспериментального значения (0,47 эВ та 2,8 эВ, соответственно), а значение  $r_0$  приближается к равновесному расстоянию между атомами серы, как другими соседями (0,32 нм). Полученные параметры трехатомного потенциала подтверждают указанные выше закономерности межатомных взаимодействий в кристаллах системы As-S. В целом, усредненные параметры потенциала хорошо согласуются с энергиями связи, межатомными расстояниями и углами для взаимодействующих пар и троек атомов As-S, As-As, As-S-As, As-As-As, но плохо коррелируют с локальными энергетическими и структурными параметрами пар и троек S-S, S-S-S, S-As-S.

**Ключевые слова:** потенциалы межатомного взаимодействия кристаллов, метод функционала плотности, система As-S

Сорокина М.М.<sup>1</sup>

### Критические $\tau$ -замкнутые $n$ -кратно $\omega$ -специальные формации конечных групп

<sup>1</sup> Сорокина Марина Михайловна, кандидат физико-математических наук, доцент, Брянский государственный университет имени И.Г. Петровского, г. Брянск, Россия

**Аннотация:** Рассматриваются формации конечных групп, т.е. классы конечных групп, замкнутые относительно взятия гомоморфных образов и подпрямых произведений. Пусть  $H$  – некоторый класс конечных групп,  $\theta$  – совокупность формаций конечных групп,  $F \in \theta$ . Формация  $F$  называется  $H_\theta$ -критической, если  $F$  не содержится в  $H$ , но всякая собственная  $\theta$ -подформация из  $F$  в классе  $H$  содержится. Общая проблема изучения  $H_\theta$ -критических формаций впервые была поставлена Л.А. Шеметковым на VI Всесоюзном симпозиуме по теории групп в 1980 году. Настоящая статья посвящена изучению  $H_\theta$ -критических формаций в случае, когда  $\theta$  – совокупность всех  $\tau$ -замкнутых  $n$ -кратно  $\omega$ -специальных формаций конечных групп.

**Ключевые слова:** конечная группа, класс групп, формация групп,  $H_\theta$ -критическая формация,  $\omega$ -всерная формация, подгрупповой функтор.

Теория классов конечных групп представляет собой один из интенсивно развивающихся разделов современной алгебры. Центральное место в данной теории занимают формации – классы групп, замкнутые относительно взятия гомоморфных образов и подпрямых произведений. Фундаментальные результаты о формациях групп представлены в монографиях Л.А. Шеметкова [11] и А.Н. Скибы [7].

При исследовании формаций конечных групп на протяжении последних десятилетий большое внимание уделялось изучению локальных формаций, введенных в рассмотрение В. Гашюцем в 1963 году [15]. В основе понятия

локальной формации лежит функциональный подход. Пусть  $P$  – множество всех простых чисел,  $f$  – отображение множества  $P$  во множество всех формаций конечных групп. Тогда  $F = (G: G/F_p(G) \in f(p))$ , для всех  $p \in \pi(G)$  – локальная формация со спутником  $f$ , где  $F_p(G) = G_p N_p$  – радикал группы  $G$ . Естественным обобщением понятия локальности формации явилось понятие частичной локальности ( $\omega$ -локальности), введенное Л.А. Шеметковым в 1984 году [14]. В 1987 году А.Н. Скиба ввел в рассмотрение понятие  $n$ -кратно локальной формации [8]. Принципиально новый

функциональный подход к изучению формаций был предложен В.А. Ведерниковым в 1999 году [1]. Данный подход базируется на понятии направления формации и позволяет построить бесконечное множество новых типов так называемых  $\omega$ -веерных формаций [2]. При этом  $\omega$ -локальные формации представляют один из видов  $\omega$ -веерных формаций с фиксированным направлением. Важным видом  $\omega$ -веерных формаций являются  $\omega$ -специальные формации, изучению которых посвящена настоящая работа.

В 1980 году Л.А. Шеметковым на VI Всесоюзном симпозиуме по теории групп была поставлена общая проблема изучения  $H_\theta$ -критических формаций [13]. Пусть  $H$  – некоторый класс групп,  $\theta$  – совокупность формаций,  $F \in \theta$ . Формация  $F$  называется  $H_\theta$ -критической, если  $F$  не содержится в  $H$ , но всякая собственная  $\theta$ -подформация из  $F$  в классе  $H$  содержится. В серии работ (см., например, [9]) А.Н. Скиба получил описание  $H_\theta$ -критических формаций в случае, когда  $\theta$  – совокупность всех локальных формаций конечных групп, а  $H$  – локальная формация классического типа. Исследованием критических  $n$ -кратно  $\omega$ -локальных формаций занимались А.Н. Скиба и его ученики (см., например, [5, 6]). В работе [10] изучены критические  $n$ -кратно  $\omega$ -веерные формации.

Исследования в теории классов конечных групп выявили тесную взаимосвязь между подгрупповыми функторами и классами групп [3]. Пусть  $\tau$  – подгрупповой функтор. Формация  $F$  называется  $\tau$ -замкнутой, если со всякой своей группой  $G$  формация  $F$  содержит и все ее  $\tau$ -подгруппы. В монографии [7] представлены результаты о критических  $\tau$ -замкнутых локальных формациях. В работе [4] получено описание критических  $\tau$ -замкнутых  $\omega$ -веерных формаций. Настоящая статья посвящена изучению критических  $\tau$ -замкнутых  $n$ -кратно  $\omega$ -специальных формаций конечных групп.

Рассматриваются только конечные группы. Основные определения и обозначения можно найти в [2, 3, 7]. Приведем лишь некоторые из них. Запись  $G = [A]B$  означает, что группа  $G$  есть полупрямое произведение своих подгрупп  $A$  и  $B$ , где  $A$  – нормальная подгруппа группы  $G$ . Монолитической группой называется группа, имеющая единственную минимальную нормальную подгруппу (монолит). Пусть  $P$  – множество всех простых чисел,  $\omega$  – непустое

подмножество множества  $P$ ,  $G_\omega$  – класс всех  $\omega$ -групп, то есть таких групп  $G$ , что  $\pi(G) \subseteq \omega$ , где  $\pi(G)$  – множество всех простых делителей порядка группы  $G$ ;  $G_{q'}$  – класс всех  $q'$ -групп;  $S_{cp}$  – класс всех групп, у которых каждый главный  $p$ -фактор централен. Через  $G_{Z_p}$  обозначается класс всех  $Z_p$ -групп, то есть таких групп  $G$ , что  $K(G) \cap (Z_p) = \emptyset$ , где  $K(G)$  – класс всех групп, изоморфных композиционным факторам группы  $G$ ,  $(Z_p)$  – класс групп, порожденный простой  $p$ -группой  $Z_p$ .

Пусть  $H$  и  $F$  – классы групп. Тогда  $HF = (G : G \text{ имеет нормальную подгруппу } N \in H \text{ с } G/N \in F)$ . Через  $G_F$  обозначается  $F$ -радикал группы  $G$ , где  $F$  – непустой класс Фиттинга;  $O_\omega(G)$  –  $G_\omega$ -радикал группы  $G$ . Функции  $f : \omega \cup \{\omega'\} \rightarrow \{\text{формации групп}\}$  и  $\delta : P \rightarrow \{\text{непустые формации Фиттинга}\}$  называются соответственно  $\omega F$ -функцией и  $PFR$ -функцией. Формация  $\omega F(f, \delta) = (G : G/O_\omega(G) \in f(\omega') \text{ и } G/G_{\delta(p)} \in f(p) \text{ для всех } p \in \omega \cap \pi(G))$  называется  $\omega$ -веерной формацией с  $\omega$ -спутником  $f$  и направлением [2]. Направление  $\delta$   $\omega$ -веерной формации называется  $bP$ -направлением, если оно является  $b$ -направлением, т.е.  $\delta(q)N_q = \delta(q)$  для любого  $q \in P$ ; и является  $p$ -направлением, т.е.  $G_q \delta(q) = \delta(q)$  для любого  $q \in P$ . Через  $\delta_0$  обозначается направление  $\omega$ -полной формации, то есть  $\delta_0(p) = G_{p'}$  для всех  $p \in P$ ;  $\delta_1$  – направление  $\omega$ -локальной формации, то есть  $\delta_1(p) = G_p N_p$  для всех  $p \in P$ ;  $\delta_2$  – направление  $\omega$ -специальной формации, то есть  $\delta_2(p) = G_{Z_p} N_p$  для всех  $p \in P$ ;  $\delta_3$  – направление  $\omega$ -центральной формации, то есть  $\delta_3(p) = S_{cp}$  для всех  $p \in P$  [2]. Пусть  $\psi_1$  и  $\psi_2$  – произвольные  $\omega F$ -функции ( $PFR$ -функции). Говорят, что  $\psi_1 \leq \psi_2$ , если  $\psi_1(p) \subseteq \psi_2(p)$  для всех  $p \in \omega \cup \{\omega'\}$  (для всех  $p \in P$ ) [1].

Пусть  $\tau$  – отображение, ставящее в соответствие каждой группе  $G$  некоторую непустую систему  $\tau(G)$  ее подгрупп. Говорят, что  $\tau$  – подгрупповой функтор, если  $\tau(G)^\varphi = \tau(G^\varphi)$  для любого изоморфизма  $\varphi$  каждой группы  $G$ .



Подгрупповой функтор  $\tau$  называется регулярным, если выполняются следующие два условия:

1) из того, что  $N$  – нормальная подгруппа группы  $G$  и  $M \in \tau(G)$ , следует  $MN/N \in \tau(G/N)$ ;

2) из  $M/N \in \tau(G/N)$  следует  $M \in \tau(G)$  (см., например, [3]).

Пусть  $\delta$  – некоторая PFR-функция. Подгрупповой функтор  $\tau$  называется  $\delta$ -радикальным, если для всякой группы  $G$  и для всякой  $N \in \tau(G)$  справедливо равенство  $G_{\delta(p)} \cap N = N_{\delta(p)}$ , для всех  $p \in P$ .

Формация  $F$  называется  $\tau$ -замкнутой, если из  $G \in F$  всегда следует, что  $\tau(G) \subseteq F$  [7].  $\omega$ -спутник  $f$   $\omega$ -веерной формации называется  $\tau$ -замкнутым, если для любого  $p \in \omega \cup \{\omega'\}$  формация  $f(p)$  является  $\tau$ -замкнутой. Следующая лемма устанавливает взаимосвязь между  $\tau$ -замкнутостью  $\omega$ -веерной формации и  $\tau$ -замкнутостью ее  $\omega$ -спутника.

Лемма 1 [4]. Пусть  $F$  –  $\omega$ -веерная формация с  $br$ -направлением  $\delta$ ,  $\delta \leq \delta_3$ ,  $\tau$  – регулярный  $\delta$ -радикальный подгрупповой функтор. Формация  $F$  является  $\tau$ -замкнутой тогда и только тогда, когда  $F$  обладает хотя бы одним  $\tau$ -замкнутым  $\omega$ -спутником.

Пусть  $\delta$  – произвольная PFR-функция,  $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ . Всякую формацию считают  $0$ -кратно  $\omega$ -веерной с направлением  $\delta$ . При  $n \neq 0$  формация  $F$  называется  $n$ -кратно  $\omega$ -веерной с направлением  $\delta$ , если  $F$  имеет хотя бы один  $\omega_{(n-1)}$ -спутник, то есть такой  $\omega$ -спутник, все значения которого являются  $(n-1)$ -кратно  $\omega$ -веерными формациями с направлением  $\delta$ .

Через  $\tau \omega F_n(X, \delta)$  обозначается  $\tau$ -замкнутая  $n$ -кратно  $\omega$ -веерная формация с направлением  $\delta$ , порожденная множеством групп  $X$ ,  $\omega F_n^r(X, \delta)$  –  $n$ -кратно  $\omega$ -веерная формация с направлением  $\delta$ , обладающая хотя бы одним  $\tau$ -замкнутым  $\omega$ -спутником, порожденная множеством групп  $X$ . Формацию  $\tau \omega F_n(X, \delta_2)$  обозначают через  $\tau \omega S_n(X)$ .

Пусть  $\delta$  –  $br$ -направление  $\omega$ -веерной формации,  $\delta \leq \delta_3$ ,  $\tau$  – регулярный  $\delta$ -радикальный подгрупповой функтор,  $X$  – совокупность

групп. Тогда, ввиду леммы 1, справедливо равенство  $\tau \omega F_n(X, \delta) = \omega F_n^r(X, \delta)$ .

Доказательство следующей леммы проводится аналогично доказательству теоремы 5 [1].

Лемма 2. Пусть  $n \in \mathbb{N}$ ,  $X$  – непустой класс групп,  $\tau$  – регулярный подгрупповой функтор,  $F = \omega F_n^r(X, \delta)$ , где  $\delta_0 \leq \delta$ . Тогда формация  $F$  обладает единственным минимальным  $\tau$ -замкнутым  $\omega_{(n-1)}$ -спутником  $f$  таким, что

$$f(\omega') = \tau \omega F_{(n-1)}((G/O_\omega(G) : G \in X), \delta),$$

$$f(p) = \tau \omega F_{(n-1)}((G/G_{\delta(p)} : G \in X), \delta),$$

для всех  $p \in \omega \cap \pi(X)$ ,

$$f(p) = \emptyset, \text{ если } p \in \omega \setminus \pi(X).$$

Пусть  $H$  – некоторый класс групп,  $n \in \mathbb{N}$ .  $\tau$ -замкнутая  $n$ -кратно  $\omega$ -веерная формация  $F$  с направлением  $\delta$  называется  $H_{\tau \omega, \delta}$ -критической формацией, если  $F \not\subseteq H$ , но все собственные  $\tau$ -замкнутые  $n$ -кратно  $\omega$ -веерные подформации с направлением  $\delta$  из  $F$  в классе  $H$  содержатся. В следующей теореме изучается строение критических  $\tau$ -замкнутых  $n$ -кратно  $\omega$ -специальных формаций конечных групп.

Теорема 1. Пусть  $n \in \mathbb{N}$ ,  $\tau$  – регулярный  $\delta_2$ -радикальный подгрупповой функтор,  $H$  – непустая  $\tau$ -замкнутая  $\omega$ -специальная формация с максимальным внутренним  $\omega$ -спутником  $h$ ,  $F$  –  $\tau$ -замкнутая  $n$ -кратно  $\omega$ -специальная формация с минимальным  $\omega_{(n-1)}$ -спутником  $f$ . Если формация  $F$  является  $H_{\tau \omega, \delta_2}$ -критической, то  $F = \tau \omega S_n(G)$ , где  $G$  – монолитическая группа с монолитом  $P = G^H$ , причем если  $\pi(P) \subseteq \omega$ , то формация  $f(p)$  является  $h(p)_{\tau \omega_{(n-1)}, \delta_2}$ -критической для некоторого  $p \in \pi(P)$ , а если  $\pi(P) \not\subseteq \omega$ , то  $f(\omega')$  является  $h(\omega')_{\tau \omega_{(n-1)}, \delta_2}$ -критической формацией.

Доказательство. Пусть  $F$  –  $H_{\tau \omega, \delta_2}$ -критическая формация и  $G$  – группа наименьшего порядка из  $F \setminus H$ . Тогда  $G$  является монолитической группой с монолитом  $P = G^H$  и  $F = \tau \omega S_n(G)$ . По лемме 1  $f(\omega') = \tau \omega S_{(n-1)}(G/O_\omega(G))$ ,  $f(p) = \tau \omega S_{(n-1)}(G/G_{G_{Z_p} N_p})$ , для всех  $p \in \omega \cap \pi(G)$  и  $f(p) = \emptyset$ , если  $p \in \omega \setminus \pi(G)$ . Согласно теореме 6 [2]  $h(\omega') = H$  и для любого  $p \in \omega$  справедливо  $h(p) = N_p h(p) = N_p h_1(p)$ ,

где  $h_1$  – произвольный внутренний  $\omega$ -спутник формации  $H$ .

Пусть  $\pi(P) \subseteq \omega$ . Предположим, что  $f(q) \subseteq h(q)$  для любого  $q \in \pi(P)$ . Тогда из  $G \in F$  следует  $G/G_{Z_q, N_q} \in f(q) \subseteq h(q)$  для всех  $q \in \pi(P)$ . Кроме того,  $G/P \in H$  и, ввиду  $P \subseteq O_\omega(G)$ , имеем  $G/O_\omega(G) \in H = h(\omega')$ . Согласно лемме 2 [2]  $G \in H$ , что невозможно. Поэтому существует такое  $p \in \pi(P)$ , что  $f(p) \not\subseteq h(p)$ . Покажем, что формация  $f(p)$  является  $h(p)_{\tau\omega_{(n-1)}\delta_2}$ -критической.

Рассмотрим случай, когда  $h(p) = \emptyset$ . Пусть  $h_2$  – минимальный  $\tau$ -замкнутый  $\omega$ -спутник формации  $H$ . Допустим, что  $p \in \pi(H)$ . Тогда по лемме 2  $h_2(p) \neq \emptyset$  и поэтому  $h(p) = N_p h_2(p) \neq \emptyset$ . Противоречие. Следовательно,  $p \notin \pi(H)$  и  $Z_p \notin H$ . Так как  $p \in \omega \cap \pi(G)$ , то  $f(p) \neq \emptyset$ . Ввиду леммы 7 [2],  $Z_p \in N_p \subseteq N_p f(p) \subseteq F$ . Таким образом,  $Z_p \in F \setminus H$ , и значит,  $G = Z_p$ . Кроме того,  $Z_p = (Z_p)_{G_{Z_p, N_p}}$  и  $f(p) = (1)$ . Тем самым установлено, что формация  $f(p)$  является  $h(p)_{\tau\omega_{(n-1)}\delta_2}$ -критической.

Пусть теперь  $h(p) \neq \emptyset$  и  $M$  – собственная  $\tau$ -замкнутая  $(n-1)$ -кратно  $\omega$ -специальная подформация из  $f(p)$ . Предположим, что  $M \not\subseteq h(p)$  и  $M$  – группа минимального порядка из  $M \setminus h(p)$ . Тогда  $M$  является монолитической группой с монолитом  $R = M^{h(p)}$ . Допустим, что  $R \subseteq O_p(M)$ . Тогда  $M \in N_p h(p) = h(p)$ , что

невозможно. Следовательно,  $O_p(M) = 1$  и по лемме 18.8 [12] существует точный неприводимый  $F_p[M]$ -модуль  $K$ . Пусть  $T = [K]M$ . Тогда группа  $T$  монолитична с монолитом  $K = C_T(K)$ . Это означает, что  $K = T_{G_{Z_p, N_p}}$ . Поэтому, ввиду леммы 7 [2],  $T \in N_p M \subseteq N_p f(p) \subseteq F$ , и значит,  $\tau\omega S_n(T) \subseteq F$ . Если  $\tau\omega S_n(T) = F$ , то  $f(p) = \tau\omega S_{(n-1)}(T/T_{G_{Z_p, N_p}}) = \tau\omega S_{(n-1)}(M) \subseteq M$ , что невозможно. Поэтому  $\tau\omega S_n(T) \subset F$ , и значит,  $\tau\omega S_n(T) \subseteq H$ . Тогда  $M \cong T/T_{G_{Z_p, N_p}} \in h(p)$ . Противоречие. Следовательно,  $M \subseteq h(p)$  и формация  $f(p)$  является  $h(p)_{\tau\omega_{(n-1)}\delta_2}$ -критической.

Пусть  $\pi(P) \not\subseteq \omega$ . Покажем, что в этом случае  $f(\omega')$  –  $h(\omega')_{\tau\omega_{(n-1)}\delta_2}$ -критическая формация. Так как  $P \not\subseteq O_\omega(G)$ , то  $f(\omega') = \tau\omega S_{(n-1)}(G) \not\subseteq H = h(\omega')$ . Пусть  $M$  – собственная  $\tau$ -замкнутая  $(n-1)$ -кратно  $\omega$ -специальная подформация из  $f(\omega')$  и  $M_1 = \tau\omega S_n(M)$ . Из  $M \subset f(\omega') \subseteq F$  получаем  $M_1 \subseteq F$ . Если  $M_1 = F$ , то  $f(\omega') = \tau\omega S_{(n-1)}(M/O_\omega(M) : M \in M) \subseteq M \subset f(\omega')$ . Противоречие. Следовательно,  $M_1 \subset F$ , и значит,  $M_1 \subseteq H$ . Поэтому  $M \subseteq H = h(\omega')$  и формация  $f(\omega')$  является  $h(\omega')_{\tau\omega_{(n-1)}\delta_2}$ -критической. Теорема доказана.

### Литература

1. Ведерников В.А., Сорокина М.М.  $\omega$ -всерные формации и классы Фиттинга конечных групп. Препринт. – Брянск: БГПУ. – 1999. – № 6. – С. 1-22.
2. Ведерников В.А. О новых типах  $\omega$ -всерных формаций конечных групп // Укр. матем. конгресс. Алг. і теор. чисел. Праці. – Киев. – 2002. – С. 36-45.
3. Каморников С.Ф., Селькин М.В. Подгрупповые функторы и классы конечных групп. – Минск: Беларуская навука. – 2003. – 254 с.
4. Корпачева М.А., Сорокина М.М. Критические  $\omega$ -всерные  $\tau$ -замкнутые формации конечных групп // Дискретная математика. – 2011. – Т. 23. – Вып. 1. – С. 94-101.
5. Сафонова И.Н. О минимальных  $\omega$ -локальных не  $H$ -формациях // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 1999. – № 2. – С. 23-27.
6. Селькин В.М., Скиба А.Н. О  $H_{\omega}$ -критических формациях // Вопросы алгебры. – Гомель: Изд-во Гомельского ун-та. – 1999. – Вып. 14. – С. 127-131.
7. Скиба А.Н. Алгебра формаций. – Минск: Беларуская навука. – 1997. – 240 с.
8. Скиба А.Н. Характеризация конечных разрешимых групп заданной нильпотентной длины // Вопросы алгебры. – Минск. – 1987. – Вып. 3. – С. 21-31.
9. Скиба А.Н. О критических формациях // Бесконечные группы и примыкающие алгебраические структуры. – Киев: ИМ АН Украины. – 1993. – С. 250-268.

10. Сорокина М.М., Корпачева М.А. Критические  $n$ -кратно  $\omega$ -вверные формации конечных групп // Вестник БГУ. – Брянск. – 2010. – С. 47-52.
11. Шеметков Л.А. Формации конечных групп. – М.: Наука. – 1978. – 272 с.
12. Шеметков Л.А., Скиба А.Н. Формации алгебраических систем. – М.: Наука. – 1989. – 256 с.
13. Шеметков Л.А. Экраны ступенчатых формаций // Тр. VI Всесоюз. Симпозиума по теории групп. – Киев: Наукова думка. – 1980. – С. 37-50.
14. Шеметков Л.А. О произведении формаций // Доклады АН БССР. – 1984. – Т. 28. – N 2. – С. 101-103.
15. Gaschütz W. Zur Theorie der endlichen auflösbaren Gruppen // Math. Z. – 1963. – Т. 80. – N 4. – P. 300-305.

**Sorokina M.M.**

**Critical  $\tau$ -closed  $n$ -multiply  $\omega$ -special formations of finite groups**

**Abstract:** Theory of classes of finite groups is one of the rapidly developing sections of the modern algebra. Formations hold the central place in this theory, i.e. classes of groups closed under homomorphic images and subdirect products. Fundamental results of formations of finite groups are set out in the book «Formations of Finite Groups» of L.A. Shemetkov and in the book «The algebra of formations» of A.N. Skiba. In the study of formations of finite groups over the past decades much attention was paid to the local formations introduced in consideration by W. Gaschutz in 1963. The notion of local formation is a functional approach. Let  $P$  be the set of all prime numbers,  $f$  – a mapping of the set  $P$  into the set of all formations of finite groups. Then  $F = (G : G/F_p(G) \in f(p), \text{ for all } p \in \pi(G))$  is the local formation with the satellite  $f$ , where  $F_p(G)$  is  $G_{p'}N_p$ -radical of  $G$ . Natural generalization of the concept of locality of the formation was partial locality ( $\omega$ -locality), introduced by L.A. Shemetkov in 1984. In 1987 A.N. Skiba introduced the concept of a multiple-local formation. A principally new functional approach to the study of formations was proposed by V.A. Vedernikov in 1999. This approach is based on the notion of the direction of formation and allows us to construct an infinite set of new types of so-called  $\omega$ -fibered formations. At the same time, local formations are one of the types of  $\omega$ -fibered formations with a fixed direction. An important type of  $\omega$ -fibered formations are  $\omega$ -special formations, which is devoted to the study in this paper. In 1980 L.A. Shemetkov at the VI All-Union Symposium on Group Theory posed the general problem of studying the  $H_\theta$ -critical formations. Let  $H$  be a class of groups,  $\theta$  – a set of formations,  $F \in \theta$ . Formation  $F$  is called the  $H_\theta$ -critical, if  $F$  not contained in  $H$ , but every proper  $\theta$ -subformation of  $F$  contains in  $H$ . In a series of papers A.N. Skiba obtained a description of the  $H_\theta$ -critical formations in the case  $\theta$  – a set of all local formations, and  $H$  – local formation of the classical type. Study of critical  $n$ -multiple  $\omega$ -local formations were engaged A.N. Skiba and his followers. Sorokina M.M. and Korpachova M.A. studied critical  $n$ -multiple  $\omega$ -fibered formations. Researches in the theory of classes of finite groups shown a strong relationship between the subgroup functors and classes of groups. Let  $\tau$  be a subgroup functor. The formation  $F$  is called  $\tau$ -closed if formation  $F$  with every its group  $G$  contains all  $\tau$ -subgroups of  $G$ . In the book «The algebra of formations» of A.N. Skiba presented the results on the critical  $\tau$ -closed local formations. This article is devoted to the study of critical  $\tau$ -closed  $n$ -multiple  $\omega$ -special formations of finite groups.

**Key words:** finite group, class of groups, formation of groups,  $H_\theta$ -critical formation,  $\omega$ -fibered formation, subgroup functor.

<sup>1</sup> Shvachych G. G., Doctor of engineering sciences, Professor

<sup>2</sup> Konovalenkov V. S. candidate of technical Sciences, associate Professor

<sup>3</sup> Tkach M. A. manager of laboratory

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk,

**Abstract:** The aim of this work is to construct a numerical-analytical method of designing efficient algorithms for solution of tasks having the parabolic type. Using a priori information about the smoothness of solutions, great attention is paid to the construction of solutions of high -order accuracy.

**Keywords:** numerical-analytical method, parabolic type, solutions of high-order accuracy.

Creation of parallel computing systems required the development of mathematical concepts for constructing parallel algorithms, i.e. algorithms adapted for implementation in these systems. As the basis for constructing the parallel algorithm we can take both: a sequential algorithm and the task itself as well [2, 3]. The most sensible at parallelization of sequential algorithm is pragmatic approach; actually sequential algorithms detect common elements which further are transformed to a parallel form.

The numerical and analytical schemes consider the example of the boundary value problem for the heat equation with constant coefficients. E.g. we want to find a solution in the area  $\{0 \leq x < x_L, 0 < t \leq T\}$  [4]:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2}, \quad (1)$$

which satisfies the initial condition

$$Y(x, 0) = \varphi(x) \quad (2)$$

and the boundary conditions

$$Y(0, t) = \mu_0(t), \quad Y(x_L, t) = \mu_L(t) \quad (3)$$

Here  $\mu_0(t)$ ,  $\mu_L(t)$ ,  $\varphi(x)$  – are given functions.

It is known that under certain assumptions of the smoothness problem (1) - (3) has a unique solution [4].

We propose to apply the net on value x with the step between nodes equal to.

$$Dx_1 = \frac{x_L}{2m}, \quad p=1, 2m-1, \quad m \in Z, \quad (4)$$

where m - is the integer parameter sampling. For uniformly distributed nodes

$$\begin{cases} Dx_1 = x_p - x_{p-1} = const, \\ x_p = x_{p-1} + p \cdot Dx_1, \quad p=1, 2m-1. \end{cases} \quad (5)$$

On the basis of prior information required function is represented as a Taylor series:

$$Y_{p+\varepsilon_x, 1}(t, x) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_x^n \cdot Y_{p, n+1}(t), \quad (6)$$

with

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{x - x_p}{x_{p+1} - x_p} \in [+1, -1], \\ Y_{p, n+1} = \frac{Dx_1^n}{n!} \cdot \frac{\partial Y}{\partial x^n} \Big|_{x=x_p} \end{cases} .$$

After agreement (6) with equation (1) and equating the coefficients of equal powers we receive  $\varepsilon_x^n$ , the system of ordinary differential equations (SODE)

$$Y'_{p, n+1}(t) = \frac{(n+1)(n+2)}{Dx_1^2} \cdot Y_{p, n+3}(t) \quad (7)$$

having the form of Cauchy

$$Y_{p, n+1}(0) = \varphi_{p, n+1}, \quad (8)$$

Where  $\varphi_{p, n+1}$  – are the known values of the Taylor component of the initial function (2).

Let restrict a finite number of terms  $n=N$  series in the right side of the Taylor series (6), so we obtain

$$Y_{p+\varepsilon_x, 1}(x, t) = \sum_{n=0}^N \varepsilon_x^n \cdot Y_{p, n+1}(t), \quad (9)$$

Where N – is the integer number .To approximate equation (1) in the point  $(x_p, t)$  we will consider the closing connection

$$\begin{Bmatrix} Y_{p, N+1} \\ Y_{p, N} \end{Bmatrix} \quad (10)$$

We suppose that in (9)  $\varepsilon_x = \pm 1$  and thus we obtain on the three-point template the system of two algebraic equations

$$\begin{cases} Y_{p, N+1} + Y_{p, N} = \left[ Y_{p+1, 1} - \sum_{n=0}^{N-2} Y_{p, n+1} \right], \\ Y_{p, N-1} - Y_{p, N-1} = (-1)^N \cdot \left[ Y_{p-1, 1} - \sum_{n=0}^{N-2} (-1)^n \cdot Y_{p, n+1} \right]. \end{cases} \quad (11)$$

We find

$$\begin{Bmatrix} Y_{p, N+1} \\ Y_{p, N} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left[ Y_{p+1, 1} \pm (-1)^N \cdot Y_{p-1, 1} \right] - \sum \varphi_n^\pm \cdot Y_{p, n+1} \right\}, \quad (12)$$

Where

$$\varphi_n^\pm = 1 + (-1)^{n+N}, \quad N = 2, 3, 4, \dots \quad (13)$$

are normalizing factors.

For  $N = 2$   $n = \overline{0, 1}$  we have

$$\begin{cases} Y_{p,2} = \frac{1}{2} \cdot [Y_{p+1,1} - Y_{p-1,1}] \\ Y_{p,3} = \frac{1}{2} \cdot \{ [Y_{p+1,1} + Y_{p-1,1}] - 2 \cdot Y_{p,1} \} \end{cases} \quad (14)$$

After substituting (14) into (7) we obtain the SODE

$$Y'_{p,1}(t) = \frac{1}{Dx1^2} \cdot \{ [Y_{p+1,1}(t) + Y_{p-1,1}(t)] - 2Y_{p,1}(t) \}, \quad (15)$$

$$p = \overline{1, 2m-1},$$

Where  $\{ Y_{0,1}(t), Y_{2m,1}(t) \}$  are the boundary functions of the first kind

For  $N = 3$  and the significance of the relations (7) and (14) we obtain the higher-order SODE

$$\begin{cases} Y'_{p,1}(\tau) = \frac{1}{2 \cdot Dx1^2} \cdot [Y_{p+1,2}(\tau) - Y_{p-1,2}(\tau)], \\ Y'_{p,2}(\tau) = \frac{1}{Dx1^2} \cdot [Y_{p+1,2}(\tau) + Y_{p-1,2}(\tau) - 2Y_{p,2}(\tau)], \end{cases} \quad (16)$$

where

$$\begin{cases} Y_{0,2}(\tau) = Dx1 \cdot gW(\tau), \\ Y_{2m,2}(\tau) = Dx1 \cdot gL(\tau), \end{cases} \quad (17)$$

are known boundary functions of the second kind.

Note that the developed approach includes conventional finite-difference methods in a special case. Scheme (15) coincides with the classical Dirichlet problem, and the circuit (16) with the Neumann problem. The problem (16) is characterized by the fact that the transmission of information on the boundaries of the area in the natural scheme is implemented through internal point accurately without reducing the order of approximation.

With the increase of  $N$  - order reducing the approximation orders of closing bonds (12) also increases. Note that the integration of SODE (15) - (17) having the Cauchy form with explicit methods is the most advanced procedure. The variety of standard programs allows us to consider this process as an elementary. From the point of view of cost effectiveness depending on operations' number for the mentioned above methods cannot be improved.

The developed numerical and analytical procedure for discretization can be simply generalized to other types of differential equations of mathematical physics. In particular, in the stationary problems it is easier to localize features in the regions of smoothness using schemes of high order accuracy.

The value of the order of approximation in conjunction with carrying out the calculation on the

shredder grids allows to focus in assessing the calculation accuracy.

We will show how to formulate the algorithm of approximate calculations based on the operations with functions as well as with formulas.

In the construction of a computational algorithm (13) - (17) we used a priori information available to the task, and first of all information about belonging to a particular class of functions' smoothness which describe the task. Smoothness is determining feature of the diameters' size. The values of the diameters give an idea of the best possible accuracy for the computational algorithm [1].

Let us introduce Cauchy data as dependent variables

$$\{ Y_{p,1}(t), Y_{p,2}(t) \}, \quad p = \overline{1, 2m-1}. \quad (18)$$

Rewriting SODE (4) as follows

$$Y_{p,n+3}(t) = \frac{Dx1^{2n}}{(n+1)(n+2)} Y'_{p,n+1}(t). \quad (19)$$

From (18), (19) we receive

$$\begin{cases} Y_{p,3}(t) = \frac{Dx1^2}{2!} Y_{p,1}^{(1)}(t), \\ Y_{p,4}(t) = \frac{Dx1^2}{3!} Y_{p,2}^{(1)}(t), \\ Y_{p,5}(t) = \frac{Dx1^4}{4!} Y_{p,1}^{(1)}(t), \\ Y_{p,6}(t) = \frac{Dx1^6}{6!} Y_{p,2}^{(1)}(t), \\ \dots \end{cases} \quad (20)$$

Thus, the general solution of (6) can be represented as follows

$$Y_{p+\varepsilon_x,1}(t, x) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_x^{2n} \cdot \frac{Dx1^{2n}}{(2n)!} \cdot Y_{p,1}^{(n)}(t) + \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_x^{2n+1} \cdot \frac{Dx1^{2n+1}}{(2n+1)!} \cdot Y_{p,2}^{(n)}(t). \quad (21)$$

The first term of (21) satisfies the adiabatic wall, and the second one satisfies the conditions of the wall at a constant temperature.

In the algebraic area the mathematical model in the form of Cauchy data duplexing

$$\sum_{n=0}^{\infty} Y_{p,1}^{(n)}(t) \cdot \frac{Dx1^{2n}}{(2n)!} = \frac{1}{2} [Y_{p+1,1}(t) + Y_{p-1,1}(t)], \quad (22)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} Y_{p,2}^{(n)}(t) \cdot \frac{Dx1^{2n+1}}{(2n+1)!} = \frac{1}{2} [Y_{p+1,2}(t) + Y_{p-1,2}(t)] \quad (23)$$

In general we have the rapid convergence of infinite series (22), (23) at physically realizable of the variables. For example, if the derivatives of  $Y_{p,1}(t)$ ,  $Y_{p,2}(t)$  are limited by derivatives of the exponential functions, this is a confirming of term

by term differentiation which is used in the analysis. However, in practical cases, the series must converge quickly enough to be able to confine to a few initial terms of the series.

Example. Let us consider a solid plate with a stepped increase in the surface temperature:

$$\begin{cases} Y_{0,4}(t)=1, Y_{2m,1}(t)=1, x_{2m}=2, \\ Y_{m,1}(t) - \text{average surface} \\ \varepsilon_x \in [-1, +1] \end{cases} \quad (24)$$

Taking in account that  $\varepsilon_x|_{x=0}$  and the symmetry of the problem at coordinate, we have  $Y_{m,2}=0, Dx1=1$ . To define  $Y_{m,1}$  we use outer boundary conditions on the surface  $\varepsilon_x = \pm 1$ . From the infinite sum in (21) we leave only two first terms at  $n = 1$  and  $n = 2$  of the series. So we get the mathematical model

$$\begin{cases} N = 1, Y_{m,1}(t) + \frac{1}{2} Y'_{m,1}(t) = 1, \\ N = 2, Y_{m,1}(t) + \frac{1}{2} Y'_{m,1}(t) + \frac{1}{4} Y''_{m,1}(t) = 1. \end{cases} \quad (25)$$

From which we receive the result:

$$\begin{aligned} N &= 1, \\ Y_{m,1}(t) &= 1 - e^{-2t}; \\ N &= 2, \\ Y_{m,1}(t) &= 1 - 1,37 e^{-2,54t} + 1,37 e^{-9,46t}; \\ N &= \infty, \\ Y_{m,1}(t) &= 1 + \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n-1)} e^{-\frac{(2n-1)^2 \pi^2}{4} t}. \end{aligned} \quad (26)$$

When passing to the limit at  $N \rightarrow \infty$  approximate solution matches to the exact one. When  $N=2$  the computing error does not exceed 3 %. Thus, with increasing parameter N the error decreases rapidly (see Table 1).

**Table 1.**

Temperature rise on the inner surface of the plate on the outer surface

t	N=1	N=2	The exact solution
0	0	0	0
0.05	0.095	0.026	0.03
0.10	0.181	0.082	0.081
0.20	0.330	0.238	0.230
0.40	0.551	0.499	0.528
0.65	0.698	0.413	0.711
0.80	0.798	0.819	0.827
1.00	0.864	0.892	0.892

As the aim was to synthesize parallel algorithms of the method with the help of ratio (26) we obtained that the method fits into the concept of unlimited parallelism [2]. Indeed, one processor can be assigned to one node of the design, and it becomes possible to perform calculations on all nodes simultaneously.

**Literature**

1. Аначуна Н.Н. Теоретические основы и конструирование вычислительных алгоритмов задач математической физики / Н.Н. Аначуна, К.И. Бабенко, В.С. Годунов. – М.: Наука, 1979. – 296 с.
2. Воеводин В.В. Модели и методы в параллельных вычислениях / В.В. Воеводин. – М.: Наука. 1986. – 345 с.
3. Воеводин В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – С.Пб.: БХВ – Петербург, 2002. – 608 с.
4. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1966. – 724 с.

**Швачич Г.Г., Коноваленков В.С., Ткач М.А.**

**Модели параллельных вычислений на основе конструирования численно-аналитических схем**

**Аннотация:** Работа посвящена построению численно-аналитическим методом конструирования эффективных алгоритмов для решения задач параболического типа. Используя априорную информацию о гладкости решения, большое внимание уделяется построению решений высокого порядка точности.

**Ключевые слова:** численно-аналитические методы, задач параболического типа, высокого порядка точности.

TECHNICAL SCIENCE

Чейлях А.П.<sup>1</sup>, Куцомеля Ю.Ю.<sup>2</sup>, Федун В.И.<sup>3</sup>, Рябикина М.А.<sup>4</sup>

Структура и свойства стали 40Х после импульсно-плазменной обработки с использованием титанового электрода

<sup>1</sup> Чейлях А.П., доктор технических наук, профессор

<sup>2</sup> Куцомеля Ю.Ю., аспирант

<sup>3</sup> Федун В.И., старший преподаватель

<sup>4</sup> Рябикина М.А., кандидат технических наук, доцент

Приазовский государственный технический университет, Мариуполь, Украина

**Аннотация:** В работе представлены результаты исследований структуры образцов из стали 40Х после импульсно-плазменной обработки (ИПО) при разных режимах, с использованием титанового электрода. Рассмотрено их влияние на толщину и качество получаемых слоев, микротвердость. С помощью математического моделирования был проведен анализ характеристик изнашивания. При участии воздуха, как рабочего газа, и высоких температур плазмы происходит диффундирование частиц стержневого катода из титанового сплава вглубь подложки и ее легирование. Структура и свойства модифицированного слоя зависят от количества импульсов плазменной обработки и введенной в разряд энергии (в пределах от 3 до 12 кДж). Время разряда составляло ~1 мс. С увеличением количества импульсов ИПО толщина и плотность слоя возрастают. Результаты микроскопических исследований поперечных сечений покрытий свидетельствуют, что минимальная толщина слоя составляет 0,014 мм (при 2 импульсах и энергии 4,6 кДж). В результате более мощного импульсно-плазменного воздействия (при 4 импульсах и энергии 12 кДж) на поверхности стали 40Х толщина слоя увеличивается до 0,076 мм. Обычно, для улучшения качества слоя и изменения структуры покрытий используют повторное воздействие плазменной струи. Четырех- и шестикратная ИПО оказывает существенное влияние на микроструктуру модифицированного слоя стали. Кроме того, увеличение кратности воздействия ИПО приводит к снижению пористости и уменьшению микротрещин. Содержание в основном металле углерода 0,37 % определяет формирование микроструктуры модифицированного слоя, предположительно, от мартенситной (твердого раствора Ti в  $\alpha$ -Fe) до мартенситно-нитридной, что позволяет повысить относительную износостойкость стали. Максимальные значения микротвердости после ИПО с применением электрода из титана – 10510 МПа достигнуты после режима: 6 импульсов и энергии 12 кДж. Применение рентгеноструктурного анализа с целью изучения характера структурно-физических процессов, происходящих в результате ИПО, показали: в модифицированном слое наблюдаются осборнит (TiN) и нитрид титана (TiN), а также мартенсит и бета-тиоксид (TiO<sub>2</sub>). Применение ИПО для нанесения покрытий из титана позволяет получать плотные многофазные покрытия, которые имеют хорошую адгезию с подложкой и высокие физико-механические свойства.

**Ключевые слова:** импульсно-плазменная обработка, конструкционная сталь, модифицированный слой, фазовый состав, свойства покрытий, износостойкость

Импульсно-плазменная обработка (ИПО) является одним из самых перспективных и изучаемых методов поверхностного упрочнения [1-3]. Между тем, ее возможности далеко не исчерпаны.

Целью работы является изучение возможности создания метастабильных фазово-структурных модификаций покрытий, полученных с помощью ИПО, для повышения функциональных свойств.

Для исследования были взяты образцы стали 40Х, обработанные с помощью импульсного электротермического аксиального плазменного ускорителя (ЭТПУ) [4, 5] с целью получения модифицированного слоя на металлической подложке. Источником питания ускорителя служил емкостной накопитель энергии (С=1,5 мФ). Длительность электрического разряда составляла 1 мс. Внутренний диаметр диэлектрической разрядной камеры ускорителя ~ 1 см. Внутренний

диаметр наружного кольцевого электрода (анода) ~ 4 см.

Материал стержневого катода – титан, был нанесен на подложку из стали 40Х размером 10 x 10 x 55 мм в среде воздуха при атмосферном давлении. ИПО проводилась по разным режимам: напряжение накопителя 2,5 кВ, 3,0 кВ, 3,5 кВ и 4,0 кВ; количество импульсов варьировалось от 1 до 6.

Исследования микроструктуры образцов из стали 40Х после ИПО проводили на шлифах поперечного сечения с помощью металлографического микроскопа «Neophot 21» при увеличениях  $\times 300$  и  $\times 1000$  крат.

При изучении влияния физико-химических процессов ИПО на микроструктуру стали 40Х использовался рентгеноструктурный анализ, который проводился на дифрактометре «Дрон-3» с излучением  $K\alpha$  меди. Съемка велась с шагом 0,02 град, идентификация рентгеновских линий производилось по таблице ASTM для ин-

тервала углов ( $20 \text{ град} < 2\theta < 90 \text{ град}$ ). В результате ИПО получен модифицированный слой на стали 40X с близким содержанием титана, различающийся толщиной полученного слоя и его качеством (однородность, пористость) в зависи-

мости от выбранного режима обработки. На рисунке 1. показана микроструктура поверхностного модифицированного слоя образцов, подвергнутых ИПО при напряжении 4,0 кВ с различным количеством импульсов.

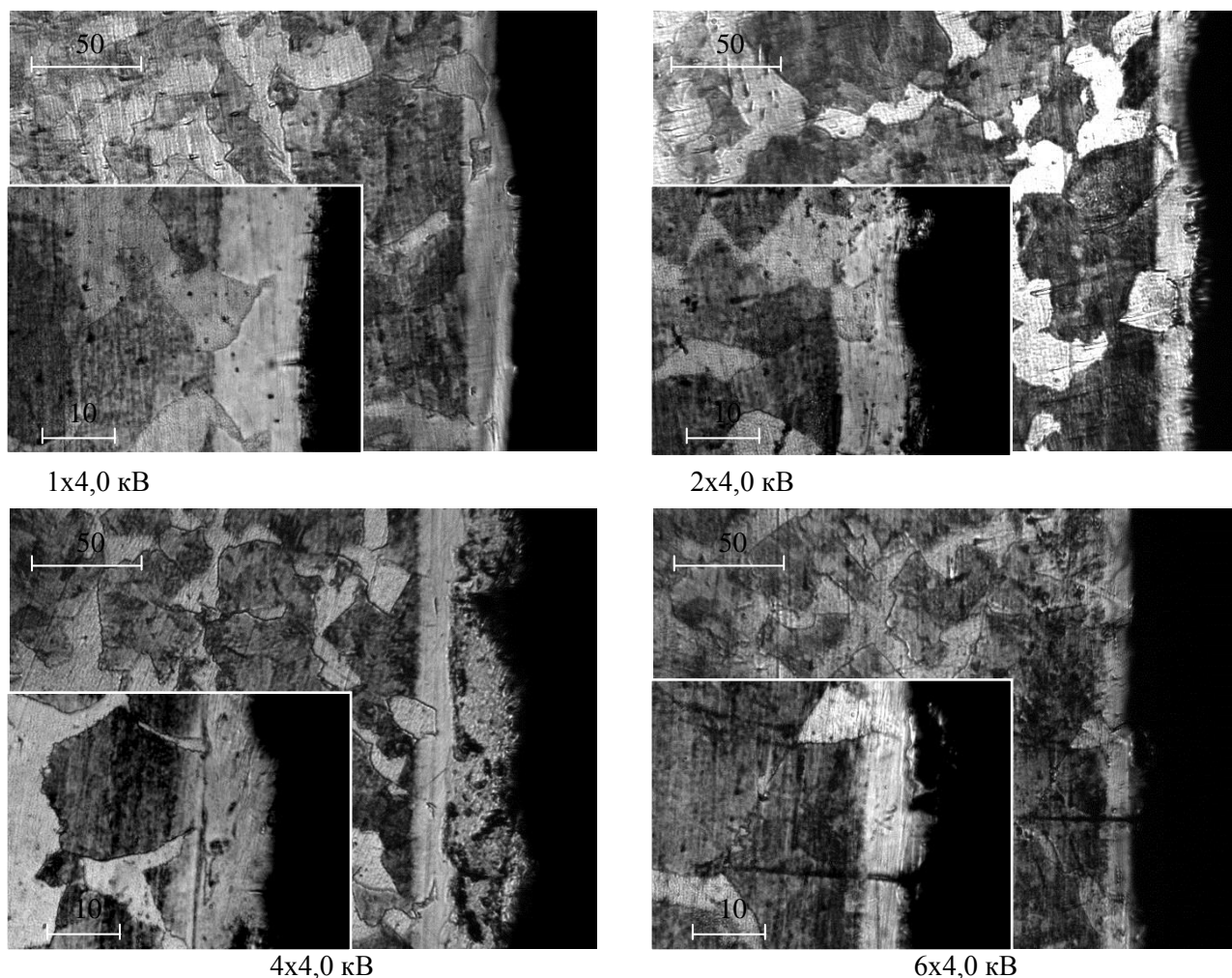


Рис. 1. Микроструктура образцов из стали 40X после ИПО с напряжением 4,0 кВ при разном количестве импульсов; материал покрытия - титан

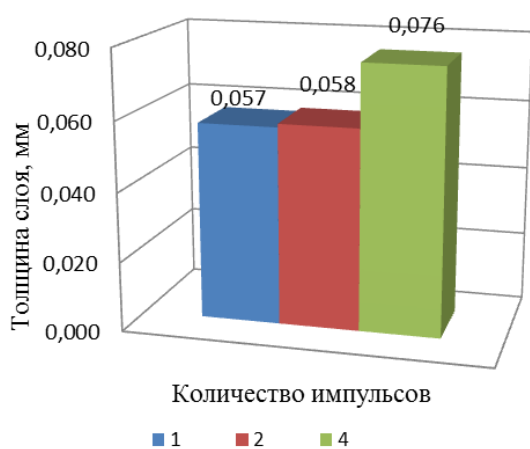


Рис. 2. Влияние количества импульсов при напряжении 4,0 кВ на толщину модифицированного слоя

Модифицированный слой различной толщины имеет светло-серый цвет, хорошо заметный

на фоне феррито-перлитной структуры основного металла – стали 40X.

При увеличении  $\times 1000$  крат внутри слоя наблюдаются отдельные элементы структуры основы (полиэдрические ферритные зерна). На границе с подложкой не наблюдается зоны взаимного перемешивания (переходной зоны) или измененной структуры. Внутри некоторых слоев видны отдельные мелкие темные точечные участки, которые могут быть включениями карбидных и нитридных частиц.

Результаты микроскопических исследований поперечных сечений покрытий свидетельствуют, что минимальная толщина слоя составляет 0,014 мм (при 2 импульсах и напряжении 2,5 кВ). В результате более мощного импульсно-плазменного воздействия (при 4 импульсах и  $U = 4 \text{ кВ}$ ) на поверхности стали 40X образуется слой толщиной до 0,076 мм. Влияние количества



импульсов на толщину слоя представлено на рисунке 2.

В большинстве случаев при одинаковом напряжении батареи толщина слоя растет с увеличением количества импульсов, что можно объяснить особенностями микроструктуры. Верхний модифицированный слой, полученный при малом количестве импульсов (1-2), предположительно представляет собой твердый раствор титана в  $\alpha$ -Fe. Можно также предположить, что на поверхности в модифицированном слое происходит мартенситное превращение, при этом ферритные зерна основы (сталь 40X) остаются без изменения.

Появление отдельных участков пересыщенного  $\alpha$ -твердого раствора (мартенсита) может быть следствием воздействия плазменной струи



а)



б)

Рис. 3. Вид плазменных струй при напряжениях на емкостном накопителе равных: а) 2,0 кВ, б) 4,0 кВ

Как видно из этого рисунка, при малом значении вводимой в разряд энергии струя плазмы имеет форму сужающегося конуса (рисунок 3а), а при большой энергии разряда наблюдается расширяющийся плазменный поток (рисунок 3б). С увеличением количества импульсов увеличивается толщина слоя, за счет появления пористости, микротвердость также незначительно растет. Вышерасположенный слой, характеризующийся пористостью и микротрещинами, при дальнейшей обработке становится более однородным (например, после 6 кратной обработки), а мартенсит (твердый раствор титана в  $\alpha$ -Fe) постепенно исчезает, или присутствует в незначительном количестве, по сравнению с обработкой 2-мя и 4-мя импульсами, т. к. возникают напряжения 3 рода; титан диффундирует внутрь образца. В результате, ближе к «переходной» зоне (границе) количество мартенсита увеличивается, далее располагается феррито-перлитная структура основного металла (см. рисунок 1).

Результаты измерения микротвердости по сечению покрытия показали, что у поверхности покрытия - расстояние 0,02 мм - микротвердость составляет 2540-10510 МПа, в зависимости от режима. Это примерно в ~2,5 раза выше, чем в подложке. С увеличением числа импульсов в це-

(температура плазмы ~10 тыс. К [5]), когда в приповерхностных слоях имеют место большие градиенты температур, приводящие к мгновенной закалке сильнолегированного титаном поверхностного слоя стального образца. Тонкий слой легированного титаном мартенсита образуется также при режимах ИПО 2 x 3,0 кВ и 2 x 3,5 кВ (количество импульсов x U).

Под такими слоями находится феррито-перлитная структура основного металла. При режиме двукратной ИПО и U = 4,0 кВ толщина светлого слоя (области мартенситного превращения) уменьшается. Наиболее вероятной причиной этого уменьшения может являться увеличение диаметра плазменной струи. Такое предположение базируется на фотографиях интегрального свечения струи (см. рисунок 3).

лом микротвердость у поверхности покрытия возрастает (рисунок 4). Максимальные значения микротвердости после ИПО по режиму 6 импульсов x U = 4,0 кВ – 10510 МПа, а микротвердость основного металла в пределах 1300 – 2000 МПа.

С целью изучения влияния микротвердости стали 40X на ее триботехнические свойства после ИПО титаном с помощью математических уравнений рассчитывали относительную абразивную износостойкость и коэффициент повышения относительной абразивной износостойкости.

Хрущов М.Н. и Бабичев М.А. экспериментально исследовали абразивный износ в нетермообработанных сталях и установили линейную зависимость износостойкость – твердость для металлов и сплавов [6]:

$$\varepsilon = b \times H \quad (1)$$

где b – постоянный коэффициент; H – микротвердость поверхностного слоя.

В работе [7] опытным путем для сталей без термической обработки получена зависимость относительной абразивной износостойкости от микротвердости:

$$\varepsilon = 6 \times 10^{-4} \times H \quad (2)$$

При этом, испытания на изнашивание проводились с использованием абразива из корунда  $Al_2O_3$ , размер частиц составлял от 50 до 180 мкм.

Для коэффициента повышения относительной износостойкости  $k$  после ИПО нами предложена формула:

$$k = \frac{\varepsilon_{сл.}}{\varepsilon_{осн.}} \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{сл.}$  и  $\varepsilon_{осн.}$  – соответственно расчетная относительная износостойкость модифицированного слоя после ИПО и основы.

Расчет  $\varepsilon_{сл.}$ ,  $\varepsilon_{осн.}$  и  $k$  проведен с помощью электронных таблиц Excel. Изменение микротвердости поверхностного слоя в зависимости от режима ИПО представлена на рисунке 6, а основы – принята усредненная ее величина 2000 МПа. Результаты расчета представлены на рисунках 7 и 8.

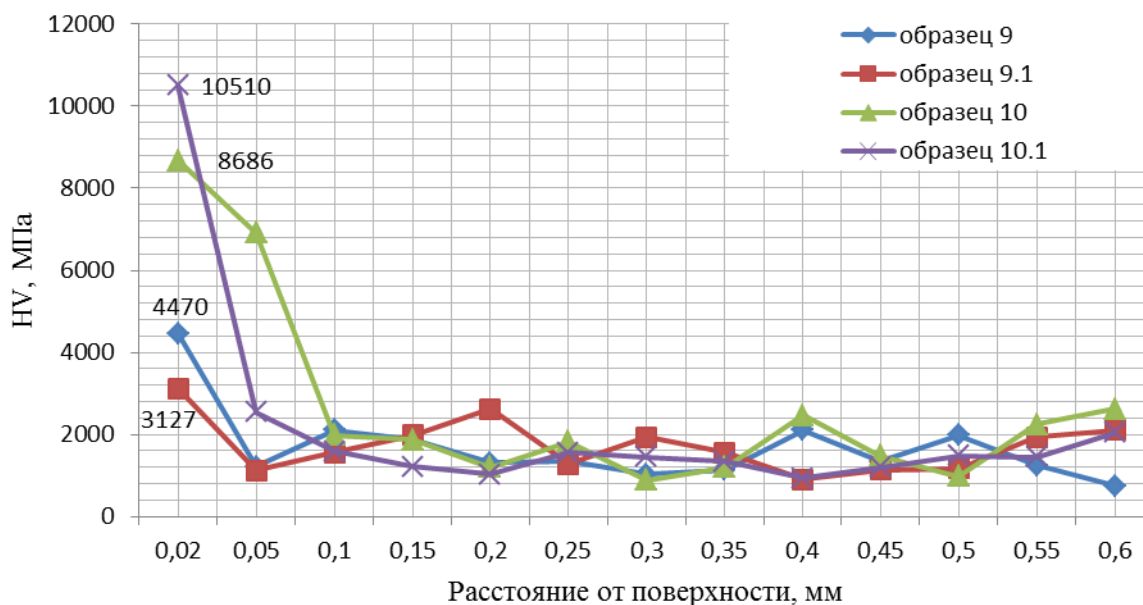


Рис. 4. Изменение микротвердости по глубине образцов стали 40Х после импульсно-плазменной обработки по различным режимам (количество импульсов  $\times$  U, кВ): 9 – 1  $\times$  4,0; 9.1 – 2  $\times$  4,0; 10 – 4  $\times$  4,0; 10.1 – 6  $\times$  4,0

Анализ дифрактограмм показал, что в результате ИПО титаном стали 40Х в модифицированном слое наблюдаются следующие фазы: осбор-

нит (TiN) и нитрид титана (TiN), отличающиеся параметром кристаллической решетки, а также мартенсит и бета-тиоксид ( $TiO_2$ ) (рисунок 5).

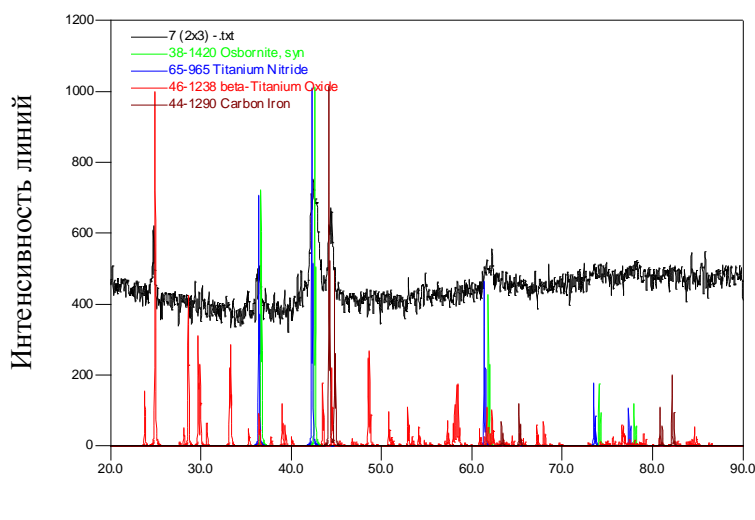


Рис. 5. Дифрактограммы стали 40Х после ИПО (2 импульса, U = 3,0 кВ)

Анализ полученных данных показал, что наибольшей износостойкостью обладают образцы, обработанные в диапазоне режимов ИПО

2...6 импульсов при режимах 2 $\times$ 3,0 кВ, 4 $\times$ 4,0 кВ и 6 $\times$ 4,0 кВ (количество импульсов  $\times$  U).

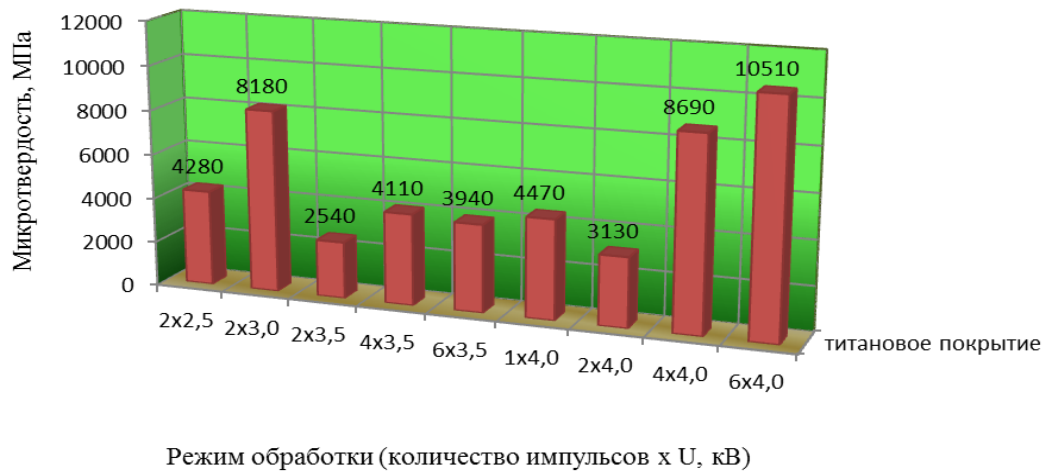


Рис. 6. Влияние параметров ИПО на микротвердость поверхностного слоя стали 40X

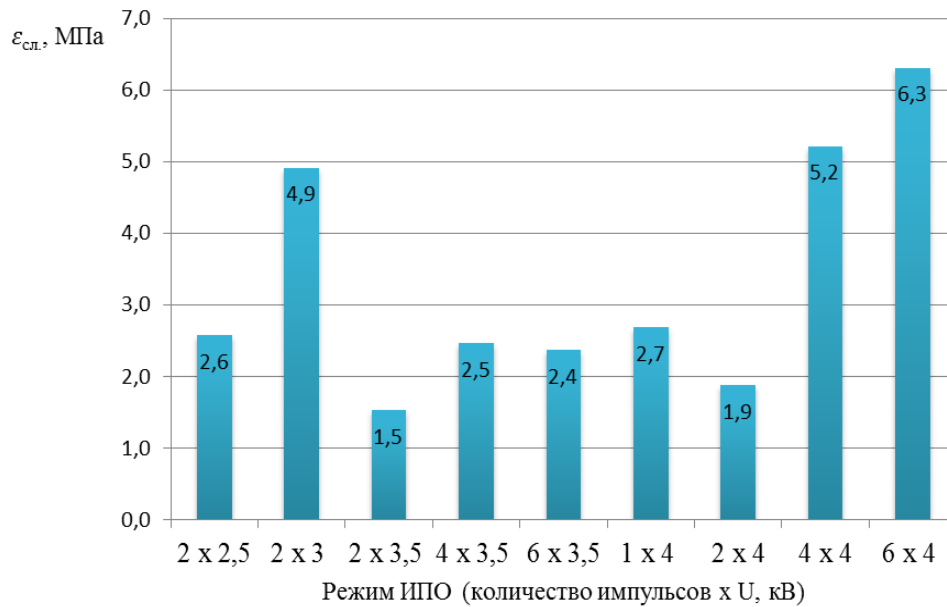


Рис. 7. Влияние режимов ИПО на относительную износостойкость стали 40X

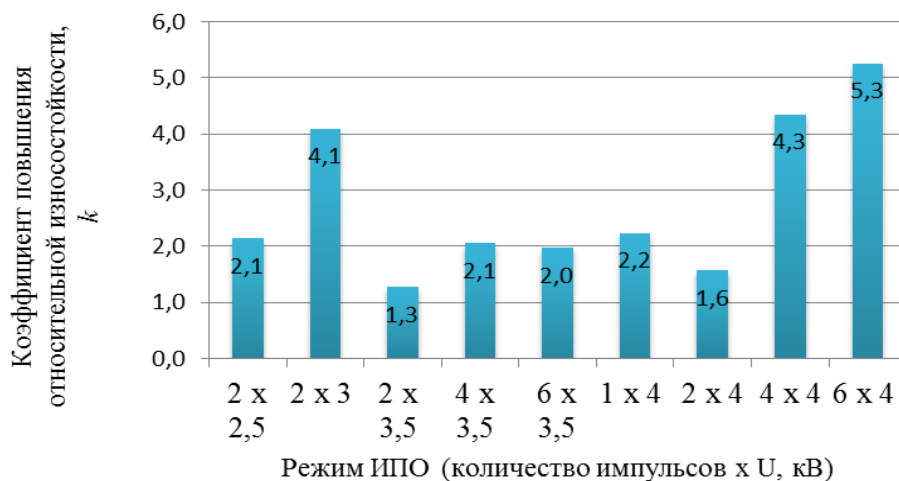


Рис. 8. Влияние режимов ИПО на коэффициент повышения относительной износостойкости стали 40X

Высоким  $\varepsilon_{\text{сл.}}$ , как правило, соответствуют более сплошные и беспористые модифицированные слои, обладающие максимальной микротвердостью. Максимальная относительная износостойкость  $\varepsilon_{\text{слоя}} = 6,3$  МПа и  $k = 5,3$  были получены при ИПО по режиму: 6 импульсов,  $U = 4$  кВ. Более пористые и рыхлые слои характеризуются большей скоростью изнашивания. Следует отметить также, что в среднем относительная абразивная износостойкость стали 40X после ИПО увеличилась в  $\sim 2,7$  раза по сравнению с исходным состоянием. Применение ИПО для нанесения покрытий из титана позволяет полу-

чать плотные многофазные покрытия, которые имеют хорошую адгезию с подложкой и высокие физико-механические свойства.

В результате применения ИПО обнаружен положительный эффект, последующие исследования позволяют выявить и реализовать широкие возможности данного метода. Разработанные режимы ИПО с использованием титана, позволяющие получать модифицированные слои с высокими физико-механическими характеристиками, могут быть рекомендованы для упрочнения деталей оборудования, работающего в условиях изнашивания.

### Литература

1. Зенин Б.С. Современные технологии поверхностного упрочнения и нанесения покрытий: уч. пособие / Зенин Б.С., Слосман А.И. // Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2012. – С. 120.
2. Оковитый В.А. Исследование процессов модификации износостойких плазменных покрытий импульсно-плазменной обработкой / Оковитый В.А., Пантелеенко Ф.И., Пантелеенко А.Ф., Оковитый В.В., Шевцов А.И., Ильющенко А.Ф., Асташинский В.М. // Вестник БНТУ – 2009. – №5. – С. 39-43.
3. Погребняк А.Д., Тюрин Ю.Н. Модификация свойств материалов и осаждение покрытий с помощью плазменных струй // Успехи физических наук. – 2005. – Том 175. – № 5. – С. 515-544.
4. Коляда Ю.Е. Использование магнитного ключа для коммутации силовых импульсных схем / Коляда Ю.Е., Федун В.И., Онищенко И.Н., Корнилов Е.А. // ПТЭ. – 2001.- № 2. – С. 89 – 91.
5. Федун В.И., Коляда Ю.Е., Буланчук О.Н., Гаркуша В.В. Электрические характеристики импульсного плазменного гидроакустического излучателя // Вісник Донецького університету. Серія А: Природничі науки.–2000.– Вип.1. – С.89-92.
6. Khrushov M.M., Babichev M.A. Resistance to Abrasive Wear of Structurally Inhomogenous Materials // Engineers. – 1960. – P. 5-24.
7. Ibrahim Sevim Effect of Abrasive Particle Size on Abrasive Wear Resistance in Otomotive Steels // Tribology in Engineering. – Chapter 3 - 2013. - P. 29-46. // <http://www.intechopen.com/books/tribology-in-engineering>.

**Cheiliakh A.P., Kutsomelya Yu.Yu., Fedun V.I., Ryabikina M.A.**

#### **The structure and properties of steel 40 Kh after pulsed plasma processing using titanium electrodes**

**Abstract:** The results of studies on the structure of samples of steel 40Kh (40Cr) after pulse-plasma treatment (PPT) under different conditions, with the use of a titanium electrode are presented in this work. Influence of plasma processing parameters on the thickness, quality and resulting microhardness of the layers are considered. With the help of mathematical modeling analysis the characteristics of wear resistance was carried. In an environment of air and high temperature of plasma is a diffusion cathode titanium alloy particles deep into the substrate and its alloying. The structure and properties of the modified layer is dependent on the number of pulses of plasma treatment and inputted into the discharge energy (within the limits of 3 to 12 kJ). The discharge time was  $\sim 1$  ms. With increasing number of pulses of the PPT density and the layer thickness increases. The results of microscopic examination of cross-sections of coatings indicate that the minimum thickness is 0.014 mm (with 2 pulses and energy of 4.6 kJ). Under the influence of a powerful pulsed plasma exposure (4 pulses and energy of 12 kJ) on the surface of 40Kh (40Cr) steel, a layer depth of 0.076 mm formed. Usually, to improve the quality of the layer and change the structure of coatings the second pass the plasma is used. PPT with 4 and 6 pulses has a significant influence on the microstructure of the steel of the modified layer. Furthermore, a layer with pores and microcracks in the further processing becomes more uniform (at 6 times the processing). Carbon in an amount of 0.37% in the base metal microstructure determines formation of the modified layer, presumably from martensite (solid solution Ti in the  $\alpha$ -Fe) to the martensite-nitride that can improve the wear resistance relative steel. The maximum values of microhardness after PPT with titanium electrode - 10510 MPa were after condition with 6 pulses and energy of 12 kJ. Using the X-ray diffraction analysis to study the nature of the structural and physical processes has shown that in the modified layer observed: Osbornite (TiN) and titanium nitride (TiN), martensite and beta Tioxide (TiO<sub>2</sub>). Application PPT coating of titanium produces multiphase coatings which have good adhesion to the substrate and high mechanical properties.

**Keywords:** pulse-plasma treatment, structural steel, the modified layer, phase composition, coating properties, wear resistance

Ткаченко Ф.К.<sup>1</sup>, Рябикина М.А.<sup>2</sup>, Ткаченко Н.В.<sup>3</sup>

## Влияние параметров изотермической обработки на структурообразование и свойства стали X70

<sup>1</sup> Ткаченко Фёдор Константинович, доктор технических наук, профессор<sup>2</sup> Рябикина Марина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент<sup>3</sup> Ткаченко Нина Валериевна, аспирант

Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, Украина

**Аннотация:** В широком интервале скоростей охлаждения в стали X70 формируется структура, состоящая из полигонального феррита и игольчатого бейнита. Мартенситное превращение, напротив, занимает узкий интервал скоростей охлаждения и протекает практически мгновенно. Можно предположить, что в связи с высоким положением температур начала и конца мартенситного превращения в стали X70 должны наблюдаться процессы отпуска образовавшихся при охлаждении игольчатых структур. Выполнено исследование влияния температур нагрева и параметров изотермической выдержки в интервале мартенситного превращения на особенности структурообразования и твердость стали X70. С этой целью образцы из стали X70 были нагреты до температур 900-1200 °С и затем подвергнуты изотермической выдержке в соли при температурах 300-450 °С в течение 1, 5 и 10 минут. Результаты исследования показали, что размер аустенитного зерна зависит от температуры нагрева; рост зерна в стали X70 с содержанием Ti (0.02 вес.%), Nb (0.06 вес.%) и V (0.05 вес.%) наблюдается уже при 1100 °С. Снижение температуры закалки от 1200 до 900 °С вызывает увеличение твердости образцов вследствие образования структуры мартенсит + карбиды. Детальные исследования микроструктуры образцов показали, что с увеличением разности (температура нагрева – температура изотермической выдержки) и скорости охлаждения в стали X70 возможно образование следующих типов структур: (перлит + полигональный феррит) → (феррит + зернистый бейнит) → (феррит + игольчатый бейнит) → игольчатый мартенсит. Чем выше температура изотермической выдержки, тем интенсивнее протекает диффузия, которая ускоряет распад образовавшейся при охлаждении бейнито-мартенситной структуры, что, в свою очередь, вызывает монотонное снижение твердости стали X70. Увеличение времени изотермической выдержки также вызывает снижение твердости.

Ключевые слова: мартенситное превращение, бейнит, изотермическая выдержка, самоотпуск, структурообразование.

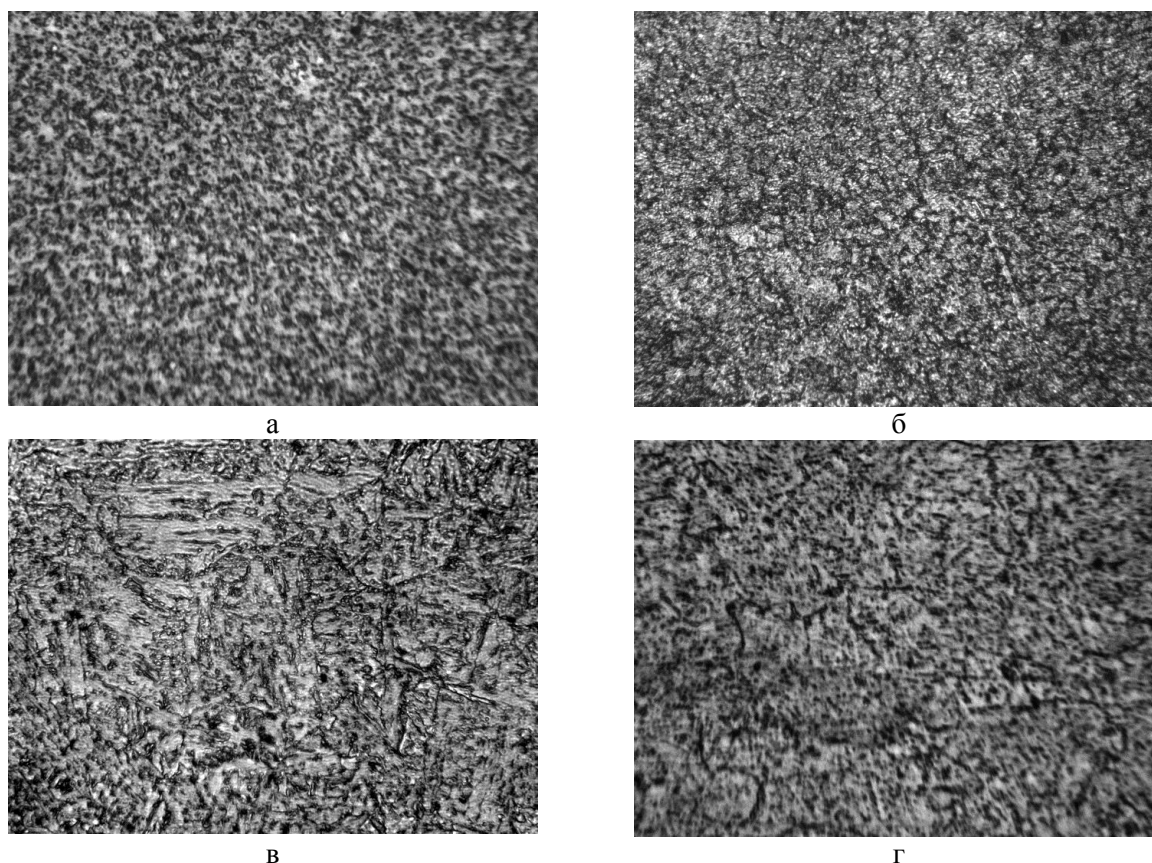
Как известно [1], значения температур начала и конца мартенситного превращения, а также ход мартенситной кривой определяются главным образом химическим составом аустенита. Для малоуглеродистых сталей точки  $M_n$  и  $M_k$  лежат значительно выше комнатной температуры, и остаточный аустенит практически не обнаруживается. Особенностью стали X70 является то, что в широком интервале скоростей охлаждения от ~300 до ~0,2 °С/с в стали X70 формируется структура, состоящая из полигонального феррита и игольчатого бейнита [2]. Мартенситное превращение, напротив, занимает узкий интервал скоростей охлаждения и протекает практически мгновенно. Можно предположить, что в связи с высоким положением интервала мартенситного превращения в сталях типа X70 должны наблюдаться процессы самоотпуска образовавшихся при охлаждении игольчатых структур. Исследование особенностей формирования таких структур представляет значительный научный и практический интерес.

В данной работе проведен лабораторный эксперимент по изучению структурного состояния стали X70 после нагрева до температур 900 – 1200 °С ( $\tau=10$  минут) и последующей изотермической выдержки при 350 - 450 °С в течении 1, 5 и 10 минут. Размеры образцов составляли 10×10×3 мм. Термическую обработку проводили

в печи SNOL 288/1200 (нагрев под аустенитизацию), изотермическую выдержку – в лабораторной соляной ванне. Для металлографического анализа микроструктуры применяли инвертированный металлографический микроскоп «Neophot-21» с приставкой Каппа Image Base.

Как видно из рисунка 1 а, аустенитизация при 900 °С и последующая изотермическая выдержка при  $t_{\text{ступени}}=300-450$  °С привели к образованию смешанной мелкодисперсной структуры, состоящей из феррита (Ф) и глобулярного бейнита (ГБ)/отпущенного мартенсита (ОМ). Уменьшение температуры и продолжительности изотермической выдержки практически не влияет на структуру стали X70, но при увеличении длительности выдержки до 10 минут наблюдается незначительное «размытие» четкости структурных составляющих. Возможно, это связано с более полным прохождением процессов отпуска.

При  $t_{\text{нагрева}}=1000$  °С и  $t_{\text{ступени}}=300-450$  °С в структуре стали X70 появляются участки игольчатого (речного) бейнита (ИБ или РБ) небольших размеров, (рисунок 1 б), наблюдается уменьшение количества избыточного феррита. Установлено [3,4], что небольшие участки игольчатого бейнита располагаются совместно с вырожденным перлитом и состоят из нескольких коротких параллельных реек  $\alpha$ -фазы шириной до 2-3 мкм.



**Рис. 1.** Микроструктура стали X70 после нагрева до 900-1200 °С и последующей изотермической выдержки при 300°С в течении 5 мин

При повышении температуры нагрева до 1100 – 1200 °С наблюдается укрупнение аустенитного зерна и уменьшение количества карбидной фазы вследствие растворения частиц карбидов/карбонитридов в аустените. После изотермической выдержки при  $t_{\text{ступени}}=300-450^{\circ}\text{C}$  количество феррита в структуре стали X70 резко уменьшается, и преобладающей становится бейнитная структура игольчатой морфологии (рисунок 1 в, г).

Уменьшение температуры изотермической выдержки от 450 до 300 °С практически не вносит изменений в морфологию образующихся структур. Однако известно, что снижение температуры бейнитного превращения сопровождается меньшим обеднением  $\alpha$ -твердого раствора углеродом. Изотермическая выдержка при  $t_{\text{ступени}}=450^{\circ}\text{C}$  и  $\tau=10$  минут приводит к появлению небольших темных участков внутри и по границам светлой мартенситоподобной структуры. Появление этих темных островков связано, по видимому, с развитием процессов отпуска, выделением дисперсных частиц карбидов из рек  $\alpha$ -фазы.

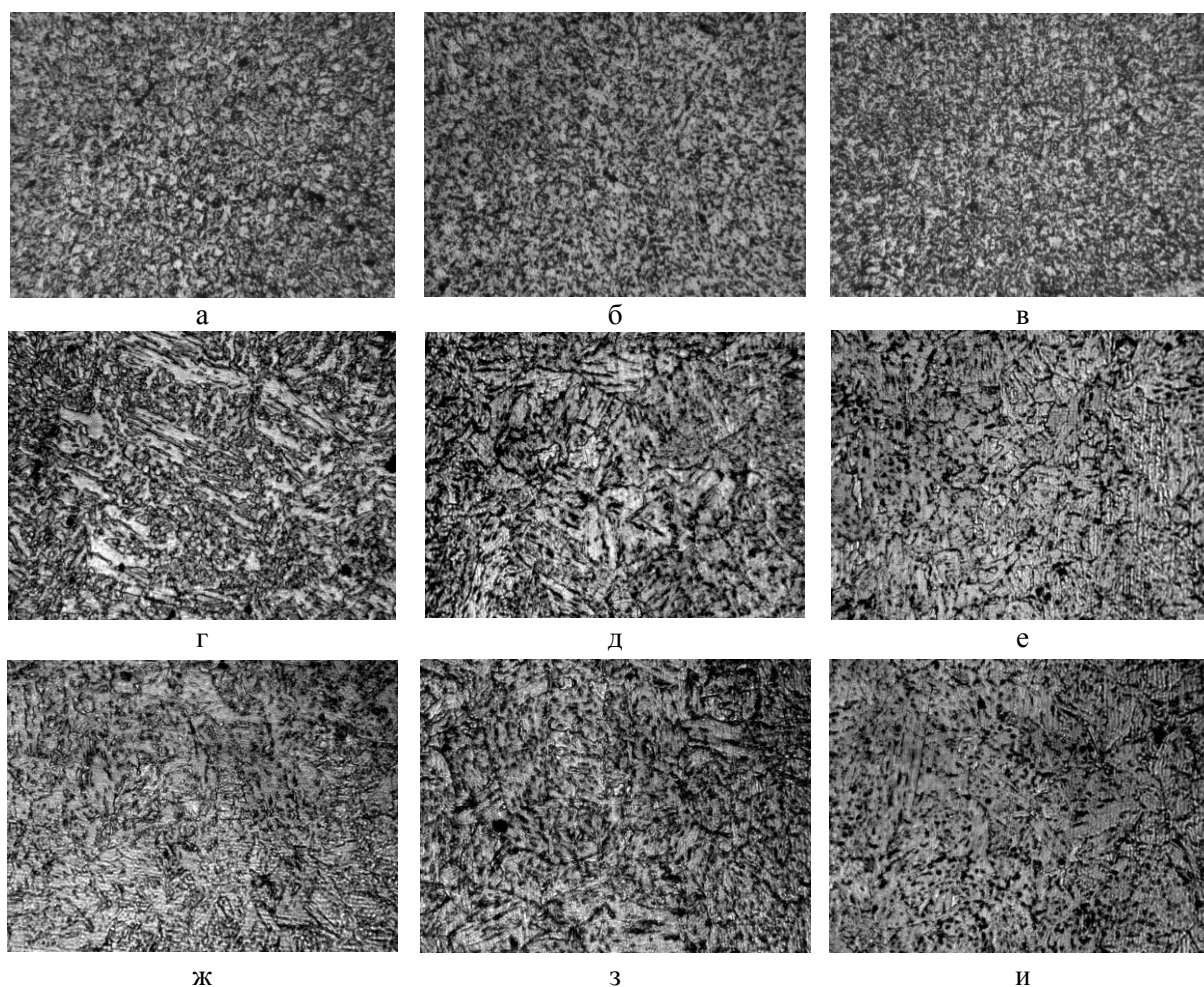
Структуры, полученные при изотермической выдержке от  $t_{\text{нагрева}}=1200^{\circ}\text{C}$ , соответствуют максимальному перепаду температур (например,

при  $t_{\text{нагрева}}=900^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{ступени}}=300^{\circ}\text{C}$  температурный градиент составляет  $600^{\circ}\text{C}$ ; при  $t_{\text{нагрева}}=1200^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{ступени}}=300^{\circ}\text{C}$  -  $900^{\circ}\text{C}$ ), для них характерно выраженное реечное строение (рисунок 2). Как и в предыдущем случае на границах и в объеме кристаллов бейнитной (мартенситной)  $\alpha$ -фазы присутствуют дисперсные частицы карбидов VC и NbC. С уменьшением  $t_{\text{ступени}}$  от 450 до  $300^{\circ}\text{C}$  бейнитное превращение реализуется при более низких температурах, что приводит к уменьшению ширины рек и росту в рейках плотности дислокаций.

Таким образом, с увеличением разности температур ( $t_{\text{нагрева}} - t_{\text{ступени}}$ ) и скорости охлаждения в стали X70 возможно образование следующих типов структур:  $(\text{Ф}+\text{П}) \rightarrow (\text{Ф}+\text{ГБ}) \rightarrow (\text{Ф}+\text{РБ}$  или  $\text{ИБ}) \rightarrow \text{РМ}$ .

Влияние температуры и продолжительности изотермической выдержки на твердость образцов из стали X70 представлено на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3 а, при  $t_{\text{нагрева}}=900^{\circ}\text{C}$  с повышением температуры ступени от 300 до  $450^{\circ}\text{C}$  наблюдается монотонное уменьшение твердости от 205 НВ до 185 НВ. При  $t_{\text{ступени}}=300-400^{\circ}\text{C}$  длительность изотермической выдержки не оказывает существенного влияния на твердость.



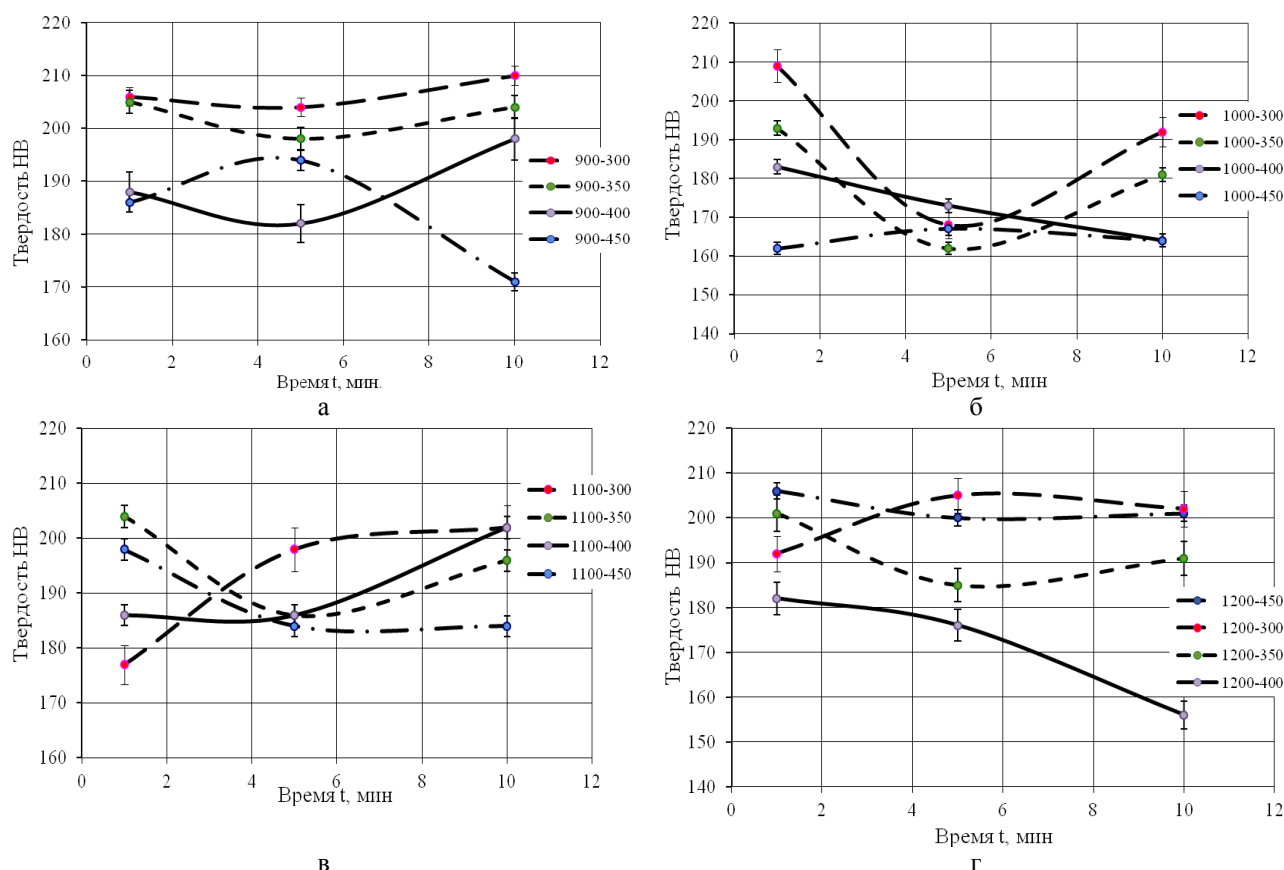
**Рис. 2.** Микроструктура стали X70 после нагрева до 1000-1200 °С и последующей изотермической выдержки при 450 °С в течение 1, 5 и 10 мин: а, б, в – 1000 °С; г, д, е – 1100 °С; ж, з, и – 1200 °С

Однако при температуре ступени 450 °С ход кривой изменился и при 10 минутной выдержке наблюдается заметное падение твердости до 167 НВ, что по-видимому обусловлено распадом мартенсита, коагуляцией и коалесценцией карбидов и карбонитридов.

Зависимость твердости стали X70 от параметров ступени при охлаждении от 1000°С характеризуется заметным разбросом значений (рисунок 3 б). Уменьшение температуры изотермической выдержки от 450 до 300 °С при  $\tau=1$  мин вызвало уменьшение твердости от 210 до 160 НВ. При температурах ступени 300 – 350 °С кривые твердости проходят через минимум при  $\tau=5$  мин. При 400 – 450 °С отмечается некоторое понижение значений твердости, связанное с увеличением времени выдержки. На рисунке 3, в для  $t_{\text{нагрева}}=1100$  °С кривые твердости для всех вариантов изотермической выдержки близки между собой и проходят через незначительный минимум, исключение составляет температура ступени 300 °С, при которой наблюдается монотонное возрастание твердости с увеличением длительности выдержки. Это, по-видимому, обусловлено связыванием углерода в карбиды и до-

полнительным выделением карбидной фазы. Следует иметь в виду также протекание процессов рекристаллизации феррита, увеличение плотности дислокаций.

При  $t_{\text{нагрева}}=1200$  °С исходной структурой перед ступенчатым охлаждением является однородный  $\gamma$ -твердый раствор, количество карбидов/карбонитридов минимально и примерно соответствует их количеству при температуре начала черновой прокатки. Поскольку почти все карбиды переведены в твердый раствор, устойчивость аустенита высокая, и при последующем охлаждении он распадается с образованием дисперсных продуктов речной морфологии. При кратковременной выдержке уровень твердости достаточно высок ~180 - 210 НВ (рисунок 3 г) и с увеличением  $\tau$  до 10 минут проявляет тенденцию к снижению. Незначительное повышение твердости с увеличением длительности выдержки от 1 до 10 минут при  $t_{\text{ступени}}=300$  °С возможно связано с изменениями субструктуры стали. При таких высоких температурах нагрева сильнее проявляется влияние скорости охлаждения из-за более существенных перепадов температур.



**Рис. 3.** Влияние температуры и продолжительности изотермической выдержки на твердость стали X70: а – аустенитизация при 900 °С; б – аустенитизация при 1000 °С; в – аустенитизация при 1100 °С и г – 1200 °С

### Заключение.

Таким образом, в настоящей работе на основе лабораторного эксперимента исследовано влияние температуры нагрева и параметров изотермической выдержки в мартенситном интервале на особенности структурообразования и твердость стали X70. С увеличением разности температур ( $t_{\text{нагрева}} - t_{\text{ступени}}$ ) и, как следствие, скорости охлаждения в возможно образование следующих типов структур:  $(\Phi + \Pi) \rightarrow (\Phi + \Gamma\text{Б}) \rightarrow (\Phi + \text{РБ или ИБ}) \rightarrow \text{РМ}$ . Чем выше температура изотермической выдержки ( $t_{\text{ступени}}$ ), тем интенсивнее протекает диффузия, которая ускоряет распад исход-

ного аустенита и образовавшегося при охлаждении мартенсита. Увеличение продолжительности выдержки от 1 до 10 минут при  $t_{\text{ступени}} = 300 - 450$  °С увеличивает количество продуктов распада мартенсита. При  $t_{\text{ступени}} = 300$  °С распад мартенсита замедляется вследствие уменьшения коэффициента диффузии, поэтому твердость стали X70 сохраняется максимальной. Увеличение температуры и продолжительности изотермической выдержки вызывает снижение твердости стали X70.

### Литература

1. Спиваков В.И. Исследование кинетики превращения аустенита и формирования бейнитной структуры при деформационно-термическом упрочнении листов из малоперлитной стали X70 (X65) для труб газопроводов / В.И. Спиваков, Э.А. Орлов, П.Л. Литвиненко, А.В. Ноговицын // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №1. – С. 74-77.
2. H.G. Hillendrand, M. Graf, Ch. Kalwa. Development and production of higy strength pipelines steel, Noibium 2001, Orlando, USA, 2001.
3. Пышминцев И.Ю. Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства низкоуглеродистой трубной стали / И.Ю. Пышминцев, А.Н. Борякова, М.А. Смирнов // *Металлург*. – №8. 2008. – С.48-51.
4. Судариков М.В. Структура игольчатого бейнита в низкоуглеродистой трубной стали / М.В. Судариков, О.В. Самойлова, М.А. Смирнов, А.Н. Мальцева, Э.Н. Михайлова // *Сборник тезисов XXIV Российской конференции по электронной микроскопии*. – 2012. – С.135.



Tkachenko F.K., Ryabikina M.A., Tkachenko N.V.

**The influence of parameters of isothermal treatment on structure and properties of steel X70**

**Abstract:** At different cooling rates of the steel X70 a typical structure is formed. This structure consists of the polygonal ferrite and acicular bainite. Martensitic transformation, in contrast, occupies a narrow range of cooling rates and runs almost instantly. It can be assumed that because of the high values of the  $M_s$  and  $M_f$  temperatures in the steel tempering processes of the acicular structure (formed upon cooling) should be observed. We have investigated the effect of different heating temperatures and parameters of isothermal holding at temperatures of martensitic transformation on the characteristics of the resulting structures and hardness of steel X70. For this purpose samples of X70 steel were heated to temperatures of 900-1200 °C and then put under isothermal holding in the salt at 300-450 °C temperatures for 1, 5 and 10 minutes. The results showed that the coarsening of austenite grain structure is influenced by the heating temperature, the grain growth in steel X70 with Ti (0.02 wt-%), Nb (0.06 wt-%) and V(0.05 wt-%) was already observed at 1100 °C. Decreasing the quenching temperature increased the hardness of specimens due to production of martensite + carbides structure. Detailed microstructural examinations found out that with increasing difference between heating temperature and the temperature of isothermal holding and the cooling rate of the steel X70 following types of structures can be formed: (pearlite + polygonal ferrite) → (ferrite + granular bainite) → (ferrite + acicular bainite) → acicular martensite. By increasing the holding temperature of 300 to 450 °C the diffusion processes and decomposition of bainite - martensite structure (formed during cooling) are accelerated. This leads to a monotonic decrease in hardness steel X70. Analogically the increasing isothermal holding time also causes a decrease in hardness.

**Keywords:** martensitic transformation, bainite, isothermal holding, autotempering, structure formation.

*Чейлях А.П.<sup>1</sup>, Караваева Н.Е.<sup>2</sup>*

**Влияние термообработки на структуру, метастабильность аустенита и износостойкость цементованных сталей 12X2H4MA и 18X2H4MA**

<sup>1</sup> *Чейлях Александр Петрович, доктор технических наук, профессор*

<sup>2</sup> *Караваева Наталья Евгеньевна, преподаватель*

*Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, Украина*

**Аннотация:** Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния закалки и отпуска при различных температурах после цементации на структуру, твердость и износостойкость сталей 12X2H4MA и 18X2H4MA. Определены оптимальные технологические режимы, которые позволяют повысить износостойкость стали в 2,5-3 раза. Показано, что для повышения сопротивления изнашиванию цементованных сталей последующая термообработка должна быть направлена на получение в поверхностном слое метастабильной аустенитно-мартенситно-карбидной структуры, в которой метастабильный остаточный аустенит способен к деформационному мартенситному превращению при изнашивании.

**Ключевые слова:** цементация, закалка, метастабильный остаточный аустенит, износостойкость, твердость.

Важность проблемы прочности и износостойкости металлических сплавов подтверждается острой необходимостью повышения надежности и долговечности современных тяжелонагруженных машин. Наиболее эффективным и надежным способом решения этой проблемы остается цементация. Однако роль остаточного аустенита ( $A_{ост}$ ) при этом остается спорной. Целью настоящей работы является изучение возможности повышения износостойкости легированных цементуемых сталей за счет сохранения определенного количества метастабильного  $A_{ост}$  и реализации его деформационного мартенситного  $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$  превращения в процессе испытаний на изнашивание (ДМПИ).

Объектом исследования служили стали 12X2H4MA и 18X2H4MA. Образцы которых подвергались цементации в твердом карбюризаторе при температуре 930°C в течение 10 часов, с охлаждением с печью. Для стали 12X2H4MA ва-

рьировалась температура закалки после цементации в интервале 780-1040°C (отпуск при 200°C). Для стали 18X2H4MA проводилась закалка с повышенной температуры 1100°C, температура последующего отпуска варьировалась в интервале 200-600°C.

Нагрев стали при температурах аустенизации 780-840°C не обеспечивает полного растворения карбидов. В связи с этим, не достигается максимальное насыщение аустенита углеродом и легирующими элементами. По мере повышения температуры нагрева под закалку в выбранном интервале в поверхностном слое количество мартенсита закалки и карбидов уменьшается, а количество  $A_{ост}$  возрастает. После закалки стали 12X2H4MA с максимальных температур выбранного диапазона 1000-1040°C структура поверхностного слоя состоит из мелкоигольчатого мартенсита, нерастворившихся равномерно распределенных карбидов и повышенного количества (60-80%)  $A_{ост}$  (рис. 1).

Закономерность изменения полученной микроструктуры от температуры нагрева под закалку

ку цементованных сталей неоднозначно определяет износостойкость.

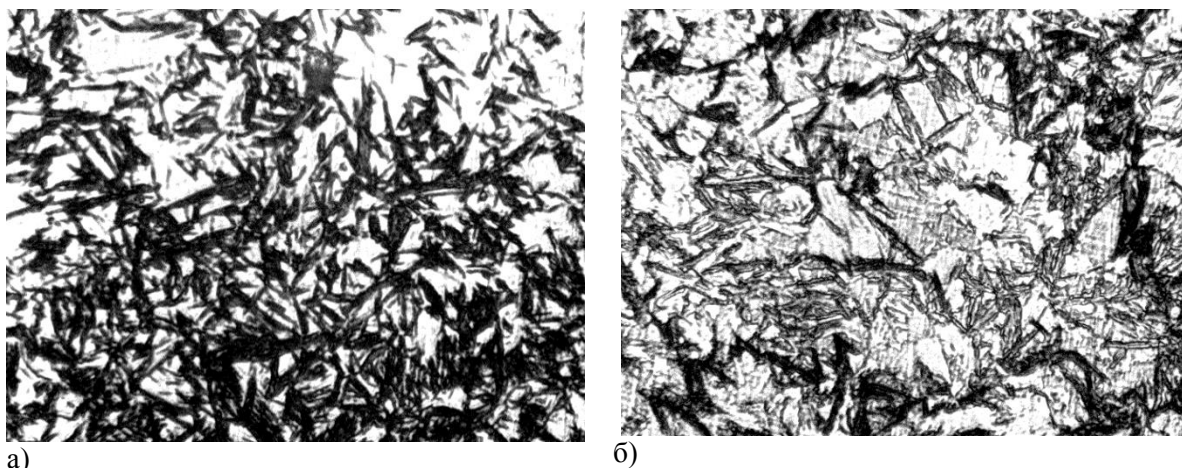


Рис. 1. Микроструктура цементованной стали 12X2H4MA после закалки с температур (отпуск при 200°C): а) 1000°C; б) 1040°C; x1200

Повышение относительной абразивной износостойкости ( $\epsilon_a$ ) и износостойкости в условиях сухого трения металл по металлу ( $\epsilon$ ) стали 12X2H4MA достигается после закалки цементованной стали с температур  $\sim 800^\circ\text{C}$ , а при нагреве

до  $1040^\circ\text{C}$   $\epsilon_a$  и  $\epsilon$  возрастают в еще большей степени (рис. 2). При этом износостойкость увеличивается в 2,5-3 раза (рис. 2) по сравнению со стандартной закалкой с  $780-810^\circ\text{C}$ , рекомендованной справочной литературой.

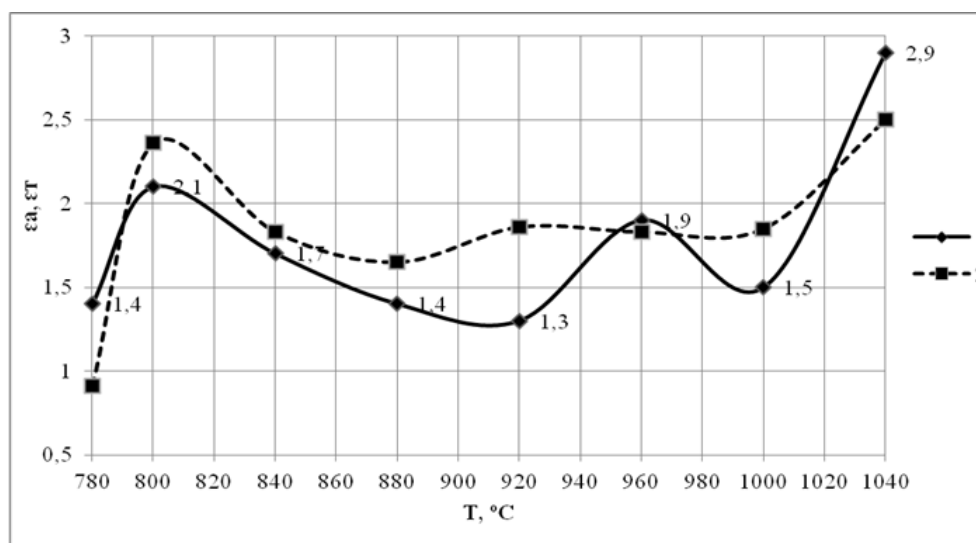


Рис. 2. Относительная абразивная износостойкость (1) и относительная износостойкость в условиях сухого трения скольжения металл по металлу (2) цементованной стали 12X2H4MA после закалки с различных температур и низкого отпуска

В первом случае количество  $A_{\text{ост}}$  было 15-20%, а во втором 60-80%. Причиной повышения износостойкости в первом случае является образование большого количества цементита и мартенсита закалки. Дополнительным и существенным фактором является метастабильность  $A_{\text{ост}}$  и реализация  $\gamma_{\text{ост}} \rightarrow \alpha'$  ДМПИ. В результате образующийся мартенсит деформации, отличающийся повышенной дисперсностью и твердостью, вызывает эффект деформационного самоупрочнения непосредственно в ходе изнашивания, а

процесс его образования – релаксацию микронапряжений. Еще больший эффект самоупрочнения от реализации ДМПИ проявляется после закалки с повышенной температуры  $1040^\circ\text{C}$ , так как образуется большее количество мартенсита деформации. При других температурах нагрева под закалку износостойкость несколько ниже максимальных значений.

После предварительной закалки с  $1100^\circ\text{C}$  в цементованном слое содержится повышенное количество ( $\approx 60\%$ )  $A_{\text{ост}}$ .

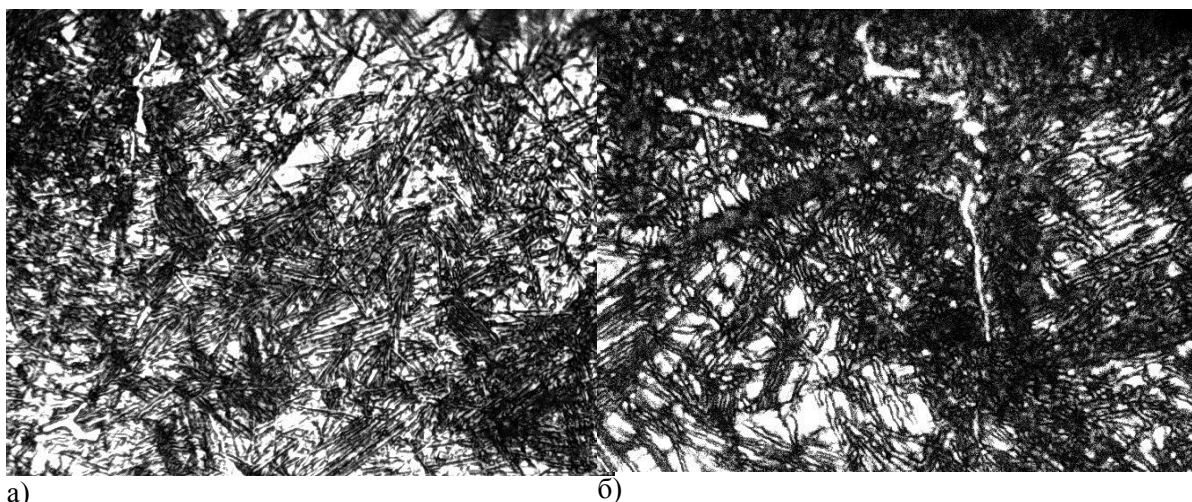


Рис. 3. Микроструктура цементованной стали 18X2H4MA после закалки с 1100°C и отпуска при температурах: а) 500°C; б) 600°C, x1200

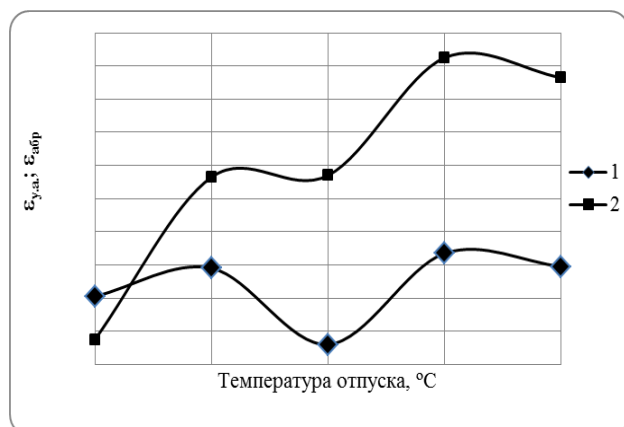


Рис. 4. относительная абразивная износостойкость (1) и относительная износостойкость в условиях сухого трения скольжения металл по металлу (2) цементованной стали 18X2H4MA после закалки с температуры 1100°C и отпуска при различных температурах

Последующий отпуск цементованной и закаленной стали 18X2H4MA неоднозначно влияет на фазово-структурный состав науглероженного слоя и степень метастабильности  $A_{ост}$ . С увеличением температуры отпуска от 200 до 600°C в следствие дестабилизации аустенита активируется  $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$  ДМПИ. Причем, если после отпуска при температуре 40 °C в рабочей части испы-

туемых образцов вследствие ДМПИ образуется преимущественно мартенсит деформации, то после дестабилизирующего отпуска при 500 и 600°C наблюдается выделение карбидов ((Fe,Cr)<sub>3</sub>C и Mo<sub>2</sub>C) одновременно с образованием мартенсита деформации – более дисперсного и твердого (рис. 3). Это приводит к повышению твердости до HRC 56-59. В результате более интенсивного развития  $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$  ДМПИ достигаются наиболее высокие показатели относительной износостойкости (рис. 4).

Таким образом, для повышения сопротивления изнашиванию цементованных сталей последующая термообработка должна быть направлена на получение в поверхностном слое метастабильной аустенитно-мартенситно-карбидной структуры. При закалке с повышенной оптимальной температуры, либо при закалке с повышенных температур (~1100°C) и дестабилизирующего отпуска при оптимальной температуре 500°C можно добиться существенного повышения износостойкости цементованных изделий, что позволит сократить расходы на ремонт и замену деталей оборудования, работающего в тяжело нагруженных условиях.

#### Литература

1. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. – Справочник / Под ред. Ляховича Л.С. – М.: Металлургия, 1981. – 426 с.
2. Влияние цементации и последующей термообработки на структуру, фазовый состав и абразивную стойкость Fe-Cr-Mn сталей / Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, Е.Л. Малинова // Изв. АН СССР. Металлы. – 1991. - № 1. – С. 120-122.
3. А.П. Чейлях, Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2003. – 212 с.
4. О роли остаточных напряжений в повышении предела выносливости стали при химико-термической обработке / Б.Г. Гуревич, С.Ф. Юрьев // М.: Машгиз, 1952. С. 43-63.
5. Коршунов Л.Г., Макаров А.В., Черненко Н.Л. Влияние остаточного аустенита на абразивную износостойкость высокоуглеродистых сталей // Тез. докл. V Всесоюз. Совещ. 11-15 марта. Свердловск, 1991. – С.34.

Cheiliakh A.P., Karavaieva N.E.

**Influence of heat treatment on the structure, metastable austenite and wear resistance of carburized steels 12H2N4MA and 18H2N4MA**

**Abstract:** The results of experimental research of the influence the temperature of hardening and tempering after carburizing and quenching on the structure, hardness and wear resistance of steels 12X2H4MA and 18X2H4MA presented. The optimal technological regimes that improve wear resistance of steel 2,5-3 times were determined. It is shown that to improve the wear resistance of carburized steels subsequent heat treatment should be directed at getting to the surface layer of a metastable austenitic-martensitic-carbide structure in which the metastable retained austenite is capable of deformation induced martensite transformation at wear.

**Keywords:** carburizing, quenching, metastable residual austenite, wear resistance, hardness.

*Говорун А.Г.<sup>1</sup>, Сельский М.П.<sup>2</sup>, Куцый П.В.<sup>3</sup>*

**Определение потерь энергии КТС в условиях неустановившихся режимов движения**

<sup>1</sup> Говорун Анатолий Григорьевич, кандидат технических наук, профессор

<sup>2</sup> Сельский Михаил Петрович, ассистент

<sup>3</sup> Куцый Петр Викторович, аспирант

*Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина*

**Аннотация:** В статье проведен анализ исследований и рассматриваются две основные гипотезы потерь энергии колесным транспортным средством в условиях неустановившихся режимов движения. Согласно одной из них, основной причиной потерь энергии колесным транспортным средством при движении в условиях неустановившихся режимов считается снижение индикаторного коэффициента полезного действия двигателя, вызванного изменением его теплового состояния (тепловой инерции). По другой гипотезе считается, что потери энергии и увеличение расхода топлива двигателями КТС вызваны изменениями сил трения в звеньях механизмов трансмиссии, а также потерями энергии в них на демпфирование (сопротивление) крутильных колебаний. При оценке тягово-скоростных качеств транспортного средства, принимают, что центр тяжести КТС совершает плоское движение, копируя продольный профиль поверхности, по которой движется КТС, без колебаний вызванных ее неровностями. Уточнена математическая модель движения КТС с приведенным уравнением тягово-баланса, в котором учитывается колебательное движение КТС, вызванное неровностями поверхности или изменением момента сопротивления движению. Для получения полной картины распределения потенциальной энергии, получаемой при сгорании топлива в двигателе и преобразование ее в кинетическую энергию (поступательного, вращательного и колебательного) движения КТС необходимо учитывать приведенный к валу двигателя момент демпфирования (момент сопротивления колебаниям). Проведены полевые испытания трактора МТЗ-80 с прицепом ПТС-4 с грузом  $Q = 3,5$  т. На основе этих испытаний, согласно принятой методике расчета определен коэффициент демпфирования  $\xi$ . В результате проведенных полевых исследований трактора МТЗ-80 было определено, что при движении трактора по измерительному участку поля с постоянной скоростью и фиксированном положении рычага управления подачей топлива (для исключения субъективного фактора влияния на результаты эксперимента) с двухрежимным регулятором, потери топлива на  $15,7 \pm 4\%$  меньше, чем со всережимным регулятором. При этом амплитуда колебаний рейки ТНВД (крутящего момента двигателя) уменьшается в 2,5 раза. Было также определено прирост коэффициента демпфирования  $\Delta\xi$ , учитывающего потери энергии в двигателе при движении КТС в условия неустановившихся нагрузок с разными типами регуляторов.

**Ключевые слова:** дизель, система автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала дизеля, топливный насос высокого давления, амплитуда колебаний рейки топливного насоса, коэффициент демпфирования.

Как показал анализ проведенных исследований, существует две основные гипотезы потерь энергии колесным транспортным средством во время его движения в условиях неустановившихся нагрузок. По одной из них, ряд авторов [1,2,3] высказывает мнение, что основной причиной потерь энергии колесным транспортным средством при его движении в условиях неустановившихся нагрузок можно считать снижение индикаторного коэффициента полезного действия двигателя, вызванного изменением его теплового состояния (тепловой инерции) [4].

Но проведенные испытания [5] показали, что такое явление характерно только для режима разгона автомобиля с холодного старта.

«При длительной работе двигателя при устойчивом тепловом состоянии и неустановившихся режимах параметры рабочих циклов и теплового состояния в элементарном переходном режиме в меньшей степени отличаются от подобных циклов установившихся режимов, чем рабочие циклы единичного переходного режима. Тепловая и механическая инерционности рабочего тела и системы двигателя уменьшаются, по сравнению с единичным переходным режимом,

диапазон изменения параметров рабочего процесса при той же смене подачи топлива за цикл. Чем больше неустановившийся режим приближается по характеру к циклическому или колебательному, тем меньше отклонение параметров рабочего процесса и теплового состояния относительно какого-то среднего значения для каждого из них »[5].

Вместе с тем существует и другая точка зрения относительно потерь энергии КТС в условиях неустановившихся режимов движения. Авторы работ [6,7,8] считают, что потери энергии и увеличение расхода топлива двигателями КТС вызваны изменениями сил трения в звеньях механизмов трансмиссии, а также потерями энергии в них на демпфирование (сопротивление) крутильных колебаний.

Так как при динамических режимах работы во всех элементах механизмов машин возникают непрерывно меняющиеся механические нагрузки вызывающие переменные деформации в движущихся деталях (в частности деформация кручения в валах двигателя и трансмиссии КТС) и их относительные колебания. Следствием этого является поглощение механической энергии в необратимой форме (в случае КТС - в двигателе, коробке передач и редукторе главной передачи). Также переменные силы внутреннего трения в материалах звеньев механизмов через дополнительное динамическое давление снижают общий коэффициент полезного действия валов двигателя и трансмиссии. Однако из-за проблем с их учетом и как бы небольшие размеры колебательных звеньев потери энергии на внутреннее трение в их материалах считали сравнительно малыми и ими обычно пренебрегали [6]. Хотя, как показывает практика эксплуатации КТС, эти потери могут достигать существенных значений [9].

Обычно, оценивая тягово-скоростные качества транспортного средства, принимают, что центр тяжести КТС осуществляет плоское движение, копируя продольный профиль поверхности, по которой движется, без колебаний, вызываемых ее неровностями.

Уравнение тягового баланса в этом случае, полученное на основе теоремы моментов количества движения, имеет вид

$$I_{np} \frac{\partial \omega}{\partial t} = M_{ep} - M_{\Sigma f} \quad (1)$$

где  $I_{np}$  – приведенный к валу двигателя момент инерции КТС;

$\frac{\partial \omega}{\partial t}$  – угловое ускорение коленчатого вала;

$M_{ep}$  – приведенный момент движущих сил;

$M_{\Sigma f}$  – приведенный к валу двигателя момент всех сил сопротивления.

Но такой подход, при котором не учитывается колебательное движение КТС, не дает полной картины распределения потенциальной энергии, получаемой при сгорании топлива в двигателе и превращение ее в кинетическую энергию поступательного, вращательного и колебательного движения КТС.

Уточненное уравнение тягового баланса с учетом колебательного движения КТС, который вызван неровностями поверхности или изменением момента сопротивления движению, имеет вид

$$I_{np} \frac{\partial \omega}{\partial t} = M_{ep} - M_{\Sigma f} - M_{\delta} \quad (2)$$

где  $M_{\delta}$  – приведенный к валу двигателя момент демпфирования (момент сопротивления колебаниям).

Для определения влияния параметров САРЧ КТС с дизелем на величину энергетических потерь в КТС в условиях неустановившихся режимов его движения с целью упрощения расчетов целесообразно рассматривать коленчатый вал двигателя и валы трансмиссии как одномассовую систему.

Основным параметром САРЧ вращения коленчатого вала дизеля есть координата муфты регулятора  $z$ , которая определяется из уравнения его динамического равновесия, приведенного к оси муфты [4]

$$m_{np} \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + \nu \frac{\partial z}{\partial t} + E = P_{\delta} \quad (3)$$

где  $m_{np}$  – приведенная к муфте масса всех движущихся деталей регулятора;

$\nu$  – коэффициент вязкого трения;

$P_{\delta}$  – центробежная сила грузов регулятора;

$E$  – восстанавливающая сила регуляторных пружин.

В результате уравнение восстанавливающей силы можно записать в виде:

при увеличении нагрузки внешнего возбуждающего воздействия

$$E_K = C_K (y_K + z) \quad (4)$$

где  $C_K$  – жесткость пружин корректора;

$y_K$  – предварительный натяг корректорных пружин;

при уменьшении нагрузки внешнего возбуждающего воздействия:

$$E = C_{np} (y + z) \quad (5)$$

где  $C_{np}$  – жесткость пружины регулятора;

$y$  – предварительный натяг пружины регулятора.

Центробежная сила грузов регулятора определяется по эмпирической зависимости от угловой скорости вала, грузов регулятора  $\omega_{\text{ш}}$  и координаты муфты регулятора  $z$ , которая получается с соответствующих скоростных характеристик регулятора

$$P_e = p_{11}\omega_{\text{ш}}^2 + p_{12}\omega_{\text{ш}}z + p_1\omega_{\text{ш}} + p_2z + p_0 \quad (6)$$

где  $p_{11}, p_{12}, p_1, p_2, p_0$  – постоянные коэффициенты.

При определении потерь на демпфирование обычно допускают, что в упругой системе все изменения сопротивления, вызванные колебаниями внешней нагрузки, практически пропорциональны скорости, как при вязком трении [6], то есть момент демпфирования, который действует на колебательные массы двигателя и КТС можно определить из уравнения [8]

$$M_o = \xi \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} \quad (7)$$

где  $\xi$  – коэффициент демпфирования;

$\varphi_3$  – угол закручивания одномассовой системы КТС.

При работе дизеля на регуляторной характеристике изменение внешней нагрузки вызывает изменение моментов, которые скручивают ко-

ленчатый вал двигателя и валы трансмиссии, что приводит к переходу системы в новое фазовое состояние согласно колебательному или аperiodическому закону. Уравнения движения, приведенные к коленчатому валу, одномассовой системы под действием гармонического момента  $M_{\Sigma f}$  имеет вид  $M_{j3} + M_o + M_n = M_{\Sigma f}$  (8)

где  $M_{j3}$  – приведенный к оси коленчатого вала момент сил инерции, возникающий при изменении угла закручивания;

$M_n$  – момент упругих сил.

$$M_n = C_e \varphi_3 \quad (9)$$

где  $C_e$  – приведенная к оси коленчатого вала крутильная жесткость одномассовой системы КТС, Нм.

Момент сил инерции, возникающий при изменении угла закручивания, определяется по зависимости

$$M_{j3} = (I_{np} + I_o) \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial t^2} \quad (10)$$

В результате преобразований уравнение (8) можно записать в следующем виде

$$(I_{np} + I_o) \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial t^2} + \xi \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} + C_e \varphi_3 = M_{\Sigma f} \quad (11)$$

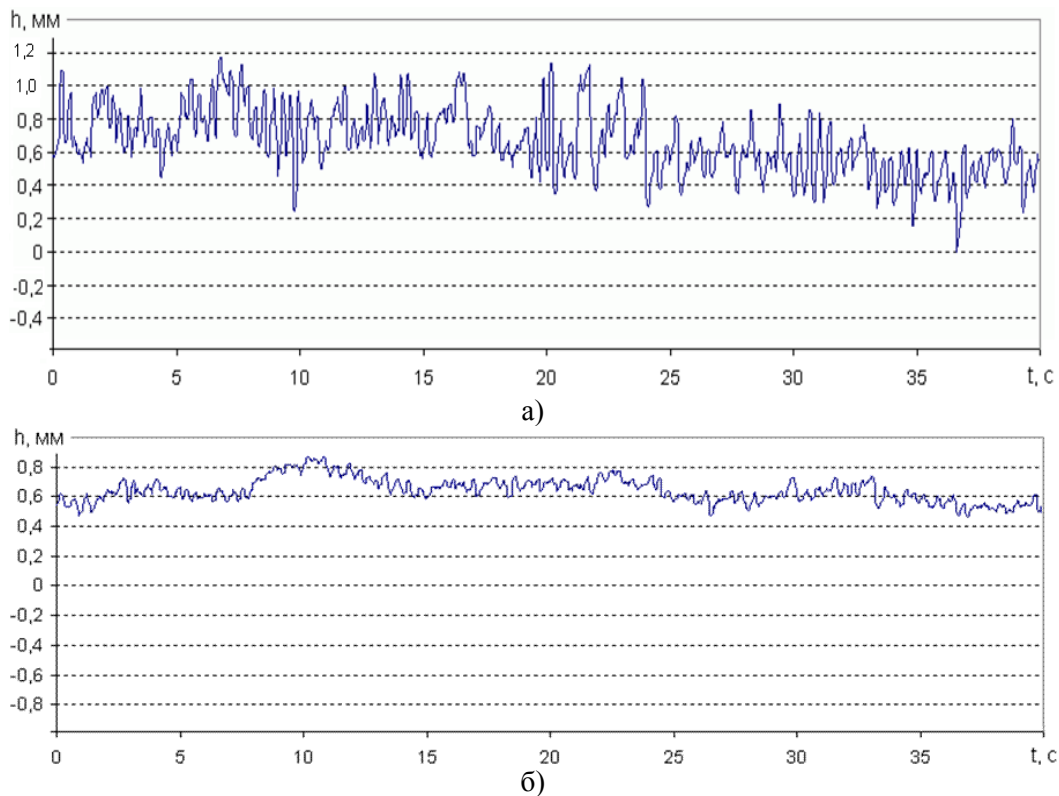


Рис. 1. Осциллограммы колебаний рейки ТНВД при движении трактора МТЗ-80 с различными регуляторами: а) всережимный, б) двухрежимный

На основе исследований проведенных на кафедре «Двигатели и теплотехника» НТУ была разработана методика определения потерь энергии при движении КТС с дизелем, вызванных колебаниями рейки ТНВД, оборудованного различными типами регуляторов (всережимным и двухрежимным). Для исключения влияния на результаты экспериментов субъективных факторов при испытаниях трактора с различными типами регуляторов были созданы одинаковые условия при движении КТС мерным участком поля.

На рис. 1 показаны примеры осциллограмм относительных колебаний рейки ТНВД при движении трактора мерным участком поля с всережимным и двухрежимным регулятором.

С учетом того что практически все технологические сельскохозяйственные работы, за исключением транспортных работ, выполняются при постоянной скорости движения, испытательные заезды состояли из движения трактора с установившейся скоростью в полевых условиях мерным участком поля, при работе трактора со всережимным и двухрежимным регуляторами.

Для исключения влияния субъективного фактора (мастерства вождения) на результаты испытаний заезды выполнялись при фиксированном положении рычага управления подачей топлива. Все замеры расхода топлива проводились с 6-кратной повторяемостью. Каждый новый заезд выполнялся по маршруту вне колеи предыдущего заезда. Из рис. 1 видно, что амплитуда колебаний рейки ТНВД со всережимным регулятором в 2,5 раза больше, чем с двухрежимным, следовательно, если принять, что крутящий момент на коленчатом валу двигателя изменяется пропорционально перемещению рейки ТНВД, то можно констатировать, что изменение крутящего момента двигателя со всережимным регулятором в 2,5 раза больше, чем с двухрежимным.

Результаты обработки осциллограмм приведены в табл. 1. Для получения надежности статистических данных при обработке осциллограмм при определении средних значений амплитуд колебаний рейки ТНВД и периода колебаний использовались данные, полученные с 20 последовательно протекающих колебаний.

Таблица 1

Среднее значение амплитуды и периода колебаний рейки ТНВД со всережимным и двухрежимным регуляторами.

Тип регулятора	Средние значения		
	Амплитуды колебаний рейки ТНВД $A_n$ , мм	Амплитуды колебаний крутящего момента $A_m$ , Нм	Период колебаний рейки ТНВД $T$ , с
Всережимный	0,4	38,4	0,3613
Двухрежимный	0,08	7,68	0,4487

Результаты измерения расхода топлива двигателем трактора МТЗ-80 на мерном участке по-

ля со всережимным и двухрежимным регуляторами приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений расхода топлива трактора МТЗ-80 с прицепом (масса груза 3500 кг) на мерном участке поля длиной 500 м.

Номер заезда	Время заезда $t_3$ , с	Расход топлива за заезд, л	Скорость движения, км/час	Расход топлива $G_n$ , л/км	
всережимный регулятор	1	141,83	0,25	12,69	0,5
	2	153,4	0,245	11,73	0,49
	3	152,66	0,25	11,79	0,5
	4	158,04	0,247	11,38	0,494
	5	153,24	0,225	11,74	0,45
	6	149,14	0,237	12,07	0,474
		$t_{3\text{ср}} = 151,14$			$G_{n\text{срв}} = 0,484$
двухрежимный регулятор	1	146,26	0,220	12,3	0,44
	2	143,24	0,198	12,56	0,386
	3	145,23	0,216	12,39	0,432
	4	143,24	0,195	12,56	0,39
	5	148,51	0,208	12,12	0,416
	6	145,75	0,189	12,35	0,378
		$t_{3\text{ср}} = 145,37$			$G_{n\text{ср д}} = 0,408$

Из таблицы. 2 видно, что среднее арифметическое значение расхода топлива с двухрежимным регулятором меньше, чем со всережимным на 15,7%.

То, что повышенные колебания рейки ТНВД со всережимным регулятором в условиях неустановившихся режимов движения вызывают увеличение расхода топлива, факт широко известный. Об этом свидетельствуют результаты исследований, проведенных различными авторами [3,11]. В задачи данных исследований входила разработка экспериментальной методики определения коэффициента демпфирования  $\xi$ , который входит в уравнение (11) свободных колебаний системы (трансмиссии).

В данном случае момент демпфирования  $M_\partial = \xi \frac{\partial \varphi_3}{\partial t}$  представляет собой величину момента, который учитывает все виды потерь энергии в колебательной системе.

Примем, величину потерь энергии в колебательной системе линейной и пропорциональной от величины амплитуды колебаний крутящего момента, т.е. от величины колебаний рейки ТНВД. Тогда с учетом того, что увеличение расхода топлива со всережимным регулятором составляет  $15,7 \pm 4\%$ , можно определить количество теплоты  $Q_{\text{п}}$ , содержащейся в перерасходованном топливе, кДж/км

$$Q_{\text{п}} = (G_{\text{псерв}} - G_{\text{псерд}}) h_{\text{н}} \rho_{\text{п}} \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

где  $h_{\text{н}}$  – низшая теплота сгорания дизельного топлива;

$\rho_{\text{п}}$  – плотность дизельного топлива, кг/м<sup>3</sup>.

По физической сути  $Q_{\text{п}}$  – прирост потерь теплоты при движении трактора со всережимным регулятором, который имеет большее значение на амплитуду колебаний чем двухрежимный регулятор, при котором меньшая амплитуда колебаний.

Зная время, в течение которого была потрачена это количество теплоты, можно определить

среднее значение потерянной эффективной мощности  $N_{\text{а}}$ , Вт

$$N_{\text{в}} = \frac{Q}{t} \eta_{\text{е}} 10^3 \quad (13)$$

где  $t$  – среднее арифметическое время движения трактора одним километром мерного участка, с/км;

$\eta_{\text{е}}$  – эффективный КПД двигателя.

Среднее значение приведенного угла закручивания коленчатого вала от средней амплитуды колебаний крутящего момента

$$\Delta \varphi_{\text{сер}} = \frac{A_{\text{м}}}{C} \quad (14)$$

где  $C$  – сведенная к оси коленчатого вала крутильная жесткость всех элементов трансмиссии, Н·м/рад.

Используя известную зависимость, по среднему значению потерянной мощности определим среднее значение потерянного момента, Н·м

$$M_{\text{в}} = \frac{N_{\text{в}} 9550}{n_{\text{сер}} \cdot 10^3} \quad (15)$$

где  $n_{\text{сер}}$  – среднее значение частоты вращения коленчатого вала двигателя при движении мерной участком поля, мин-1.

Прирост коэффициента демпфирования определяем по зависимости

$$\Delta \xi = \frac{M_{\text{в}}}{\frac{d\varphi}{dt}} \quad (16)$$

заменив производную  $\frac{d\varphi}{dt}$  на прирост конечных

величин  $\frac{1}{4}$  периода колебаний  $4 \frac{\Delta \varphi_{\text{сер}}}{T}$ , получим

$$\Delta \xi = M_{\text{в}} \frac{T}{4 \Delta \varphi_{\text{сер}}} \quad (17)$$

Результаты расчетов коэффициента демпфирования приведены в табл. 3

Таблица 3

Результаты расчета коэффициента демпфирования  $\xi$

Жесткость элементов трансмиссии	Экономия топлива на 1 км	Потери теплоты, кДж/км	Потерянная мощность, Вт	Сводный угол закручивания, рад	Среднее значение амплитуды колебаний, Нм	Среднее значение периода колебаний, с	Потерянный момент, Нм	Прирост коэффициента демпфирования
745	0,63	2680,9	5326	0,024	38,4	0,36	34,37	48,06



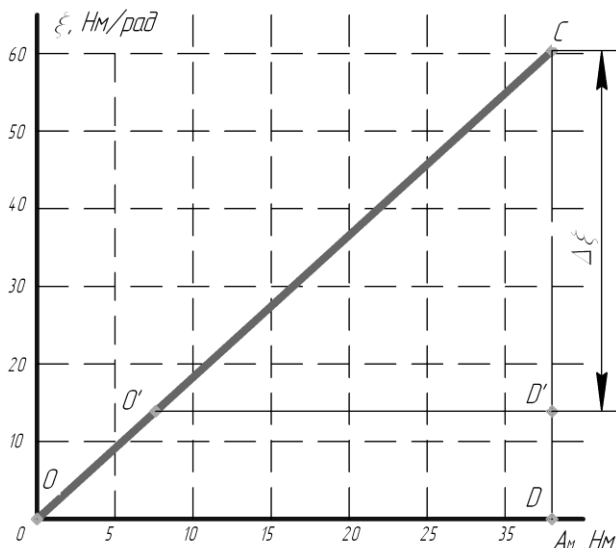


Рис. 2. Изменение коэффициента демпфирования от амплитуды колебания крутящего момента

В соответствии с принятым условием, что коэффициент демпфирования линейно зависит от амплитуды колебаний крутящего момента двигателя которая вызвана колебаниями рейки ТНВД, коэффициент демпфирования проще все-

го определить, используя графическую зависимость изменения  $\Delta\xi$  от амплитуды колебаний крутящего момента, показанную на рис. 2, приняв, что потери энергии равны нулю при отсутствии колебаний крутящего момента.

Таким образом, результаты проведенных полевых испытаний трактора МТЗ-80 показали, что при движении трактора мерным участком поля с постоянной скоростью и фиксированном положении рычага управления подачей топлива с двухрежимным регулятором расход топлива на  $15,7 \pm 4\%$  меньше, чем с всережимным регулятором. При этом амплитуда колебаний рейки ТНВД, т.е. крутящего момента двигателя уменьшается в 2,5 раза.

Итак, в результате полевых испытаний КТС по предложенной методике определен коэффициент демпфирования, учитывающий потери энергии двигателя при движении ТС в условиях неустановившихся нагрузок с различными типами регуляторов.

### Литература

1. Архангельский В.М. Исследование работы двигателя ЗИЛ-130 на режимах разгона / В.М. Архангельский, И.Ф. Голушко // Автомобильная промышленность. – 1965. – №4. – С. 5–8.
2. Работа автомобильного двигателя на неустановившемся режиме / [Акатов Е.И., Белов П.М., Дьяченко И.Х., Мусатов В.С.]. – М.: Машгиз, 1960. – 248с.
3. Болтинский В.Н. Мощность тракторного двигателя при работе с неустановившейся нагрузкой и ее определение / В.Н. Болтинский // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1959. – №2. – С. 3–8.
4. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1989. – 416 с.
5. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивнин и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.
6. Тимошенко С.П. Теория колебаний в инженерном деле. – М.: Государственное научно-техническое издательство, 1932. – 344 с.
7. Вихерт М.М., Мазинг М.В. Топливная аппаратура автомобильных дизелей: конструкция и параметры. – М.: Машиностроение, 1978. – 176 с.
8. Вихерт М.М. и др.. Конструкция и расчет автотракторных двигателей. Машиностроение. – 1964.
9. Говорун А.Г., Копач А.О., Сельский М.П., Куций П.В. Результаты полевых испытаний трактора МТЗ-80 з різними способами регулювання дизеля. Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – Горлівка. 2010. Випуск 1. – с. 110-115.
10. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний.
11. Великанов Д., Бернацкий В. Изучение эксплуатационных режимов работы автомобильного двигателя. – Автомобильный транспорт, 1960, №4, с.40-44.

Govorun A.G., Selskiy M.P., Kutsyi P.V.

### Determination of RTV energy losses under transient movement modes

**Abstract:** This article deals with the analysis and studying of the two main hypotheses of energy loss by a wheeled vehicle under conditions of transient driving modes. According to one of them, the main reason for the loss of energy by a wheeled vehicle on the move is under conditions of transient modes is considered the decrease of an indicator of efficiency of the engine that is caused by changes in its thermal state (thermal inertia). According to another hypothesis, it is believed that the energy loss and increased fuel consumption by RTV engines is caused by changes in friction in the links of the transmission mechanisms as well as energy losses in them aimed at damping (resistance) of the torsional vibrations. Evaluating the traction-speed characteristics of the vehicle, it is accepted that the center of gravity of an RTV makes a plane motion, copying the longitudinal profile of the surface on which the RTV is moving, without fluctuations, that are caused by its irregularities. Is made precise the mathematical model of the motion of the RTV with the above mentioned equation of the traction balance, which takes into account the vibrational motion of the RTV that

is caused by surface irregularities or changes in the moment of resistance movement. To obtain a complete picture of the distribution of potential energy that is caused by the combustion of fuel in the engine and converting it into kinetic energy (translational, rotational and vibrational) motion of the RTV must should be taken into account the motor damping moment (the moment of resistance fluctuations). Herein are presented the field tests of MTZ-80 with trailer PTS-4 with a load  $Q = 3,5$  t. On the basis of these tests, according to the method of calculation of damping rate  $\xi$ . As a result of field research of the MTZ-80 tractor, it was determined that when the tractor moves over the measured section of the field with the constant speed and the fixed position of the throttle lever (to eliminate the subjective factor of influence of the results of the experiment), with a dual-mode governor, fuel loss of  $15.7 \pm 4\%$  is less than with an all-mode governor. The amplitude of the oscillations of FPHP rack, namely the torque of the engine is reduced by 2.5 times. It was also determined an increase of the damping factor, in accordance with the proposed method, which takes into account the energy loss in the engine when an RTV is moving under conditions of transient loads with different types of governors.

**Keywords:** diesel, system of automated regulation of diesel engine crankshaft rotation, fuel pump of high pressure, the amplitude of the fuel pump rail oscillations, damping factor.

*Волков В.П.<sup>1</sup>, Комов П.Б.<sup>2</sup>, Комов А.Б.<sup>2</sup>, Комов Е.А.<sup>1</sup>, Комов А.П.<sup>1</sup>*

**Анализ влияния факторов, обеспечивающих техническую исправность транспортных средств на безопасность автомобильного транспорта**

*Волков Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор  
Комов Петр Борисович, кандидат технических наук, доцент  
Комов Александр Борисович, кандидат технических наук, доцент  
Комов Евгений Александрович, ассистент  
Комов Андрей Петрович, аспирант*

<sup>1</sup> Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

<sup>2</sup> Автомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета

**Аннотация:** Рассмотрены причины роста на автомобильном транспорте числа дорожно-транспортных происшествий, обусловленных техническим состоянием АТС.

**Ключевые слова:** Техническое состояние, безопасность движения, культура эксплуатации, технический контроль, система технической эксплуатации, интеллектуальная транспортная система.

**Постановка проблемы.** Обеспечение технической безопасности эксплуатируемых автомобильных транспортных средств (АТС) имеет огромное значение во всем мире и особенно актуальна эта задача в Украине, где существенным источником роста числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП) является техническое состояние АТС.

**Анализ исследований и публикаций.** Общеизвестно, что неудовлетворительное техническое состояние АТС фигурирует лишь в 2...2,5% случаев ДТП. Однако, как свидетельствуют специальные исследования российских [1 - 3] и других зарубежных ученых [4], эта цифра не вполне соответствует действительности.

Так по информации Европейской конференции министров транспорта, в среднем около 2% аварий происходит из-за неудовлетворительного технического состояния автомобилей. По информации главной дирекции транспорта Европейской комиссии неудовлетворительное техническое состояние АТС является причиной около 4% ДТП, а в 10% случаев существенно увеличивается степень их последствий [5].

Однако результаты специальных исследований показывают, что официальные статистические показатели существенно занижены вследствие неточной, зачастую только визуальной, оценки состояния автомобиля на месте происшествия, неполного учёта неисправностей и недостаточного корректирования данных. По мнению специальных экспертов, воздействие технического состояния АТС на обеспечение безопасности движения значительно выше. Так по разным странам мира, доля происшествий из-за неисправности автомобилей в общем числе ДТП составляет: 10...20% в Германии; 15...25% в США; 20% во Франции; 18...20% в Венгрии; 11...12% в Дании [3].

**Постановка задачи.** Факт влияния технического состояния АТС на обеспечение безопасности движения редко находит отражения даже в статистике развитых стран. Часто такие ДТП классифицируются как ДТП "по вине водителя" с уточнением "не справился с управлением" или "утомление", "невнимательность" [2].

На наш взгляд, такие ДТП действительно являются виной водителя, но их причина абсолютно в ином. В Украине эти ДТП обусловлены ко-

ренным изменением культуры эксплуатации автомобильного транспорта (АТ).

**Материалы исследования.** Культура эксплуатации АТ – это новый термин для современной технической эксплуатации автомобилей (ТЭА) как практики, однако в науке ТЭА он существует достаточно давно. Это важнейшая четвертая составляющая условий эксплуатации, которая в 1984 г. была выделена учёными Харьковского национального автомобильного дорожного университета (ХНАДУ) как существенное дополнение к трём общеизвестным видам условий эксплуатации АТ [6]: – условия дорожные; – условия транспортные; – условия климатические.

Культура эксплуатации – это организационная культура, которая, согласно основополагающим положениям теории организации, представляет собой общепринятую в той или иной организации (например, отрасли АТ) систему представлений и подходов к постановке дела, к формам отношений и к достижению результатов деятельности, что отличает данную организацию от других [7]. (Например, АТ периода СССР от АТ Украины в XXI веке или АТ современной Украины от АТ других стран).

Существуют культуры сильные и слабые. Культуры сильные характеризуются наличием в организациях главных (стержневых) ценностей, которые интенсивно поддерживаются, чётко определены и широко распространяются, что в целом является более эффективным, чем любой формальный контроль. Однако для этого необходимо, чтобы культура, стратегия, окружение (среда внешняя) и технологии (среда внутренняя) были приведены в соответствие, т.е. культура организации должна быть приемлемой для определённого периода времени и условий.

Культуры слабые – это, прежде всего, организации молодые, где присутствует процесс ротации понятий (мнений), что характерно, например, для современного АТ и других отраслей народного хозяйства Украины. Именно «процесс мнений» вызывает смену организационной культуры большинства организаций и сегодня он обусловлен объективными причинами – это коренными изменениями в Украине государственного регулирования, стремительными экономическими переменами а также внедрением абсолютно новых технологий во многих отраслях народного хозяйства и, прежде всего на АТ.

Общеизвестно, что, по мнению учёных – специалистов в сфере теории организации, перспективным направлением в развитии современных организаций является, повышение их эффективности за счёт человеческих ресурсов, управление которыми, согласно теории МакГрегора, может

осуществляться на основе двух («Х» и «У») основных моделей:

– наличие иерархии управления, «программирование» деятельности человека, усиление её внешнего контроля (модель «Х»);

– акцент на самоорганизацию, самоконтроль, насыщение исполнительской функции человека «интеллектуальными функциями» (модель «У»).

В современной ТЭА, как одной из подсистем АТ, приоритет отдан прогрессивной модели «У», т.е. модели «человеческих отношений», которая законодательно отражена в «Правилах оказания услуг по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р) автомобильных транспортных средств», которые утверждены Приказом Министерства транспорта Украины №792 от 11.11.2002г., где все отношения между заказчиком услуги и её исполнителем определяет договор, который, по мнению специалистов ГосавтотрансНИИпроект [8], обеспечивает «прозрачность взаимоотношений в сфере автосервиса.

При этом главное состоит в том, что исполнитель услуг по ТО и Р, согласно ст. 28 Закона Украины "Об автотранспорте" не может навязывать заказчику дополнительные оплачиваемые услуги. Все услуги «заказывают» собственники АТС, а также лица, которые их эксплуатируют, которые согласно ст. 36 Закона Украины от 30.06.93г. "О дорожном движении" обязаны обеспечивать своевременное и полное проведение работ по ТО и Р в соответствии с нормативами, установленными для АТС заводами изготовителями.

Общеизвестно, что на АТ, согласно ст. 2 Закону Украины от 5.04.01г. "Об автотранспорте" существует три вида АТ [9]: – транспорт общего пользования; – транспорт ведомственный; – транспорт индивидуальный.

На индивидуальном АТ заказчиком услуг является лишь водитель, который, как и водители других видов транспорта (общего пользования, ведомственный) является абсолютно «технически безграмотным».

«Техническая безграмотность» современных водителей АТ обусловлена резким снижением требуемого уровня их технической подготовки в автошколах. Так, например, если ранее, в конце XX века объем учебных часов дисциплины «Устройство и ТО автомобиля», даже согласно «Программе средней школы. Трудовое обучение. Автодело. Шофер», утвержденной Министерством образования и ГАИ МВД СССР, составлял 304 часа, то в начале XXI века лишь 10 часов. Это регламентировано, например, в Украине «Типовой учебной программой подготовки и переподготовки водителей транспортных средств», утвержденной постановлением КМУ №229 от

2.03.2010 года, которое в целом соответствует мировым требованиям.

Сегодня водитель обязан быть отличным «пилотом» в условиях сверхинтенсивных транспортных потоков на улицах и дорогах мира, и не обязан знать устройство современного, фактически «кибернетического» АТС.

Поэтому любой современный водитель не в состоянии объективно оценить техническое состояние своего АТС, которое обязано соответствовать достаточно жестким, существующим ныне, требованиям стандартов в области технической безопасности АТС и охраны окружающей среды, а также правилам ТЭА и требованиям других нормативов [2].

Как результат, технические задачи, которые современный водитель обязан ставить перед ТЭА, не являются грамотными. Так, согласно исследованиям российских учёных [1-3], сегодня большинство водителей (владельцев АТС) либо вообще игнорируют периодические технические воздействия, либо исключают при периодическом ТО проведение диагностирования АТС, гарантирующие выявление возможных неисправностей, требуемых регулировок и межремонтного ресурса.

Некоторые водители прибегают к упрощенным методам проверки технического состояния своих АТС. Например, стремятся исключить современное диагностирование, что, как показывает практика, дает в итоге грубые и приблизительные результаты, не гарантирующие выявления возможных неисправностей, требуемых регулировок и межремонтного ресурса, даже на уровне периодичности ТО-1 ( $\approx 5$  тыс. км) [2].

В результате /2/: снижается необходимый уровень технического состояния АТС; резко повышаются эксплуатационные затраты на выполнение транспортной работы. Однако главное состоит не в том, что существенно страдают сами автовладельцы. Основным результатом закономерной «технической безграмотности» современного водителя является резкое снижение технического состояния АТС и, как результат, снижение уровня безопасности дорожного движения и ухудшение экологического состояния природной среды.

Техническое состояние АТС, согласно исследованиям д.т.н. Мороз С. М., остается третьей по значимости причиной ДТП, обусловленной тем, что достигнутые изготовителями показатели безопасности АТС, в процессе эксплуатации снижаются [10]. Поэтому безопасность АТ, во всех экономически развитых странах мира, по мере развития экономики и общества, является объектом жесткой регламентации.

Так, в мировой практике существуют два основных подхода к оценке безопасности АТС [10]:

– оценка в момент сертификации самой конструкции соответствию требованиям и нормам по безопасности

– оценка соответствию требований по безопасному состоянию в процессе эксплуатации, посредством контроля при периодическом принудительном техническом осмотре.

Дополнительно оценка безопасности АТС производится при допуске автомобиля к эксплуатации. Существует две формы допуска: – регистрация; – лицензирование.

Анализ ДТП с тяжелыми последствиями показал приоритет контроля в процессе эксплуатации АТС. Установлено, что если бы все АТС любой категории, имели бы показатели безопасности как у их исходных образцов, т.е. отвечали бы всем действующим требованиям безопасности, например, в момент сертификации, то половина случаев со смертельным исходом или инвалидностью была бы на АТ предотвращена [10], что указывает на актуальность и важность для АТС вопроса их технического контроля.

Подтверждением этому является анализ передового зарубежного опыта, который показывает, что наличие обязательного жесткого технического контроля АТС и принудительного ограничения допуска неисправных АТС к дорожному движению является обязательным.

Например в Германии технический контроль автомобильного парка осуществляет Объединение технического надзора (*Technischer Uberwachungs-verein*), сокращенно ТЮВ (*TUV*) [11]. Согласно действующему здесь закону, к техосмотру предоставляются новые автомобили после трех лет их эксплуатации, а после четырех лет – ежегодно. При этом, по результатам проверки, автомобиль может быть отнесен к одной из четырех групп:

1 – без недостатков;

2 – наличие незначительных недостатков (например, перегорела лампа в системе освещения);

3 – наличие значительных недостатков;

4 – ненадежен (небезопасен).

Разрешением на эксплуатацию АТС в Германии является специальная наклейка на номерной знак, выдаваемая ТЮВ. Эксплуатация автомобиля без наклейки может иметь негативные последствия, (например, при аварии владелец такого автомобиля будет признан виновным; ему не будет выдана страховка и т.п.).

В США организация и проведение контроля технического состояния автомобилей осуществляется федеральным Министерством транспорта

и Агентством по охране окружающей среды, а также администрациями отдельных штатов [12]. Непосредственно контроль технического состояния, например, коммерческих автомобилей здесь выполняет инспектор в соответствии с требованиями (перечень операций, порядок проведения, оформление документации) Федеральной администрации автодорожного хозяйства (FHWA). При проведении контроля инспектор должен получить полный отчет о том, когда и какие виды ТО и Р были выполнены по контролируемому автомобилю, а также сведения о месте постоянного хранения (стоянки). Рапорт инспектора об осмотре или контроле обязан присутствовать на борту автомобиля.

Администрации штатов могут разрешать проведение ежегодного контроля технического состояния владельцам АТС – автотранспортным компаниям (АТК), посредством организованной на АТК «самоинспекции». Однако FHWA оставляет за собой право контроля качества его проведения. При нарушении правил контроля предусмотрено, что Администрации штатов могут вводить штатные законы и ограничения, действующие внутри отдельных штатов. По некоторым вопросам контроля штаты устанавливают двух или многосторонние правила или вводят соглашения. Одним из таких соглашений является Программа контроля состояний автомобиля (CVSA – *The Commercial Vehicle Safety Alliance*) в которую входят сорок шесть штатов США и десять провинций Канады. Программа предусматривает унифицированные и сравнимые по штатам требования, формы, знаки о прохождении контроля, технологию контроля, основанные на калифорнийской методике контроля критических точек (*The California Highway Patrols «Critical Items» inspection*), согласно которой контроль продолжительностью 15 мин включает проверку колес, подвески, тормозного и рулевого управлений, системы освещения и сцепного устройства.

В соответствие с чем, в Украине, согласно уже имеющемуся международному опыту, необходимо:

во-первых, реанимировать технический контроль индивидуального АТ;

во-вторых, связать технический контроль транспорта общего пользования, а также ведомственного АТ с системой ТЭА.

Установлено, что необходимый уровень технического состояния АТС, может обеспечить лишь такой комплексный подход, где технический контроль в совокупности с системой ТЭА, т.е. обязательные технические воздействия ТО и Р, являются наиболее действенным средством в обеспечении заданного уровня технической без-

опасности АТС, что соответствует требованиям XXI века.

Однако, если проанализировать лишь количество имеющихся в Украине предприятий по исполнению услуг ТО и Р, то даже этот количественный параметр явно не соответствует существующим нормам.

Подтверждением может служить следующее. Например, на 1.09.03г. в Украине было выдано физическим и юридическим лицам 48229 лицензий, согласно которым (по численности лицензионных карточек) услуги по перевозке, пассажиров и грузов оказывают 198736 ед. «коммерческих» АТС. Донецкая область имеет приблизительно 20000 ед. таких АТС, т.к. располагает 4805 лицензиями. Тогда, если принять условно, что все 20000 ед. являются абсолютно новыми коммерческими легковыми автомобилями малого класса (рабочий объем двигателя от 1,2 до 1.8 л.), т.е., например, что это автомобили класса ВАЗ-2110, и их пробег в день не превышает 100 км., то, согласно существующему в Украине документу – «Положение о техническом обслуживании и ремонте дорожных транспортных средств автомобильного транспорта», для «технического поддержания», даже такого лишь коммерческого (без индивидуальных АТС) парка требуется наличие только в Донецкой области около 1000 рабочих мест, а для осуществления ежедневного обслуживания еще надо 750 мест. При этом 230 мест из общей численности должны существовать только для проведения профилактических воздействий ТО. По нормам технической эксплуатации – это свыше 30 конвейеров по три рабочих поста каждый. Однако даже такая, довольно низкая, по отношению к требуемой (по нормативам технической эксплуатации), мощность ПТБ лицензионных АТС в области практически отсутствует.

Особого внимания заслуживает статистика по индивидуальным автомобилям. В Евросоюзе существует с 2004 г. розничный сектор по торговле и ремонту АТС. Это примерно 350000 малых и средних станций технического обслуживания (СТО), в том числе 118000 авторизованных и 232000 независимых предприятий различной организационной формы, включая индивидуальных предпринимателей. Данные предприятия насчитывают 2,5 млн. рабочих мест. Обслуживанию подлежат более 210 млн. автомобилей, т. е. в Европе одна СТО приходится на каждые 600 ед. автомобилей или одно рабочее место (один слесарь) на 84 ед. автомобилей [4, 13]. Для сравнения, в России существует более 19500 предприятий, относящихся к ТО и Р автомобилей. При парке в 30 млн. ед. автомобилей это означает, примерно, одно предприятие на 1500

ед. автомобилей, т.е. сегодня здесь необходимо создать еще более 22000 предприятий, чтобы на каждую 1000 ед. АТС приходилось в среднем примерно 1,5 СТО, как в Европе /3/. Примером, подтверждающим важность вопроса является ситуация в США. Здесь в тех штатах где количество предприятий по ТО и Р достаточно, а качество выполняемых работ соответствует требованиям, средний показатель смертности от ДТП на 25% ниже от среднего по США.

В Украине фактический уровень «количественного» состояния ПТБ отстает от заданного. Поэтому, с учетом важности вопроса развития ПТБ, необходимо этот процесс стимулировать «искусственно», где наиболее действенным методом является контроль, а его главным инструментом на АТ – государственный технический контроль (ГТК), где уже сегодня повсеместное внедрение получили новейшие технологии, а именно:

- системы контроля качества ГТК (соответствие стандартам ИСО 9000);
- адаптивные системы управления с элементами индивидуального подхода к каждому автомобилю;
- системы диагностики АТС и мониторинга данных полученных по их результатам [9].

Однако установлено, что наиболее действенным, современным средством активизации связи (технический контроль + система ТЭА), которое способствует развитию ПТБ, является дальнейшее совершенствование системы технического контроля АТС на основе создания интеллектуальных транспортных систем – *Intelligent Transport Systems (ITS)*.

*ITS* обеспечивают контроль в режимах времени «on line» либо «off line». Они передают информацию о параметрах АТС и его местонахождении на сервер – виртуальный «отдел сбора и обработки информации». В результате в отрасли АТ возникает возможность контроля не только

уровня технического состояния АТС, но и своевременности момента прохождения им плановых воздействий по обеспечению эксплуатационной надежности.

Инструментом достижения этой возможности является установка на борту АТС устройства космического позиционирования объекта на Земной поверхности, получивших название «трекер». Трекеры в Украине уже присутствуют на борту абсолютного большинства единиц подвижного состава транспорта общего пользования, а, например, в России с 01. 01. 2013 г. это обязательный элемент в оснащении этого транспорта.

При отсутствии трекера могут использоваться устройства современной системы связи (*GPRS*) информационной среды *Internet*. Это, например, обыкновенные сотовые телефоны, обладающие «программной» возможностью считывать необходимую информацию с бортового сканирующего устройства АТС, и передавать эту информацию любому абоненту системы, в том числе и «виртуальному механику-контролеру» на пункт контроля параметров технического состояния АТС.

**Выводы.** Основным итогом проведенного анализа является следующее:

во-первых, необходимо обязательное проведение государственного технического контроля АТС (в том числе и индивидуальных владельцев) как важнейшего, регламентированного международной практикой, компонента системы обеспечения эксплуатационной надежности и, соответственно, безопасности АТС;

во-вторых, необходима активизация внедрения автоматизированных систем контроля АТС по соблюдению и выполнению ими графиков проведения воздействий, обеспечивающих эксплуатационную надежность транспорта общего пользования на основе широкого использования имеющихся возможностей *ITS*.

### Литература

1. Мороз С.М. Научные основы обеспечения эксплуатационной безопасности автотранспортных средств. Дисс. на соискание ученой степени д.т.н.. МАДИ (ГТУ), (НИИАТ). Москва, 2005, 398 с.
2. Малащук П.А. Оценка организации производственного процесса проверки технического состояния автотранспортных средств. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н. РАН. Уральское отделение. Коми научный центр. Сыктывкар.– 2009. 187 с.
3. Ахмеджанов Р.Ш. Повышение эффективности функционирования предприятий технического сервиса автомобилей (на примере участка приемки-выдачи). Дисс. на соискание ученой степени к.т.н.. МАДИ (ГТУ), Москва 2008. 294 с.
4. DAT-Report 2007 // Deutsche Automobil Treuhand GmbH, 2007, www.DAT.de
5. Суковицин В.И., Милешкина Н.Д., Семибратова Л.В. Технический осмотр транспортных средств (обзор) // Автомобильная промышленность США. – М., 1996. – №1. – С.13-24.
6. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. – Х.: Вища школа, 1984. – 312 с.
7. Баранников А.Ф. Теория организации: Учебник для вузов – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 700 с.
8. Мерзиевський В.В., Горбаха П.А. Коментар до правил надання послуг з технічного обслуговування і ремонту автомобільних транспортних засобів // Автосервіс. - 2003. -№4. С.11.
9. Збірник законодавчих та нормативних документів, що регламентують діяльність автомобільного

- транспорту з питань безпечних перевезень і вантажів. – К.: Основа, 2001. – 576 с.
10. Сироткин А.В. /ОАО «НИИАТ» Журнал Автомобильных Инженеров №6 (65) 2010. С. 50 – 53.
11. Хубаев Б. Рапорт ТЮВ // За рулем. – 2001. -№4. – С.72 -73.
12. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей в США. М.: Транспорт, 1992. – 352 с.
13. Волгин В. В Тенденции европейского рынка авторемонта // Новости авторемонта, 2006, №49: – С.22-23.

**Volkov V.P., Komov P.B., Komov A.B., Komov E.A., Komov A.P.**

**Analysis of factors influence of providing technical reliability of vehicles on the road transport safety**

**Abstract:** The reasons of traffic accidents number growth in automobile transport because of the negative technical state of the vehicles are given.

**Keywords:** Technical condition, serviceability, safety, culture exploitation, technical inspection, the system of technical operation, the intelligent transportation system.

*Виноградов С.А.<sup>1</sup>, Консуров Н.О.<sup>2</sup>, Грицына И.Н.<sup>3</sup>*

**Высокоскоростные струи жидкости как механизм разрушения элементов строительных конструкций при проведении аварийно-спасательных работ**

<sup>1</sup> *Виноградов Станислав Андреевич, кандидат технических наук, старший преподаватель*

<sup>2</sup> *Консуров Николай Олегович, аспирант*

<sup>3</sup> *Грицына Игорь Николаевич, кандидат технических наук, доцент  
Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков*

**Аннотация:** В работе рассмотрен механизм разрушения твердого хрупкого материала при воздействии на него высокоскоростной струей жидкости. Определены необходимые параметры струи для успешного разрушения бетонных и кирпичных элементов строительных конструкций. Предложена конструкция устройства гидроразрушения.

**Ключевые слова:** аварийно-спасательные работы, аварийно-спасательный инструмент, разрушение, высокоскоростная струя жидкости, гидропушка.

**Постановка проблемы.** Успех аварийно-спасательных работ при разрушении зданий в основном зависит от времени, затраченного на их проведение. Это время зависит от средств, при помощи которых проводятся аварийно-спасательные работы, умений и навыков в их использовании, а также от умений правильно организовывать проведение аварийно-спасательных работ (АСР).

Очень часто при разрушении зданий образуются пустоты, в которых могут находиться пострадавшие. Для их спасения необходимо произвести проломы в стенах или в перекрытиях. При этом нужно помнить, что завал - это хаотическое нагромождение обломков строительных конструкций, мебели и сантехнического оборудования, зачастую с непредсказуемой стойкостью. Поэтому аварийно-спасательный инструмент, необходимый для создания проломов, должен обеспечивать достаточную производительность, быть компактным, переносным, работать по возможности без вибраций и обеспечивать минимальное пылеобразование. Предпочтительно, чтобы такой инструмент был безыскровым.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Наиболее полно вопрос о применении аварийно-спасательного инструмента рассмот-

рен в [2, 4]. Самым применяемым аварийно-спасательным инструментом является традиционный ручной, гидравлический, электрический и пневматический. К наиболее перспективным инструментам следует отнести системы гидроабразивной резки типа «Собра» или ее российский аналог «Гюрза» [6]. Применение данных устройств целесообразно, когда речь идет о разрушении пластичных материалов, в том числе и для деблокирования пострадавших в ДТП. Однако при создании проломов в конструкциях разрушенных зданий мы имеем дело с бетоном, железобетоном, кирпичной кладкой. Любой из этих материалов намного лучше противостоит сжатию, чем растяжению, а во всех перечисленных выше устройствах реализуется разрушение сжатием (к примеру, внедрение твердого наконечника и даже воздействие высокоскоростной струей жидкости).

Чередование в строительных конструкциях напряжений сжатия и растяжения выше предельных значений при создании проломов позволит повысить производительность инструмента. Реализовать знакопеременные напряжения в конструкции можно с использованием импульсной ультраструи. Взаимодействие импульсной струи жидкости и твердотельной преграды рас-

смагивалось в [1, 7]. В работах [3, 4] импульсные высокоскоростные струи жидкости рассматривались как средство тушения пожаров газовых фонтанов.

**Постановка задачи и ее решение.** В основу работы положена задача определения механизма разрушения твердого хрупкого материала при воздействии на него высокоскоростной струей жидкости, определение необходимых параметров струи и конструкции устройства гидроразрушения.

При воздействии импульсной струи жидкости на поверхность твердого тела, повреждение материала имеет различные особенности [1]. В хрупких и недостаточно пластичных материалах, к которым следует отнести бетон и кирпич, при скоростях удара, превышающих критическую скорость разрушения, образуются трещины. Они обычно зарождаются при прохождении волны напряжения в зонах высоких напряжений растяжения, которые возникают у границы области углубления вблизи поверхности преграды на некотором расстоянии от места удара. Сначала в зоне прохождения волны преобладают напряжения сжатия, но после того, как от контактной области отделяется волна сдвига, на значительное расстояние по радиусу распространяются напряжения растяжения заметной величины. Разрушение происходит либо вследствие прохождения волн напряжения, либо вследствие деформации, в зависимости от скорости распространения волн в материале преграды, а также от характеристик прочности материала на разрыв.

При воздействии волн напряжения, возникающих при ударе, очаги разрушения могут развиваться на некотором расстоянии от контактного пятна, где давление максимально. Разрушение может произойти в результате взаимодействия волн напряжения с небольшими поверхностными трещинами и другими микроструктурными образованиями, которые являются концентраторами напряжений. Разрушение может также возникать и под действием волн напряжения, амплитуда которых в течение достаточно длительного промежутка времени превышает динамический предел прочности материала преграды. При этом повреждение материала волной напряжения не обязательно определяется взаимодействиями с микроструктурными элементами материала.

При средних скоростях распространения волн кольцевые трещины, обусловленные воздействием больших радиальных составляющих растягивающих напряжений, появляются раньше следов разрушения, возникающих вследствие деформации, или почти одновременно с ними. Конечно, во многих твердых хрупких материалах деформация в зоне контакта бывает небольшой, и при таком виде повреждений не достигается критического уровня напряжений, вызывающего разрушение материала.

При разрушении зданий возникает необходимость производить разрушение в стенах и плитах перекрытий. Толщина большинства стен для нашей климатической зоны не превышает 0,5-0,6 м, а плит перекрытий – 0,3 м.

Разрушения строительных бетонных конструкций высокоскоростной струей жидкости (ультраструей) наблюдается при скоростях порядка 500-600 м/с, при этом максимальная толщина фундаментного блока разрушенного экспериментально с первого выстрела – 0,5 м [7].

Процесс разрушения бетонной плиты упрощенно представлено на рис. 1. При воздействии ультраструи 5 на поверхности образуется динамическая воронка – разрушение за счет сжатия. Зона разрыхления (гидроэрозии) 2 образуется за счет активного образования трещин в бетоне при знакопеременных нагрузках. Большая часть измельченного материала выносится из зоны хвостовой части ультраструи. В зоне пластической деформации 3 разрушений не происходит. Напряжения в материале меньше предельных. Разрушения в данной зоне возможны при местном ослаблении материала (каверны, трещины и т.д.). В некоторых случаях возможно образование зоны откола 4. Наличие данной зоны типично для бетонных конструкций и приводит к тому, что пробитие конструкции возможно при меньших энергетических затратах. При аварийно-спасательных работах даже не большие отверстия в конструкции увеличивают шансы на спасение пострадавших. В отверстие можно подать воздух, воду, обеспечить связь или оказать психологическую помощь.

Для оценки глубины проникновения  $L_{пр}$  можно использовать формулу [5]

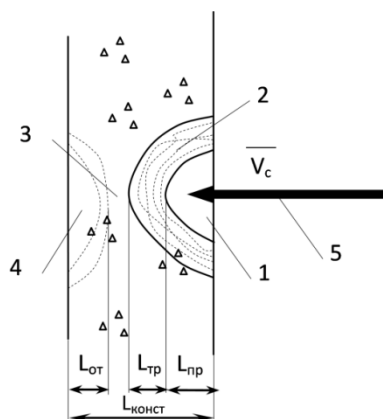
$$L_{пр} = k_n \lambda \frac{m}{d_c^2} V_c \cos \alpha \quad (1)$$

где  $k_n$  – коэффициент прочности поверхности, зависящий от качества материала (для высокопрочного бетона  $k_n = 9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 \cdot \text{с} / \text{кг}$ );  $\lambda$  – коэффициент, характеризующий относительное влияние формы струи (для оценки принимаем  $\lambda = 1$ );  $m$  – масса заряда, кг;  $d_c$  – диаметр струи, м (для оценки можно принимать равным калибру установки);  $V_c$  – скорость струи в момент столкновения с преградой, м/с;  $\alpha$  – угол падения струи по отношению к нормали преграды.

Проверка адекватности данной формулы по результатам, приведенным в [7], показал сходимость в пределах 20%. Формула не дает возможности определять протяженность зоны разрых-



ления  $L_{тр}$  и зоны возможного откола  $L_{от}$ . Протяженность этих зон, как правило, определяется экспериментальным путем.



**Рис.1** – Разрушение бетонной плиты при воздействии на нее высокоскоростной струи: 1 – динамическая воронка, 2 – зона разрыхления, 3 – зона упругих колебаний (зона сотрясения), 4 – зона откола, 5 – высокоскоростная струя.

Величина проникновения струи в преграду из высокопрочного бетона по формуле (1) при  $\alpha=0^0$  (падение струи по нормали),  $d_c=0,015$  м приведена в таблице 1. Масса заряда варьировалась в пределах от 50 до 200 грамм.

Анализ результатов (табл.1) показывает, что для пробития бетонных стен толщиной 0,2-0,5 м зарядом жидкости массой 100-150 г необходимо обеспечивать скорости струи в месте контакта с преградой  $V_c \approx 1000$  м/с.

Для компенсации отдачи при создании огнестрельного оружия придерживаются соотношения, при котором масса оружия в 100 раз тяжелее заряда. С учетом данного соотношения, масса установки должна быть 20-25 кг. Установки такой массы относятся к переносным, а расчет не превышает двух человек.

**Таблица 1**

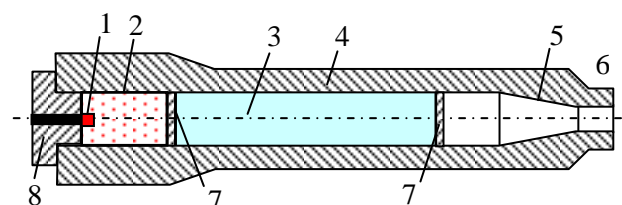
Величина проникновения водяной струи в бетонную преграду

Масса заряда <i>m</i> , кг	Скорость струи $V_c$ , м/с							
	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0,05	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,24
0,1	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36	0,4	0,44	0,48
0,15	0,3	0,36	0,42	0,48	0,54	0,6	0,66	0,72
0,2	0,4	0,48	0,56	0,64	0,72	0,8	0,88	0,96

Для обеспечения скоростей  $V_c \approx 1000$  м/с целесообразно использовать гидропушку. Принципиальная особенность гидропушки – получение импульсных струй, динамический напор которых намного превышает статическое давление в стволе установки. Для проведения аварийно-спасательных работ установка должна обладать

определенной автономностью, этим требованиям удовлетворяют гидропушки с пороховым приводом. Схематическая конструкция пороховой гидропушки представлена на рис. 2. При допустимых внутренних давлениях можно получать скорости более 2000 м/с [7], при этом динамический напор будет превышать 30 ГПа.

Процессы в пороховой гидропушке (ГП) начинаются с момента воспламенения пороха. В начальный момент (рис.2) воспламенитель 1 зажигает пороховой заряд, расположенный в камере сгорания 2. Пороховые газы разгоняют водяной заряд 3 в стволе 4, жидкость вытекает в сопло 5. При вытекании жидкости в сужающемся сопле вода дополнительно разгоняется и значительно увеличивает свою скорость. Сопло заканчивается коллиматором 6, который предназначен для стабилизации струи и увеличения дальности ее подачи.



**Рис. 2.** – Пороховая гидропушка: 1 – воспламенитель, 2 – камера сгорания, 3 – вода, 4 – ствол, 5 – сопло, 6 – коллиматор, 7 – пыж, 8 – затвор со спусковым механизмом.

Для создания аналогичных устройств целесообразно использовать гладкоствольные оружейные системы. Наиболее распространенными системами являются гладкоствольные ружья 12 калибра. Механика данных ружей отлично зарекомендовала себя. При упрочнении стволов и оборудовании их сопловыми приспособлениями можно создать установку, способную разрушать бетонные и кирпичные конструкции при проведении аварийно-спасательных работ. При длине 1 м в стволе может разместиться 0,2 кг воды, при этом разгонный участок составит  $\approx 0,3$  м. Полная зарядка ствола водой – 0,28 кг, в этом случае устройство будет работать в режиме импульсного водомета, дальность подачи струи увеличиться, а скорости истечения уменьшатся.

**Выводы.** Гидроимпульсные технологии являются перспективным направлением развития аварийно-спасательного инструмента. В работе показано, что разрушение строительных конструкций возможно импульсными струями массой 0,05-0,2 кг со скоростями падения на преграду 700-1200 м/с. Для получения таких параметров импульсной струи целесообразно использовать гидропушки, созданные с использованием существующих гладкоствольных систем. Масса

установки для компенсации отдачи должна быть 20-25 кг. Это дает возможность необходимого упрочнения ствола. Таким образом, создание переносных устройств импульсного разрушения

строительных конструкций жидкостью является возможным и перспективным направлением развития аварийно-спасательного инструмента.

### Литература

1. Абашин М.И. Механизм гидроэрозионного разрушения твердотельной преграды / Абашин М.И., Хафизов М.В. // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». – 2011. – №10. – Режим доступа к журналу: <http://technomag.edu.ru/doc/223166.html>.
2. Аветисян В.Г. Рятувальні роботи під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій: посібник // Аветисян В.Г., Адаменко Н.И., Александров В.Л. – Київ: Основа, 2006. – 239 с.
3. Виноградов С.А. Повышение эффективности тушения газовых фонтанов: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн наук: спец. 21.06.02 «Пожарная безопасность» / С.А. Виноградов. – К., 2012. – 24 с.
4. Виноградов С.А. Чинники впливу водяного струменя високої швидкості на процес припинення горіння газового фонтана / Виноградов С.А. // Науковий вісник УкрНДПБ. – Київ, 2012. - № 1 (25). – С. 21-25.
5. Ефимов М.Г. Теория проектирования артиллерийских снарядов. Часть II. Действие снарядов. / Ефимов М.Г. – Л.: Изд. Артиллерийской академии РККА им. Дзержинского, 1935. – 77 с.
6. Применение мобильного комплекса «Гюрза» для проведения операций повышенной сложности на объектах энергетики / [Алешков М.В., Безбородько М.Д., Емельянов Р.А., Плосконосов А.В.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2012. – №2. – С. 4-9.
7. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / Александр Николаевич Семко - Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2007. – 149 с.
8. Учебник спасателя. / [С.К. Шойгу, М.И. Фалеев, Г.Н. Крилов и др.] – Краснодар: «Советская Кубань», 2002. – 528 с.

**Vinogradov S.A., Konsurov N.O., Hritsyna I.N.**

#### **Liquid high-speed jets as a mechanism destruction of elements building construction during rescue operations**

**Abstract:** To rescue people in accidents, usually necessary to make breaches in the walls or overlapping's. It needs to use rescue tool. Modern requirements for it are such that the rescue tool needed to create the breaches should provide enough productivity, be compact, portable, work as possible without vibration and ensure a minimum of dust. Preferably, such tool should be non-sparking. The main modern building materials - concrete, reinforced concrete and brick. Any of these materials is much better resists compression than tension. However, the alternation in structures compression and extension stresses above the limit values in creating the breaches and these things increasing productivity of tool. To realize alternating tensions in design is possible using impulse liquid high-speed jets. When liquid high-speed jet exposed on a concrete slab, a dynamic funnel formed on its surface – destruction due to compression. Loosening zone formed by the active formation of cracks in the concrete under alternating loads. The majority of particulate material carried from the zone using tailpiece of jet. In some cases, the formation of spalling zone is possible. The presence this zone is typically for concrete structures and will lead that the construction may break at a lower energy costs. The analysis of the theoretical results show that for breaking concrete walls up to 0.5 m thick fluid charge 100-150 g weight is necessary to ensure the jet velocity at the contact with a barrier about 1000 m/s. To provide such speeds appropriate to use hydrocannon. The principal feature of hydrocannon is getting pulse jets, which dynamic pressure is much higher than the static pressure in the barrel installation. Setting for holding rescue operations should have some autonomy, and these requirements are met by hydrocannon with gunpowder drive. To compensate for the impact with the creation of firearms adhere to the ratio at which the mass of firearms 100 times heavier than the charge. With this ratio, the weight of the installation should be 20-25 kg. The installation of such weight applies to portable and shall not exceed two persons. Thus, the creation of portable devices pulse destruction of building structures liquid is possible and promising direction of development of emergency rescue tools.

**Keywords:** rescue operations, rescue tool, destruction, liquid high-speed jet, hydrocannon.

## Решение задачи теплообмена при струйной очистке резервуаров от остатков нефтепродуктов

<sup>1</sup> Липовой Владимир Александрович, адъюнкт,  
Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков

**Аннотация:** В работе предложено численное решение задачи процессов теплообмена при струйной очистке резервуаров от остатков нефтепродуктов нагретым раствором технических моющих средств, что позволяет определять параметры взрывопожароопасности процесса очистки.

**Ключевые слова:** взрывопожароопасность, тепловой обмен, концентрация паров нефтепродукта.

**Постановка проблемы.** Для обеспечения взрывопожароопасности процессов очистки резервуаров от остатков нефтепродуктов необходимо знать время проведения технологических операций, на протяжении которого будет происходить испарение нефтепродукта в свободный объем резервуара, что в конечном итоге позволит определять их концентрацию и оценивать взрывопожароопасность процесса. Это позволяет выполнить одно из направлений системы предупреждения пожаров - поддержание безопасной концентрации среды в соответствии с нормами и правилами и другими нормативно-техническими, нормативными документами и правилами безопасности [1].

**Анализ последних достижений и публикаций.** Очистка резервуаров от остатков нефтепродуктов – довольно часто повторяющаяся технологическая операция, от которой в значительной степени зависит безопасность и эффективность эксплуатации резервуарного парка в Украине.

Нормативные документы устанавливает следующие сроки проведения периодической очистки резервуаров: не менее двух раз в год - для топлива к реактивным двигателям, авиационных бензинов, авиационных масел и их компонентов; не менее одного раза в год - для присадок к смазочным маслам и масел с присадками; не менее одного раза в два года - для остальных масел, автомобильных бензинов, дизельных топлив, парафинов и других аналогичных им по свойствам нефтепродуктов [2]. Кроме того, очистка резервуаров необходима при смене сорта нефтепродукта, при освобождении от пирофорных отложений, ржавчины, воды, высоковязких осадков с наличием минеральных загрязнений, а также для проведения комплексной дефектоскопии, очередных или внеочередных ремонтов.

Очистка резервуаров от остатков нефтепродуктов, как правило, производится ручным или механизированным способами. При этом не существует методик оценки взрывопожароопасности этих процессов.

Состав нефтеостатка может быть различным и содержать углеводородные соединения, свободную воду, связанную в эмульсиях воду, механические примеси, некоторые элементы в свободном виде или в виде химических соединений. Наиболее эффективными являются химикомеханизированные способы очистки резервуаров за счет комплексного воздействия физико-химического, термического и механического воздействия моющей жидкости на остатки нефтепродуктов [3, 4].

**Постановка задачи и ее решение.** При проведении операций химико-механизированного способа очистки резервуаров от остатков нефтепродуктов происходит интенсификация процессов испарения нефтепродукта в свободный объем резервуара, в том числе и за счет подвода тепла нагретым раствором технического моющего средства.

При термическом воздействии струи технического моющего средства на остатки нефтепродуктов в резервуаре происходит нагревание нефтеостатка, в результате чего концентрация взрывопожароопасных паров нефтепродукта внутри резервуара повышается. Необходимо дать количественную оценку процессу насыщения свободного пространства резервуара парами нефтепродукта. Это можно сделать, зная время проведения процесса очистки.

Процесс термического нагревания нефтеостатка в резервуаре можно описать:

– уравнением теплового обмена нефтеостатка

$$Q_{m1}c(T-T_1)\partial f = M_1c_1\partial T_1 + \alpha_2S_2(T_1-T_2)\partial f + \alpha_3S_3(T_1-T_3)\partial f + \frac{\lambda}{\delta}S_4(T_1-T_4)\partial f + M_1l\partial x \quad (1)$$

– уравнением теплового обмена паровоздушной среды внутри резервуара

$$Q_{m2}c(T-T_2)\partial f + \alpha_2S_2(T_1-T_2)\partial f = M_2c_2\partial T_2 + \alpha_5S_5(T_2-T_3)\partial f \quad (2)$$

– уравнением теплового обмена корпуса резервуара

$$\alpha_3S_3(T_1-T_3)\partial f + \alpha_5S_5(T_2-T_3)\partial f = M_3c_3\partial T_3 + \alpha_6S_6(T_3-T_6)\partial f \quad (3)$$

где:  $Q_{m1}, Q_{m2}$  – массовая производительность подачи нагретого моющего раствора, приходящаяся на нефтеостаток и паровоздушную смесь резервуара, соответственно, кг/с;

$c, c_1, c_2, c_3$  – удельная теплоемкость моющего раствора, нефтеостатка, паровоздушной среды и корпуса резервуара, соответственно, Дж/(кг·К);

$T, T_1, T_2, T_3, T_4, T_6$  – температура моющего раствора, нефтеостатка, паровоздушной среды, корпуса резервуара, основания и окружающей среды, соответственно, К;

$\alpha_2, \alpha_3, \alpha_5, \alpha_6$  – коэффициент теплообмена нефтеостатка и паровоздушной среды резервуара, нефтеостатка и корпуса резервуара, паровоздушной среды и корпуса резервуара, корпуса резервуара и окружающей среды, соответственно, Дж/(м<sup>2</sup>·с·К);

$S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$  – площадь теплообмена нефтеостатка и паровоздушной среды резервуара, нефтеостатка и корпуса резервуара, нефтеостатка и основания, паровоздушной среды и корпуса резервуара, корпуса резервуара и окружающей среды, соответственно, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – время протекания процесса, с;

$M_1, M_2, M_3$  – масса нефтеостатка, паровоздушной среды и корпуса резервуара, соответственно, кг;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности основания, Дж/(м·с·К);

$\delta$  – толщина основания, м;

$l$  – удельная теплота плавления парафина, Дж/кг;

$x$  – массовая доля парафина в нефтеостатке, безразмерная.

Принимается условие, что  $Q_{m1}, Q_{m2}, M_1, M_2, M_3, c, c_1, c_2, c_3, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_5, \alpha_6, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, T, T_4, T_6, \lambda, \delta$  – величины постоянные.

В результате решения системы дифференциальных уравнений 1-го порядка (1 - 3) получена зависимость температуры смеси нефтеостатка с моющим раствором  $T_1$  от длительности процесса нагревания  $\tau$  (время проведения очистки)

$$T_1 = \frac{z_2}{z_1 - z_2} (T_1^\infty - T_1^0) e^{z_1 \tau} - \frac{z_1}{z_1 - z_2} (T_1^\infty - T_1^0) e^{z_2 \tau} + T_1^\infty \quad (4)$$

где  $z_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4C}}{2}$  – корни характеристического уравнения.

В уравнение (4) введено значение температуры  $T_1^\infty$ , которой достигает смесь нефтеостатка с моющей жидкостью при её бесконечно длительной циркуляции. Она определяется зависимостью

$$T_1^\infty = \frac{j_5 + j_2 j_4}{1 - j_1 j_4} \quad (5)$$

где  $j_i$  – значения коэффициентов, полученные в ходе решения системы уравнений (1-3).

Равновесное состояние системы (корпус резервуара – нефтеостаток - внутренний объем резервуара) в начале процесса, когда нет подвода тепла, характеризуется равенством температур  $T^0 = T_1^0 = T_2^0$ , которые определяются зависимостью

$$T^0 = T_1^0 = T_2^0 = \frac{y_3 T_3 + y_4 T_4}{y_3 + y_4} \quad (6)$$

где  $y_i$  – значения коэффициентов, полученные в ходе решения системы уравнений (1-3).

Таким образом, с помощью уравнения (4) можно определить время, в течении которого нефтеостаток будет нагрет до заданной температуры, а также изменение температуры нефтеостатка в течении этого времени.

Численное определение параметров (температуры моющего раствора, нефтеостатка, паровоздушной среды, времени протекания процессов) производится на ЭВМ.

**Выводы.** Получаемые численные значения параметров, которые влияют на взрывопожароопасность процесса очистки резервуаров от остатков нефтепродуктов (температурный режим, время существования опасных концентраций паров нефтепродуктов, концентрации паров нефтепродукта внутри резервуара при очистке) позволяют прогнозировать степень опасности проведения работ и разрабатывать эффективные мероприятия для предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций при этом.

### Литература

- ГОСТ 12.1.004-91 (1999) - ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
- ДСТУ 4454:2005. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання: чинний з 2006-07-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2006.
- Рожков Алексей Владимирович. Пожаровзрывобезопасность гидроабразивоструйной очистки нефтяных резервуаров : дис. канд. техн. наук: 05.26.03 / Рожков Алексей Владимирович. - Москва, 2006. - 134 с.
- Сорокоумов Владимир Петрович. Обеспечение пожарной безопасности резервуаров с локальными остатками нефтепродуктов при проведении аварийно-ремонтных работ: дис. канд. техн. наук: 05.26.03 / Сорокоумов Владимир Петрович. - Москва, 2002. - 160 с.

**Lipovoy V. A.**

**A solution of the heat transfer problem occurring at blasting cleaning of the petroleum product residuum in the tanks**

**Abstract:** The paper deals with the numerical solution of the heat transfer problem occurring at blasting cleaning of the petroleum product residuum in the tanks by the heated technical cleaning compositions, that allows to define the parameters highly explosive cleaning process. Cleaning of tanks from the petroleum product residuum is highly repetitive technological operation, so safety and operation efficiency of the Ukrainian tank farm are strongly depends on the peculiarities of this cleaning procedure. Cleaning of tanks of oil residues usually performed manually or mechanically. There are no methodologies for the fire and explosion safety assessment at these processes. The chemico-mechanical methods of tank cleaning are more effective due to the complex combined physical, chemical, thermal and mechanical effects, which are influenced on residues of petroleum products under the action of cleaning fluid. An intensification of the processes of evaporation of petroleum products residuum into the free volume of the tank is realised at the chemico-mechanical method of cleaning. These process additionally amplifying due to the heating by the hot cleaning liquid. The thermal impact jet of the cleaning liquid leads to increasing of the concentration of explosive vapours inside the tank. Fire and explosion hazard is directly relates to the level of petroleum products vapour saturation in the tank volume. Thus, a quantify assessment of the process of the vapour saturation in the space of the tank is an important practical problem. The process of thermal heating in the tank during the cleaning are described by the equations of thermal process which are taken place in cleaning liquid together with petroleum products residuum, equations of thermal convection in gases inside the tank volume (petroleum steam and air mixture) and also of the heat exchange between tank body with environment. As a result, the system of differential equations describing thermal parameters of mixture of petroleum products residuum with cleaning liquid as a processes in time. Solution of these equations has given a relation between the temperature of mixture on the duration of the heating process. Thus, it is possible to determine the period of time, which will needs for petroleum products residuum being heated to a predetermined value of temperature and also a process of temperature changing in the petroleum products residuum at this time. The resulting numerical values of the parameters have given a possibility to predict risk level of the cleaning work and to develop effective arrangements for the prevention of emergency situations.

**Keywords:** highly explosive, heat exchange, the concentration of petroleum products vapour.

*Лагутин В.Л.*<sup>1</sup>

**Некоторые особенности работы второй ступени рессорного подвешивания  
несамоходной тележки для транспортировки опасных грузов**

<sup>1</sup> *Лагутин Владимир Леонидович, адъюнкт,  
Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков*

**Аннотация:** В статье рассматриваются возможности применения систем рессорного подвешивания повышенного качества на средствах транспортировки опасных грузов.

**Ключевые слова:** взрывоопасный груз, вторая ступень рессорного подвешивания, корректор жесткости, резинокордная оболочка.

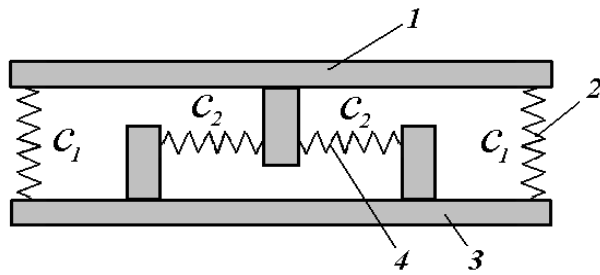
Для транспортирования опасных, в частности, взрывоопасных грузов от места обнаружения к пункту утилизации разработана конструкция специальной тележки [2], рессорное подвешивание которой имеет характеристики, удовлетворяющие условиям безопасной транспортировки, а отсутствие двигателя и трансмиссии обуславливает простую, надежную и, главное, недорогую конструкцию. Главной особенностью конструкции тележки является применение, в отличие от традиционного для автомобилестроения одноступенчатого рессорного подвешивания, дополнительной второй ступени с корректором жесткости [1, 3, 8], динамические характеристики которой обеспечивают условия безопасной транспортировки. Некоторые особенности работы этой конструкции в условиях реальной эксплуатации существенно затрудняют подготовку

к транспортировке опасных грузов и эта проблема должна быть решена при усовершенствовании предложенной конструкции.

Конструкция, алгоритмы расчета, результаты теоретических и экспериментальных исследований систем рессорного подвешивания специальной тележки для транспортировки опасных грузов изложены в работах [2, 6, 7].

При подготовке к перевозке взрывоопасных грузов при помощи предложенной тележки, во второй ступени рессорного подвешивания которой применяется корректор жесткости (рис.1), возникает проблема характерная для подобных конструкций, имеющих оптимальные характеристики только при четко определенной нагрузке, когда пружины корректора  $C_2$  расположены горизонтально. В опытном образце при недостаточной массе груза этот вопрос решался доста-

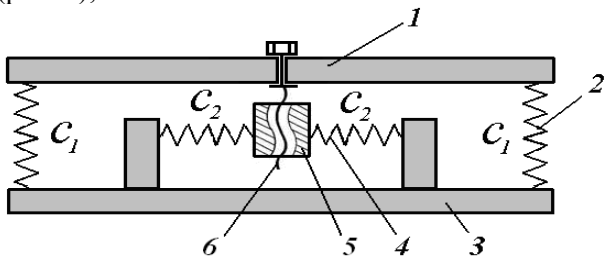
точно просто – путем применения дополнительного балласта, что достаточно неудобно в условиях реальной эксплуатации.



**Рис 1.** Схема конструкции второй ступени рессорного подвешивания с применением корректора жесткости: 1 – грузовая платформа, 2 – пружины второй ступени подвешивания, 3 – опорная платформа, 4 – пружины корректора жесткости.

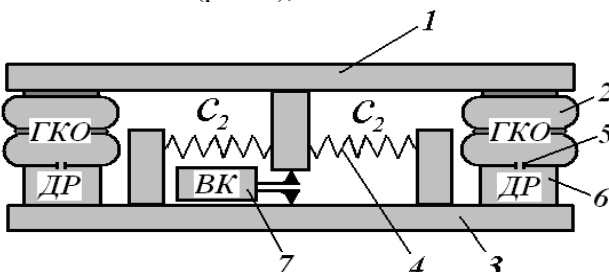
Для решения этой проблемы предлагается три варианта конструкции второй ступени рессорного подвешивания:

– с размещением регулирующих устройств в опорных точках пружин корректора жесткости (рис. 2);



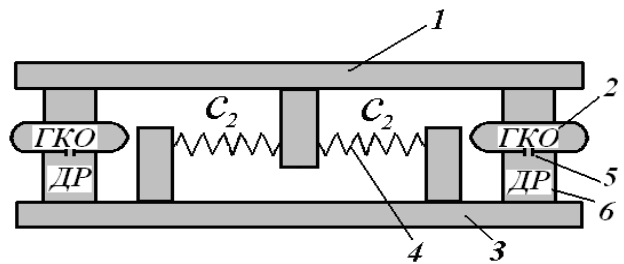
**Рис 2.** Схема конструкции второй ступени рессорного подвешивания с применением регулятора корректора жесткости: 1 – грузовая платформа, 2 – пружины второй ступени подвешивания, 3 – опорная платформа, 4 – пружины корректора жесткости, 5 – гайка регулировочная, 6 – винт регулировочный.

– с применением во второй степени пневматического рессорного подвешивания [5] из двухгофровых резинокордных оболочек в опорных точках грузовой платформы и высоторегулирующего клапана (рис. 3);



**Рис 3.** – Схема конструкции второй ступени пневматического рессорного подвешивания с применением корректора жесткости и высоторегулирующего клапана: 1 – грузовая платформа, 2 – резинокордная двухгофровая оболочка, 3 – опорная платформа, 4 – пружины корректора жесткости, 5 – дроссельная шайба, 6 – дополнительный резервуар, 7 – клапан высоторегулирующий.

– с применением одногофровых герметичных пневматических упругих элементов [4] в опорных точках грузовой платформы (рис. 4).



**Рис 4.** – Схема конструкции второй ступени герметичного пневматического рессорного подвешивания с применением корректора жесткости: 1 – грузовая платформа, 2 – резинокордная одногофровая оболочка, 3 – опорная платформа, 4 – пружины корректора жесткости, 5 – дроссельная шайба, 6 – дополнительный резервуар.

Каждая из предложенных конструкций второй ступени рессорного подвешивания специальной тележки для транспортировки взрывоопасных грузов имеет свои преимущества и недостатки. Проанализируем каждую из них:

– в первом варианте, с размещением регулирующих устройств в опорных точках пружин корректора жесткости, сложность процесса регулирования при эксплуатации в некоторой степени компенсируется простотой конструкции регулирующего устройства;

– во втором случае применения корректора жесткости и пневматического рессорного подвешивания, которое состоит из двухгофровых резинокордных оболочек и высоторегулирующего клапана – обеспечиваются лучшие динамические характеристики транспортного средства, устраняется необходимость регулировки при эксплуатации. Но сложное и трудоемкое устройство высоторегулирующего клапана вместе с необходимостью иметь источник сжатого воздуха для его работы снижают перспективу применения этой конструкции;

– в третьем варианте применения корректора жесткости и пневматического рессорного подвешивания, состоящее из одногофровых резинокордных оболочек, которые вместе с дополнительным резервуаром имеют существенно нелинейную упругую характеристику, дает возможность устранить из системы высоторегулирующий клапан и создать герметичное рессорное подвешивание, которое обеспечивает лучшие динамические характеристики транспортного средства и имеет простую регулировку при эксплуатации.

Окончательный выбор конструкции второй ступени рессорного подвешивания, рационального размещения и характеристик упругих эле-

ментов требуют соответствующего теоретического и экспериментального исследований.

Использование на предложенной конструкции специальной тележки кроме первой, одного из вариантов второй ступени рессорного подве-

шивания с применением корректора жесткости – является перспективным направлением повышения безопасности транспортировки специальных грузов.

### Литература

1. Алабужев П.М. и др. Виброзащитные системы с квазиулеевой жесткостью. –Л.: Машиностроение, 1986. 96 с.
2. До питання вибору конструкції другої ступені рессорного підвішування несамохідного візка для транспортування небезпечних вантажів / Ларін О.М., Калиновський А.Я., Соколовський С.А., Чернобай Г.О. // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. / Науковий журнал №1 (25), 2012 – Київ, 2012. – С. 165-167.
3. Зайцев А.А., Радин С.Ю., Сливинский Е.В. Перспективный амортизатор для АТС // Автомобильная промышленность. Машиностроение. – 2007, №9 – С. 26-28.
4. Илюшкин С.Н., Почтарь Д.Ю., Адашевский В.М., Чернобай Г.А. Тепловозы узкой колеи с пневматическим рессорным подвешиванием. – ВНИПИЭИ-леспром, 1983, вып. 13, с. 9-10.
5. Куценко С.М. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов. – Харьков: Вища школа, 1978. – 97 с.
6. Механічна модель візка для транспортування небезпечних вантажів / Соколов Д.М., Соколовський С.А., Чернобай Г.О. // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник / АДІ ДонНТУ. – Горлівка, 2012. – № 1(14). – С. 91-94.
7. Побудова математичної моделі просторових коливань візка для транспортування небезпечних вантажів / Чернобай Г.О., Ларін О.М., Баркалов В.Г. // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 135/2012. Серія Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2012 – с. 105-109.
8. Рыков А.А., Юрьев Г.С. Синтез упруго демпфирующих характеристик нелинейной виброзащитной системы // Материалы Сибирской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона». – Новосибирск, 2002. С.37–41.

**Lagutin V. L.**

#### **The distinctive features of the second-stage suspension of propelled trolley for transportation of the dangerous goods**

**Abstract:** The paper deals with the possibility of nonlinear spring suspension usage to provide a high level of movement smoothing at the transportation of dangerous goods. A specialized vehicle with a nonlinear spring suspension is developed. The vehicle has the features that satisfy the conditions of safe transportation of dangerous and especially dangerously explosive goods from the place of detection to the point of utilization. In addition developed specialized vehicle is propelled trolley, so it has not an engine and transmission that makes it design simple, reliable and inexpensive. The main feature of the design scheme of specialized vehicle is a presence of additional level of cushioning, with the nonlinear characteristic, which has quasi-zero stiffness in the equilibrium position. This peculiarity makes it different from the classical trolley with traditional single-stage automotive spring suspension. The additional second stage has a corrector of stiffness, so dynamic characteristics of proposed trolley are provide good enough conditions for safe transportation of dangerous goods. A preparation for transportation of dangerous goods sometimes is very difficult in the conditions of real practice due to some features of this design. The proposed design of specialized trolley has optimum vibro-isolated characteristics when corrector's springs are in horizontal position, which could be realized only on the fixed level of load. The situation is typical for non-linear suspensions, but makes some problems in the stage of preparation for the transport of hazardous goods. Such problem could be solved by the improvement of the design. We propose three variant of the design of the second stage spring suspension to solve this problem:

- to put a control devices at the reference points of the corrector spring stiffness;
- the usage in the second-stage suspension single-crimping air-legs at the reference points of the loading platform;
- the usage in the second-stage suspension air-legs, which consists of double-crimping rubber shells and the valve that adjusts the height of loading platform.

Each of the proposed design of the second stage suspension of the specialized trolley for the transportation of hazard goods has its own advantages and disadvantages. The choice of the design of the second stage suspension and it rational characteristics requires a corresponding theoretical and experimental investigations. The usage of the proposed design of trolley with the improved second stage suspension as specialized vehicle for the transportation of the dangerous goods is promising for upgrading of the safety of transportation.

**Keywords:** highly explosive goods, the second stage suspension, correctors of stiffness, rubber-shell.

*Ларін О.М.<sup>1</sup>, Чигрин В.В.<sup>1</sup>, Ларін О.О.<sup>2</sup>*

**Діагностика технічного стану кріплень пожежного насосу по спектрам його вібрацій**

*Ларін Олександр Миколайович, доктор технічних наук, професор  
Чигрин Вадим Володимирович, ад'юнкт*

*Ларін Олексій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент  
<sup>1</sup> Національний університет цивільного захисту України, м. Харків*

*<sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

**Анотація:** В рамках даного дослідження пропонуються аналіз результатів експериментальних досліджень вібраційного обстеження насосу, що має послаблення свого кріплення на утримуючій рамі. При цьому фізично моделювались різні ситуації послаблення кріплення: з різним ступенем послаблення та різною просторовою формою. Дослідження проводились на діючому насосі, що був встановлений на аварійно-рятувальному автомобілі. За результатами аналізу експериментальних даних встановлено, що суттєве збільшення вібрацій насосу у частотному діапазоні (350–400) Гц можна розглядати як критерій послаблення болтового кріплення насосу до рами автомобіля.

**Ключові слова:** Пожежний насос, вібродіагностика, послаблення болтових кріплень.

Пожежний насос аварійно-рятувального автомобіля є важливим елементом, що забезпечує функціональні можливості даного спеціалізованого транспортного засобу. Серед основних вимог, що висуваються до автомобільних пожежних насосів є вимоги по технічним характеристикам тактико-технічним показникам, вартості обслуговування, а також вимога по надійності роботи. Реалізації призначення аварійно-рятувального автомобіля звичайно залежить від безвідмовності роботи його спеціальних елементів. Отже, вимога надійності є однією з найважливіших вимог, що висуваються до автомобільних пожежних насосів.

Ресурс пожежного насосу аварійно-рятувального автомобіля, закладається заводом-виробником на етапі його проектування і на підставі статистики, що мається по насосам-аналогам. Разом з тим, для кожного конкретного насосу ресурс, зрозуміло, визначається великим числом експлуатаційних факторів.

Таким чином, в залежності від умов роботи пожежні насоси спроможні використати свій ресурс значно скоріше ніж це, вважалось на етапі їх проектування. В цьому разі важливою та актуальною науково-практичною задачею стає питання формування обґрунтованих рекомендацій на проведення процедур з оцінки технічного стану елементів пожежного насосу, що знаходиться у експлуатації, та прогноз його залишкового ресурсу.

У сучасній практиці експлуатації насосів діє система планово-попереджувальних ремонтів, яка передбачає ремонтне обслуговування у відповідності до наперед визначеного графіку, що призводить, з одного боку, до недовикористання ресурсу насосних агрегатів при проведенні ще непотрібних за їх технічним станом ремонтів, а з іншого, не дає гарантії їх безаварійної роботи в міжремонтний період.

Один з дійових напрямків вирішення цієї проблеми полягає в широкому застосуванні методів та засобів технічної діагностики, що дозволить перейти на якісно новий рівень промислової експлуатації обладнання, який дає значну економію матеріальних та людських ресурсів, а саме – за його фактичним технічним станом. Таким чином, створення ефективних систем діагностики та впровадження їх у промисловість є актуальною задачею.

Основні автомобільні пожежні насоси є відцентровими, тобто для подачі вогнегасячої рідини робочі органи насосу повинні відтворювати обертальні рухи на високих кутових швидкостях. Зазначена обставина робить автомобільні пожежні насоси високо динамічними системами, як результат на корпусі насосу відбувається високого рівні вібрація. При цьому, слід зазначити, що погіршення технічного стану насосів у першу чергу призводить до підвищення його вібрацій. Ця особливість може бути ефективно використана як критерій технічного стану, тобто за параметрами вібрацій насоса під час його роботи можна діагностувати його поточний стан та прогнозувати залишковий ресурс. Класична вібродіагностика проводиться за загальним рівнем вібрацій проте існує практична потреба у більш детальному аналізі вібрацій з тим аби визначити конкретну несправність або її частину насосу, що потребує заміни чи ремонту.

Серед характерних несправностей, що призводять до підвищеного рівня вібрацій насосу є прояв дисбалансу, послаблення посадки валу в підшипниковому вузлі та послаблення кріплення насосу на рамі. Дисбаланс може реалізовуватись в наслідок поломок робочих лопатей відцентрового колеса або через потрапляння стороннього тіла у канал робочого колеса. Послаблення посадки валу у підшипниках реалізується внаслідок зношування робочих поверхонь валу, що спосте-



рігається за тривалої експлуатації або занадто інтенсивної роботи насоса. Додатковою причиною інтенсивного зношування валу є дії вібрацій насосу, що відбувається, наприклад, внаслідок дисбалансу або послаблення кріплення.

В рамках даного дослідження пропонуються аналіз результатів експериментальних досліджень комплексного вібраційного обстеження насосу, що має послаблення свого кріплення на утримуючій рамі. При цьому фізично моделювались різні ситуації послаблення кріплення: з різним ступенем послаблення та різною просторовою формою.

Експериментальні дослідження проводились із використанням вимірювального комплексу «Ультра-В-І» [1, 2], який розроблений на кафедрі динаміки та міцності машин Національного технічного університету «Харківський політехніч-

ний інститут» (м. Харків, Україна). Вимірювальний комплекс складається із: датчика віброприскорень, що оснащений мікроелектромеханічним ємнісним сенсором; аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та портативного комп'ютера. «Ультра-В-І» має дійсне свідоцтво про Державну метрологічну атестацію і дозволяє проводити вимірювання віброприскорень у точці конструкції за двома напрямками. Додатково під час випробувань вводився другий датчик, що має аналогічний сенсор та дозволяє паралельно проводити вимірювання у сусідній точці конструкції. Таким чином вимірювання проводились одночасно у двох точках конструкції по двом напрямкам у кожній. Вимірювальний комплекс дає можливість фіксувати вібрації з частотного діапазону від 1 до 400 Гц.



Рис. 1. Експериментальні дослідження вібрацій пожежного насосу на діючому аварійно-рятувальному автомобілі



Рис. 2. Вимірювальний комплекс «Ультра-В-І» під час експериментальних досліджень

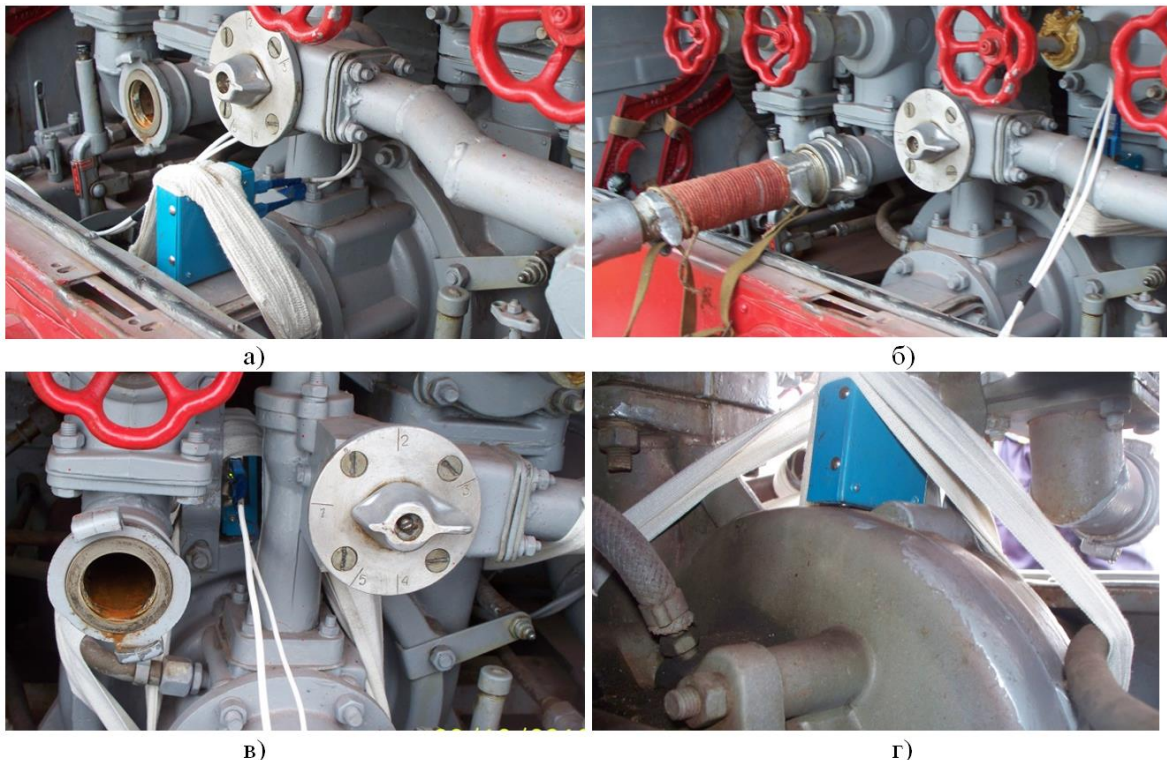


Рис. 3. Розміщення датчиків по різних точках корпусу пожежного насосу для замірів його вібрацій

Дослідження проводились на діючому насосі, що був встановлений на аварійно-рятувальному автомобіля (рис. 1). Під час вимірювань датчик вібрацій встановлювався на корпусі насоса. Далі через кабель датчик був під'єднаний до АЦП і комп'ютера (рис. 2). Для подальшого детального

аналізу вібрацій заміри проводились в декількох точках на корпусі насосу: на всмоктувальному патрубку (рис. 3,а), на вихідному патрубку (рис. 3,б) та у верхній частині робочої камери насосу (рис. 3,в,г).

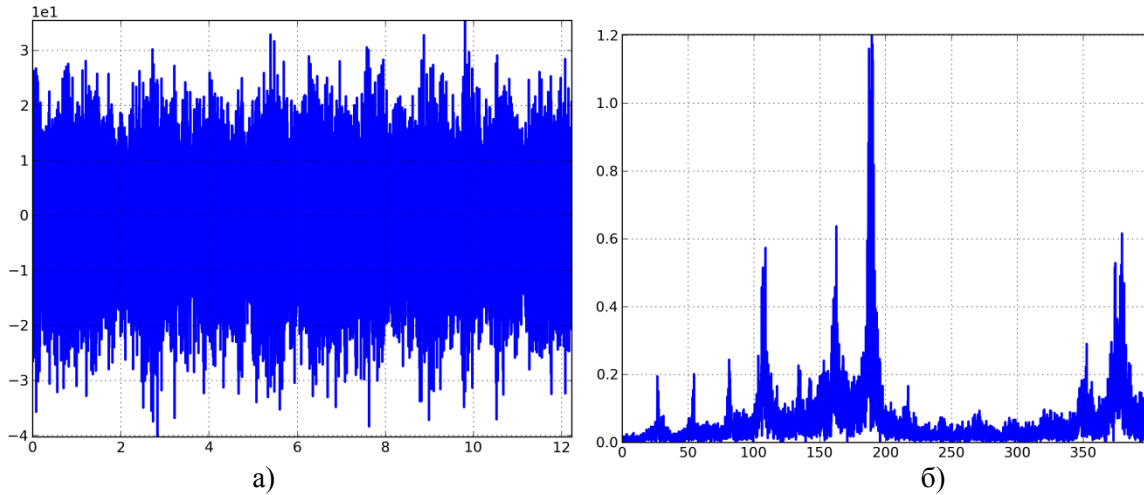


Рис. 4. Вібрації (а) та їх спектр (б) при натурних випробування насосу, що працює на номінальних обертах (1500 об/хв.)

Проведені заміри по вібраціях насосу у справному стані представлені на рис. 4,а. На рис. 4, б спектр даного сигналу отриманий за алгоритмом швидкого перетворення Фур'є. Аналіз даного спектру вказує на наявність серії гармонік, що є кратними до частоти обертання ротора (1500 об/хв = 25 Гц). Слід відмітити про сильне домінування старших кратностей частоти обертання ротора, так найбільші амплітуди спостерігають-

ся навколо частот 200 Гц, 150 Гц, 100 Гц та 375 Гц. Зазначені частоти є 8, 6, 4 та 15 кратностями. Наявність у спектрі високих кратностей частоти обертання пояснюється наявністю турбулентних кавітаційних процесів за лопатками робочого колеса насосу, а також певною зношеністю підшипникових вузлів.

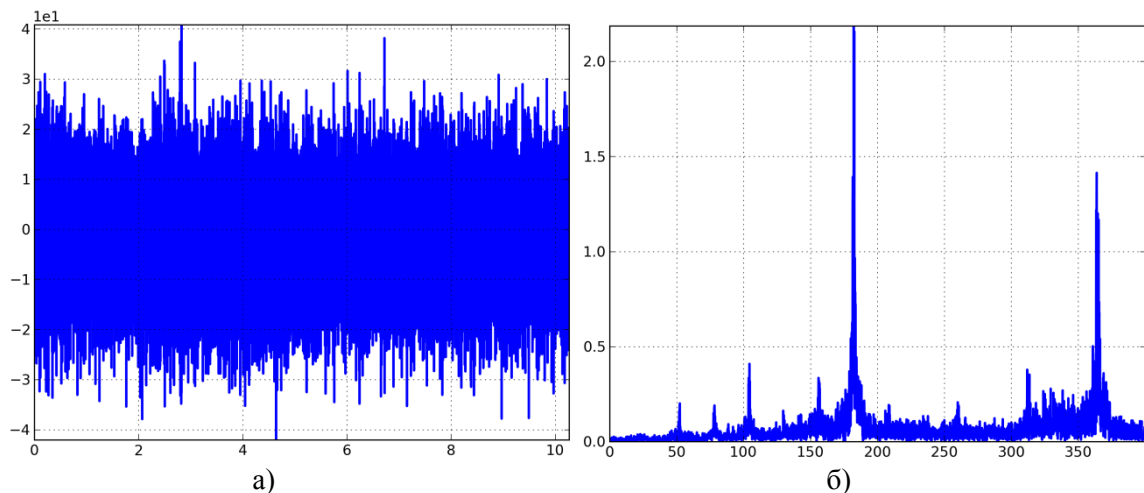


Рис. 5. Вібрації (а) та їх спектр (б) при натурних випробування насосу, який має послаблення у одному з болтових кріплень (насос працює на номінальних обертах (1500 об/хв.))

Аналогічно заміри проводились для випадку насоса, що має послаблення одного з чотирьох болтових кріплень, що мають утримувати насос на рамі. Результати цих замірів наведені на рис. 5. На рис. 6 представлені відповідні результати для випадку послаблення одразу у двох болто-

вих з'єднаннях кріплення. Аналіз спектрів вібрацій насоса із послабленням кріплення вказує на істотне домінування двох частот 175 Гц та 375 Гц. При чому більша гармоніка отримує більше значення амплітуд із послабленням кріплення. Таке явище можна пояснити наявністю в

системі резонансу в діапазоні частот (350 – 400) Гц. Відповідна власна форма коливань є формою вібрації корпусу насоса, а отже її частота суттєво залежить від жорсткості кріплення. Із послабленням болтових з'єднань відповідна власна частота зменшується і система потрапляє у навко-

ло резонансні рухи. Таким чином, суттєве збільшення вібрацій насосу у частотному діапазоні понад 350 Гц можна розглядати як критерій послаблення болтового кріплення насосу до рами автомобіля.

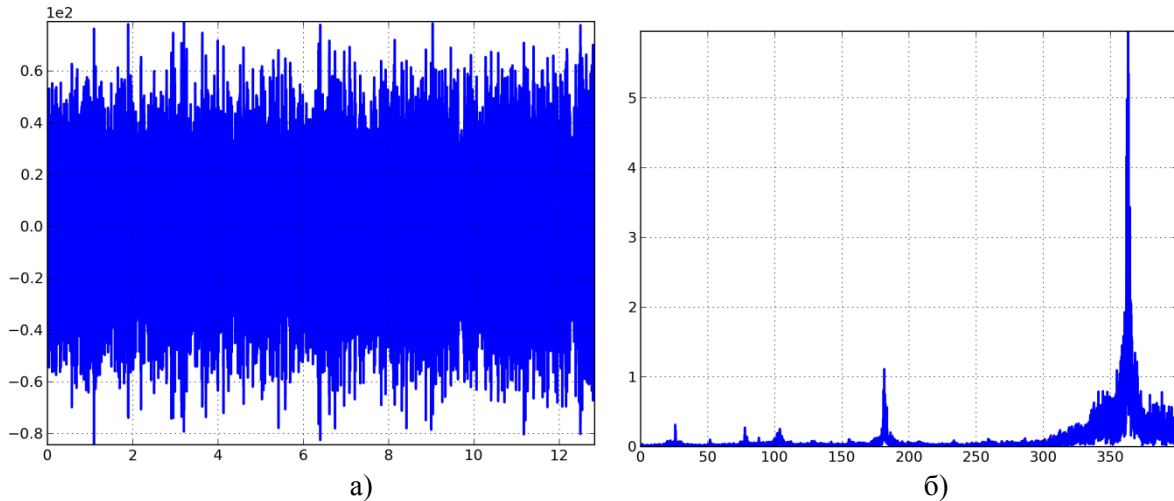


Рис. 6. Вібрації (а) та їх спектр (б) при натурних випробування насосу, який має послаблення одночасно у двох болтових кріпленнях (насос працює на номінальних обертах (1500 об/хв.))

**Висновки.** В даній роботі представлено проблему технічної діагностики пожежного насосу, що встановлений на аварійно-рятувальному автомобілі, за його вібраційними показниками. Представлено результати експериментальних досліджень вібрацій насосу, що проводились на

діючому зразку. Експериментальні випробування проводились із додатковим фізичним моделюванням послаблення кріплення насосу на рамі. Аналіз спектрів вібрацій дозволив визначити критерії технічної діагностики кріплення насосу.

#### Література

1. Водка А.А. Виброизмерительный комплекс на основе микроэлектромеханического сенсора / А.А. Водка, А.И. Трубаев, Ю.Н. Ульянов // Вісник Східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2012.– №9 (180). Ч.1. – С. 140-147.
2. Ульянов Ю.Н. Комплекс для измерения виброускорений на основе микроэлектромеханического сенсора / А.А. Водка, А.И. Трубаев, Ю.Н. Ульянов // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», Євпаторія, 3-8 травня 2012 р. – 2012. – С. 191.

Larin O.M., Larin O.O., Chygrin V. V.

#### A diagnosis of the technical state of the supports of fire pump by the spectra of its vibrations

**Abstract:** Fire pump of the emergency vehicle is an important element that provides the functionality of this specialized car. Among the main requirements for the fire pump is the requirement of its reliability. Fire pump life-time is set by the manufacturer company at the design stage and on the basis of statistics. However, for each particular pump its life-time, of course, determined by a large number of operational factors. Thus, depending on the operating conditions fire pumps could more intensively used up its life time. In this case, an important actual scientific task will be a problem of formation of reasonable recommendations on the procedures for assessing of the technical state of the elements of fire pump in service. Common fire pumps are centrifugal, i.e. a fire-extinguishing liquid is pushed out by the working bodies, which have a rotation motion with high angular velocity. This circumstance makes the car fire pumps highly dynamic system, so pumps have a high level of vibrations. It should be noted that the performance decrement of pump results in magnification of the level of vibrations. This could be effectively used as a criterion of assessment of technical condition, i.e. the parameters of pump vibration could be used for the purpose of diagnosis of the current technical state and predict the residual life-time. This study presents an analysis of the results of experimental investigations of pump vibration which has weakened supports of the pump with the holding frame. Here, physically modelled different situations with varying of the level of weakness. The studies were carried out on a pump that was installed on specialized vehicles. Experiments were carried out on the base of a measurement system "Ultra-V-I", which has been developed at the Department of the dynamics and strength of machines of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Kharkov, Ukraine). The measuring system consists of: vibration acceleration sensor, which is equipped with

a MEMS sensor, analogue-to-digital converter 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 on two directions. Analysis of the experimental data shows that a substantial increasing in the vibrations at the frequency range (350-400) Hz can be considered as a criteria of reduced bolted support of the pump.

**Keywords:** fire pump, vibration monitoring, weakened of bolting supports.

**Ларин А.Н., Ларин А.А., Чигрин В.В.**

**Диагностика технического состояния крепления пожарного насоса по спектрам его вибраций**

**Аннотация:** Пожарный насос аварийно-спасательного автомобиля является важным элементом, который обеспечивает функциональные возможности данного специализированного транспортного средства. Среди основных требований, предъявляемых к автомобильным пожарным насосам, является требование по надежности. Ресурс пожарного насоса, закладывается заводом-изготовителем на этапе его проектирования и на основании статистики, имеется по насосам-аналогам. Вместе с тем, для каждого конкретного насоса ресурс, разумеется, определяется большим числом эксплуатационных факторов. Таким образом, в зависимости от условий работы пожарные насосы способны выбрать свой ресурс интенсивнее. В этом случае важной и актуальной задачей становится вопрос формирования обоснованных рекомендаций на проведение процедур по оценке технического состояния элементов пожарного насоса, находящегося в эксплуатации. Основные автомобильные пожарные насосы являются центробежными, то есть для подачи огнетушащей жидкости рабочие органы насоса должны воспроизводить вращательные движения на высоких угловых скоростях. Указанное обстоятельство делает автомобильные пожарные насосы высоко динамическими системами, а как следствие на корпусе насоса происходят вибрации высокого уровня. При этом следует отметить, что ухудшение технического состояния насосов в первую очередь приводит к повышению его вибраций. Эта особенность может быть эффективно использована в качестве критерия технического состояния, то есть по параметрам вибраций насоса во время его работы можно диагностировать его текущее состояние и прогнозировать остаточный ресурс. В рамках данного исследования предлагается анализ результатов экспериментальных исследований комплексного вибрационного обследования насоса, который имеет ослабление своего крепления на удерживающей раме. При этом физически моделировались различные ситуации ослабления крепления: с различной степенью ослабления. Исследования проводились на действующем насосе, который был установлен на аварийно-спасательном автомобиле. Экспериментальные исследования проводились с использованием измерительного комплекса «Ультра-В-I», который разработан на кафедре динамики и прочности машин Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (г. Харьков, Украина). Измерительный комплекс состоит из: датчика виброускорений, который оснащен микроэлектромеханических емкостным сенсором; аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и портативного компьютера. «Ультра-В-I» имеет действительное свидетельство о государственной метрологической аттестации и позволяет проводить измерения виброускорений в точке конструкции по двум направлениям. По результатам анализа экспериментальных данных установлено, что существенное увеличение вибраций насоса в частотном диапазоне (350-400) Гц можно рассматривать как критерий ослабления болтового крепления насоса к раме автомобиля.

**Ключевые слова:** Пожарный насос, вибродиагностика, ослабленное болтовое крепление.

Savytskyi A. <sup>1</sup>

Determination of reinforced concrete bending structures strength by test load

<sup>1</sup> Aleksandr Savytskyi, postgraduate student, Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, Ukraine

**Summary:** in this article method of determining the strength of reinforced concrete bending structures by test load, in which by the expense of features performing basic operations it is possible to determine strength of bending reinforced concrete structures without destroying them during the test, is proposed. Also, described its approbation on experimental samples.

**Keywords:** test load, strength, reinforced concrete bending structure, stress-strain state indicators, deformation model calculation.

**Problem statement.** Diagnostics is an essential structural component of the buildings exploitation. Often, in the process of diagnostics several methods are used, such as visual inspection, examination using simple mechanical tools, an assessment using non-destructive testing and destructive testing. Particular attention is paid to assess of structural strength. The structural strength is determined by non-destructive methods and techniques with partial (extract core samples for laboratory tests) or the complete destruction of the structure.

Method of determining the strength of structural components is known based on the results of field tests [3]. The disadvantage of this method is that the structure during the test shall be destroyed and must be replaced.

There is generally accepted method for determining the strength of reinforced concrete structures by the static proof load test [2], the selected structure is mounted on the testing stand and loading starts. The load is applied partially, on the corresponding stages is fixed: the value corresponding to the load and the deflection at which cracks start to appear in the concrete, the amount of deflection and width of cracks at the control value load, the load value and the corresponding deflection at the destruction, and nature of constructions destruction. Assessment of structural strength performed by comparing the actual value of breaking force under the load test with the corresponding reference values set out in the project documentation for construction. A disadvantage of this method is that during control tests reinforced concrete structure is brought to exhaustion of bearing capacity.

Therefore, the actual task of the construction industry is the development and improvement of methods for determining the strength of structural components without their complete or partial destruction.

**Purpose of the study** is to improve the method of determining the strength of reinforced concrete bending structures by test load, in which by the expense of features performing basic operations it is possible to determine strength of reinforced concrete

bending structures without destroying them during the test.

**General statements.** The nature of the reinforced concrete bending constructions deformation described by the dependencies shown Fig. 1:

- the dependence 1 for lightly reinforced concrete bending constructions (typical is the destruction of the reinforcement at tensioned area);
- the dependence 2 for heavily reinforced concrete bending constructions (typical is the destruction at concrete compressed zone);
- the dependence 3 for reinforced concrete bending constructions, that occupy an intermediate position, i.e. which are characterized by the destruction at the same time by the reinforcement at tensioned area and concrete compressed zone.

According to the proposed method of determining the strength of reinforced concrete bending structures by test load, during the test reinforced concrete bending construction do not lead to the destruction, determination of its strength conducted by comparing the value and nature of the stress-strain state indicators at the time of the test load with the control values and further approximation.

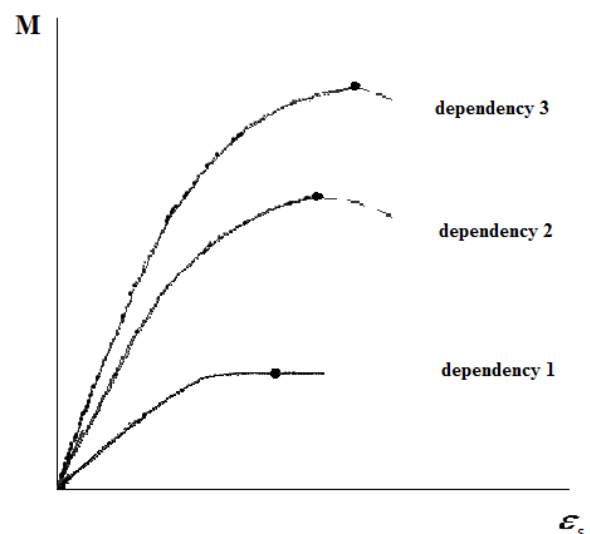


Fig. 1. Nature of the reinforced concrete bending constructions deformation

Indicators of the stress-strain state of the bent reinforced concrete structure are relative reinforcement deformation ( $\varepsilon_s$ ) and the value of bending moment (M), that match certain indicators of deformations (fiber deformation ( $\varepsilon_f$ ), curvature ( $\frac{1}{r}$ ), deflection ( $f$ )).

Control chart of stress-strain state indicators contains a graph, which corresponds to the mean strength of the structure (Fig. 2–4, graph 3), and the graphs corresponding to the smallest and the largest deviation from the mean value of strength (Fig. 2–4, graphs 2 and 4).

Strength of the structure and values of stress-strain state indicators are determined taking into account the variability of the strength characteristics of materials and geometrical parameters of the structure. Laws of distribution of the materials and the geometric parameters and the strength of the structure functions obey the normal Gauss law.

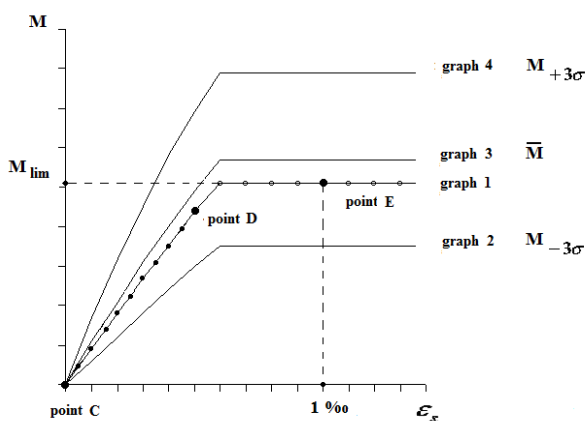


Fig. 2. Control chart of stress-strain state indicators for lightly reinforced concrete bending constructions

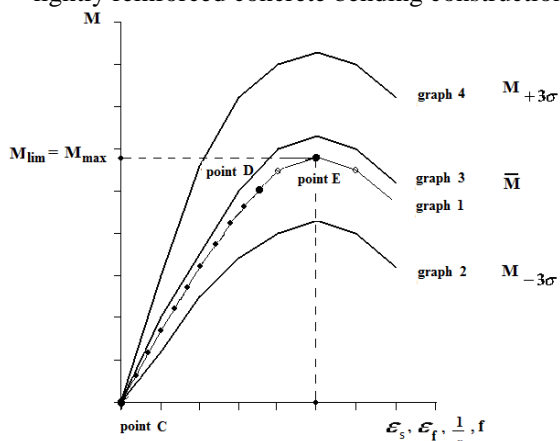


Fig. 3. Control chart of stress-strain state indicators for heavily reinforced concrete bending constructions

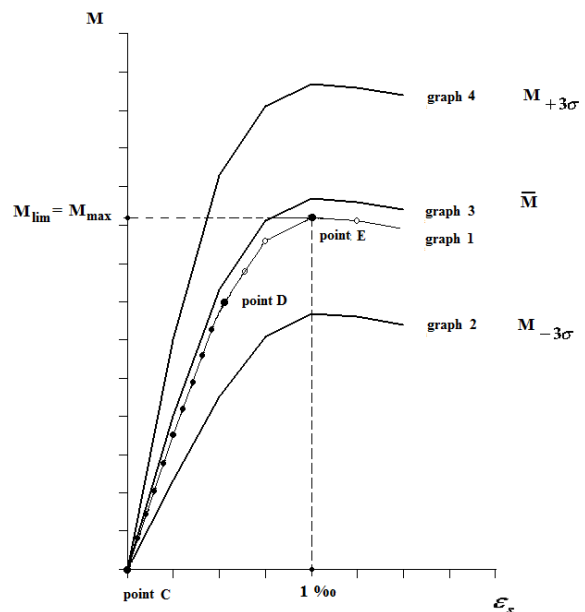


Fig. 4. Control chart of stress-strain state indicators reinforced concrete bending constructions that occupy an intermediate position

Material strength variability determined by the formulas:

$$\sigma_{f_{c(y)}} = \frac{f_{ck(yk)} - f_{cd(yd)}}{1,36};$$

$$\bar{f}_{c(y)} = f_{ck(yk)} + 1,64\sigma_{f_{c(y)}},$$

where  $f_{ck(yk)}$  – characteristic value of the material strength;

$f_{cd(yd)}$  – design value of the material strength;

$\bar{f}_{c(y)}$  – mean value (mathematical expectation) of the material strength.

Value of the mean-square deviation of the structures geometric parameter  $x_i$  is determined by the formula:

$$\sigma_{x_i} = \delta_{x_i} / 3,$$

where  $\sigma_{x_i}$  – mean-square deviation of the geometric parameter  $x_i$ ;

$\delta_{x_i}$  – boundary permissible deviation of the parameter  $x_i$ .

Values of the stress-strain state indicators corresponding the mean value (mathematical expectation) strength of the structure are determined on the basis of the deformation model in accordance with current regulations of the reinforced concrete structures calculation [1].

Values of the stress-strain states indicators corresponding the smallest and the largest deviation from the mean strength of the reinforced concrete structure are determined by the formulas:

$$M_{-3\sigma} = \bar{M}_j - 3\sigma_M;$$

$$M_{+3\sigma} = \bar{M}_j + 3\sigma_M,$$

where  $\bar{M}_j$  – the mean value of structures strength at the point with j-th coordinate of the stress-strain state indicator;

$M_{-3\sigma}$  – functions value of the structures strength, which corresponds deviation to the smallest value from the mean at the corresponding point;

$M_{+3\sigma}$  – functions value of the structures strength, which corresponds deviation to the biggest value from the mean at the corresponding point;

$\sigma_M$  – mean-square deviation of the structures strength function  $M = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ , which is defined by the formula:

$$\sigma_M = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial M}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2},$$

where  $\frac{\partial M}{\partial x_i}$  – partial derivatives of the structures

strength by each changeable parameter  $x_i$ ;

$\sigma_{x_i}$  – mean-square deviation of the parameter  $x_i$ , which is defined by the formula:

$$\sigma_{x_i} = \frac{\mu_{x_i}}{v_{x_i}},$$

where  $\mu_{x_i}$  – mathematical expectation of the parameter  $x_i$ ;

$v_{x_i}$  – variation coefficient of the parameters changeability  $x_i$ .

The proposed method is implemented in the following sequence:

1. Calculations are performed using the above formulas, based on the results, the structures stress - strain state control indicators are built (Fig. 2–4, graphs 2–4).

2. On the reinforced concrete structure 1 are mounted deflectometer 6 and detectors: 2,3 – on the footings; 4,5 and 7,8 – symmetrically on the lateral faces (Fig. 5).

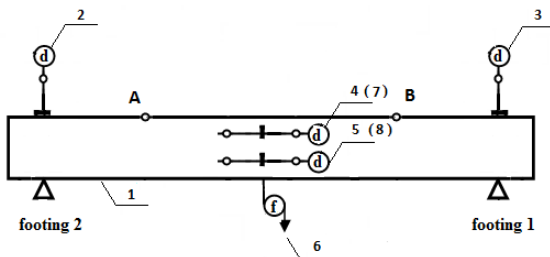


Fig. 5. Installation scheme and placement of devices

3. At points A and B testing load is applied in stages (Fig. 5). At each stage the load must not ex-

ceed 10 % of the calculated value of the limit load. After each stage pause is performed for at least 10 minutes before the next stage. The load on the final stage is the limit design value.



Fig.6. General view of the experimental samples

4. During the test load, at each stage data from detectors and deflectometer is fixed with the double-reading (at the beginning and end of the pause time). The received data is processed and in the appropriate scale is applied to the control chart (Fig. 2–4, graph 1, the segment CD).

5. A comparison of the value and nature of the stress - strain state indicators development during the test load (Fig. 2–4, graph 1, the segment CD) with control values (Fig. 2–4, graphs 2–4) is performed: If the actual graphs (Fig. 2–4, graph 1, the segment CD) at intermediate and final stages are within acceptable limits (do not go beyond graphs 2 and 4), the loading of the structure stops (Fig. 2–4, graph 1, the point D).

6. Determination of the limit value of the strength of reinforced concrete bending structures ( $M_{lim}$ ) performed by approximation (Fig. 2–4, graph 1, the segment DE) according to the following criteria:

– achievement in the tensioned reinforcement area limit value of the relative strain  $\varepsilon_{su} = 0,01$  (for slightly reinforced concrete bending constructions);

– achieving maximum by the function of the equilibrium states ( $M_{max}$ ) (for heavily reinforced concrete bending constructions and reinforced concrete bending constructions, that occupy an intermediate position).

To test the proposed method, a series of laboratory experiments was conducted. Concrete class, reinforcement bars class, geometric parameters and reinforcement type for experimental samples were chosen so that the deformations nature, during samples loading satisfy the dependencies shown in Fig. 1.

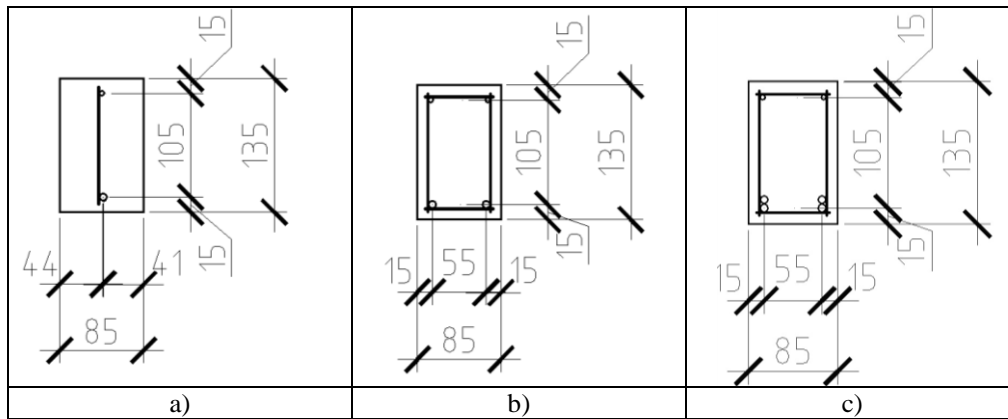


Fig.7. Types of the experimental samples reinforcement: a) type I – cross-section of the lightly reinforced sample; b) type II – cross-section of the sample that occupies an intermediate position; c) type III- cross-section of the heavily reinforced sample



Fig.8. Testing stand for experimental samples

As the experimental samples were used reinforced concrete rectangular in cross-section beams with dimensions 85 x 135 x 1400 mm made of heavy - weight concrete class C16/20. Longitudinal reinforcement was made of reinforcement bars A500C.

As the transverse reinforcement were chosen reinforcement bars class Bp-I. In all 9 samples were

prepared (Fig. 6): 3 for each of the selected types of reinforcement (Fig. 7). For the validation of the proposed method experimental samples were brought to destruction.

Numerical modeling was implemented in a program complex “Mathcad”.

Received theoretical and experimental data, indicate the possibility of using this method to determine the strength of reinforced concrete bending elements.

**Conclusions.** Method for determination of reinforced concrete bending structures strength was proposed, which allows to define strength without destroying them during the test.

As a result of experimental studies sustainable relation load-deformation at all stages of the test load is confirmed.

Received theoretical and experimental data, indicate the possibility of using this method to determine the strength of reinforced concrete bending structures.

## References

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 97 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-7-95. Конструкції будинків і споруд. Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні.
3. Лузин О.В., Злочевский А.Б., Горбунов И.А., Волохов В.А. Обследование и испытание сооружений. – М.: Стройиздат, 1987. – 263 с.

Савицкий А.

### Определение прочности изгибаемых железобетонных конструкций пробным нагружением

**Аннотация:** в статье предложен метод определения прочности изгибаемых железобетонных конструкций пробным нагружением. Согласно предложенному методу во время испытания изгибаемую железобетонную конструкцию не доводят до разрушения, а определение ее прочности производят путем сравнения величины и характера развития показателей напряженно-деформированного состояния во время пробного нагружения с контрольными показателями и дальнейшей аппроксимацией. Показателями напряженно-деформированного состояния железобетонной изгибаемой конструкции являются относительные деформации арматуры и величина изгибающего момента, которая соответствует определенным показателям деформаций (фибровая деформация, кривизна, прогиб). Контрольный график показателей напряженно-деформированного состояния содержит гра-



фик зависимости, которая соответствует среднему значению прочности конструкции, а также графики, соответствующие наименьшему и наибольшему отклонению от среднего значения прочности.

Конечная величина прочности изгибаемой железобетонной конструкции определяется путем аппроксимации с учетом следующих критериев:

– достижения в растянутой арматуре предельной величины относительной деформации на растяжение (для малоармированных железобетонных изгибаемых конструкций);

– достижение максимума функцией равновесных состояний (для перearмированных железобетонных изгибаемых конструкций и конструкций, которые занимают промежуточную позицию).

Также представлена схема расстановки измерительной аппаратуры и характерные графики показателей напряженно-деформированного состояния для следующих видов конструкций:

– малоармированных железобетонных изгибаемых конструкций (характерным является разрушение по арматуре растянутой зоны);

– перearмированных железобетонных изгибаемых конструкций (характерным является разрушение по бетону сжатой зоны);

– железобетонных изгибаемых конструкций, которые занимают промежуточную позицию, т.е. для которых характерным является разрушение одновременно по арматуре растянутой зоны и бетону сжатой зоны.

Для апробации предложенного метода была проведена серия лабораторных экспериментов. Полученные теоретические и экспериментальные данные свидетельствуют о возможности использования предложенного метода для определения прочности изгибаемых железобетонных элементов.

**Ключевые слова:** пробное нагружение, прочность, железобетонная изгибаемая конструкция, показатели напряженно-деформированного состояния, деформационная модель расчета.

*Гутаревич Ю.Ф.<sup>1</sup>, Грицук І.В.<sup>2</sup>, Добровольський О.С.<sup>1</sup>,  
Адров Д.С.<sup>2</sup>, Вербовський В.С.<sup>3</sup>, Краснокутська З.І.<sup>1</sup>*

**Аналіз результатів дослідження паливної економічності і екологічних показників  
газового двигуна внутрішнього згорання, оснащеного системою передпускового прогріву,  
в процесі здійснення пуску і прогріву**

*Гутаревич Юрій Феодосійович, доктор технічних наук, професор*

*Грицук Ігор Валерійович, кандидат технічних наук, доцент*

*Добровольський Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент*

*Адров Дмитро Сергійович, асистент,*

*Вербовський Валерій Степанович, старший науковий співробітник*

*Краснокутська Зоя Ігорівна, старший науковий співробітник*

<sup>1</sup>*Національний транспортний університет*

<sup>2</sup>*Донецький інститут залізничного транспорту УкрДАЗТ,*

<sup>3</sup>*Інститут газу Національної Академії наук України*

**Анотація:** У статті наведені результати дослідження системи передпускового прогріву газового ДВЗ, яка включає в себе систему прискореного прогріву та систему утилізації теплоти тепловим акумулятором, в режимі його прогріву від температури оточуючого середовища до температури «гарячого пуску» та можливості навантаження. Проведено дослідження на математичній моделі роботи системи передпускового прогріву ДВЗ при різних температурних умовах навколишнього середовища. Проведені дослідження підтвердили зниження витрати палива на прогрів ДВЗ, зменшення викидів шкідливих речовин та скорочення часу прогріву до моменту можливості навантаження ДВЗ, оснащеного системою передпускового прогріву.

**Ключові слова:** тепловий акумулятор, система передпускового прогріву, час прогріву, утилізація теплоти відпрацьованих газів.

Досвід експлуатації двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) показує, що їх потенціал за показниками продуктивності, безвідмовності, зручності обслуговування тощо реалізується далеко не повністю. Серед основних проблем ефективної експлуатації ДВЗ особливе місце займає їх передпускова тепла підготовка. Ця проблема є суттєвою для газових ДВЗ у складі установок, що забезпечують безперервне живлення відповідальних електричних мереж, для

яких виключається можливість застосування традиційних способів і засобів передпускової підготовки і прогріву. Особливо складним, що супроводжується не тільки зниженням моторесурсу, але й небезпекою аварії, є «холодний» пуск, тобто пуск непрогрітого двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря. Ще однією складністю часто є те, що в таких умовах потрібно зразу ж після пуску здійснювати повне навантаження двигуна. Пускові якості двигунів

оцінюються граничною температурою надійного пуску і часом, необхідним для прийняття навантаження. При низьких температурах самого двигуна і оточуючого його середовища пуск ускладнюється, надійність пуску істотно знижується, а час підготовки до прийняття навантаження зростає.

Експериментальні й розрахункові дослідження газового двигуна К-159М2 (6Ч 12/14), виконані в Інституті газу НАНУ спільно з НТУ і ДонІЗТ УкрДАЗТ, показали, що для полегшення пуску і швидкого прогріву двигуна доцільно використовувати систему передпускового розігріву (прогріву) ДВЗ [1]. Для цього було розроблено тепловий акумулятор з теплоакумлюючим матеріалом що має фазовий перехід. Тепловий акумулятор дозволяє накопичувати теплову енергію відпрацьованих газів. Кількість теплоти, яку накопичує тепловий акумулятор відповідає необхідній кількості теплової енергії, що потрібна для попереднього прогріву двигуна від максимально низької температури оточуючого середовища (задається при проектуванні системи) до температури.

Метою роботи є визначення показників паливної економічності і екологічних показників газового двигуна виготовленого на базі дизеля К-159М2 (6Ч 12/14) застосуванням системи розігріву стаціонарного газового двигуна при застосуванні теплового акумулятора з теплоакумлюючим матеріалом, що має фазовий перехід, при здійсненні прогріву, пуску і прискореного прогріву після пуску від температури оточуючого середовища до температури при якій відбувається навантаження.

В процесі досліджень розроблена, а після проведення експериментальних досліджень, уточнена математична модель розрахунку параметрів прогріву двигуна, паливної економічності і екологічних показників газового двигуна К159М2 (6Ч 12/14) при застосуванні в системі охолодження теплового акумулятора з теплоакумлюючим матеріалом, що має фазовий перехід, під час здійснення пуску і прогріву [2]. Модель дозволяє отримати параметри паливної економічності та екологічні показники двигуна.

Для формування бази вихідних даних розроблена математична модель розрахунку параметрів, були використані експериментальні дані щодо особливостей конструкції і робочого процесу газового двигуна, а також розраховані вихідні дані робочого процесу [4]. В результаті були отримані залежності тиску, температури в циліндрі та температури у випускному колекторі в залежності від повороту колінчастого валу двигуна при частоті обертання холостого ходу. Одним з основних питань при розробці математичної моделі є

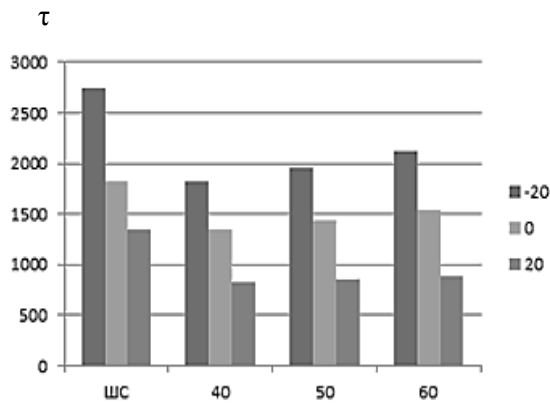
вибір режимів роботи системи прискореного прогріву двигуна при передпусковому прогріві. Для цього доцільно в якості режимів для дослідження вибрати розроблений цикл передпускового прогріву, пуску і прискореного прогріву після пуску двигуна, оснащеного системою передпускового розігріву [6].

В математичну модель також закладені поліноміальні залежності, отримані опрацюванням результатів стендових досліджень газового двигуна 6Ч 12/14 а саме, залежності витрати палива при прогріві ДВЗ: зі штатною системою охолодження, з встановленим в систему охолодження прискорюючим насосом для прогріву двигуна, з встановленими дослідним тепловим акумулятором та попереднім прогрівом двигуна до температур «гарячого пуску», а саме: 40°C, 50°C та 60°C. Крім цього, були внесені уточнення в рівняння математичної моделі, які описують характер зміни температур прогріву елементів конструкції блоку циліндрів та головки блоку циліндрів. Уточнені були також коефіцієнти тепловіддачі в елементах системи охолодження з тепловим акумулятором, а також були внесені уточнення в рівняння математичної моделі, які описують процеси заряджання та розряджання теплового акумулятора в процесі роботи [3]. Як складові математичної моделі, з використанням [5], були уточнені рівняння розробленої методики моніторингу теплових параметрів системи охолодження газового двигуна за даними натурної характеристики. В першу чергу це стосується закономірностей процесу охолодження двигуна, в математичній моделі розрахунку параметрів в якості домінуючого параметру при виборі критерію допустимого охолодження газового двигуна К159М2, введені параметри зміни температури на вході в блок циліндрів двигуна. Завдяки цьому отримана можливість в математичній моделі розрахунку параметрів прогнозувати динаміку падіння температурних показників двигуна у часі та давати відповідні рекомендації щодо кількості теплової енергії, інтервалів та тривалості передпускової підготовки двигуна від теплового акумулятора в систему охолодження двигуна.

Для урахування особливостей застосування теплового акумулятора в системі охолодження двигуна в математичну модель закладено умови, основні припущення і модельні уявлення, необхідні для побудови математичної моделі функціонування теплового акумулятора прийнятої конструкції в системі охолодження газового двигуна, при яких відбувається включення, робота і відключення теплового акумулятора в системі охолодження [4]. Моделювання проводилось за наступних умов при застосуванні утилізатора теплової енергії ВГ: без застосування теплового

акумулятора в системі охолодження; без застосування теплового акумулятора в системі охолодження, але з працюючим прискорюючим насосом для прогріву двигуна; при застосуванні теплового акумулятора в системі охолодження з працюючим прискорюючим насосом для прогріву двигуна. В процесі моделювання формувався цикл передпускового прогріву і пуску газового ДВЗ від початку розряджання теплового акумулятора (початок теплової підготовки ДВЗ) до повного його заряджання, що визначається температурою фазового переходу теплоакumuлюючого матеріалу. При моделюванні розглядалися процеси передпускового прогрівання газового двигуна К159М2 при різних фіксованих температурах оточуючого середовища, а саме: 20°C, 0°C, -20°C.

Аналіз отриманих результатів довів наступне – на обумовлених температурних режимах система працює наступним чином: прогрів системи охолодження двигуна від теплового акумулятора триває 873 с, 1453 с, 1964 с відповідно, потім при досягненні температури охолоджуючої рідини в системі охолодження 50°C відбувається запуск двигуна та продовжується прогрів системи охолодження ДВЗ від теплового акумулятора та, відповідно, витрати теплової енергії при згоранні палива двигуна до температури охолоджуючої рідини 85°C за 570 с, після досягнення температури охолоджуючої рідини 85°C відбувається зарядка теплового акумулятора, яка триває 462 с, 1696 с, 1878 с відповідно. У той час як прогрів

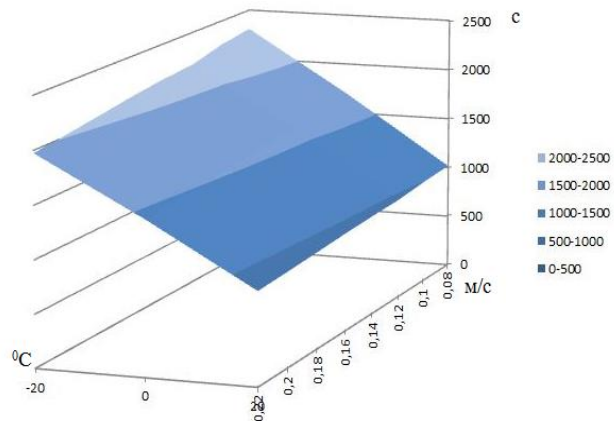


**Рис. 1.** Порівняльна діаграма значень терміну (часу) прогрівання газового двигуна К159М2 з різними комплектаціями системи охолодження (без теплового акумулятора і з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна).

Залежність значення температури прогрівання газового двигуна від часу прогрівання ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна при зміні швидкості циркуляції охолоджуючої рідини насосом системи охолодження при температурі оточуючого середовища 0°C для різних зон ДВЗ: а) на виході

ДВЗ класичним методом (без використання теплового акумулятора) буде тривати 1358 с, 1818 с та 2729 с відповідно.

Порівняльна діаграма значень терміну (часу) прогрівання газового двигуна К159М2 з різними комплектаціями системи охолодження представлена на рис. 1, де ШС – штатна система (без теплового акумулятора (при швидкості циркуляції охолоджуючої рідини 0,08 м/с); 40, 50, 60 – температура, до якої проводився попередній прогрів перед пуском (з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна при швидкості циркуляції охолоджуючої рідини 0,22 м/с). Аналогічні позначення дійсні для також для рисунків 4, 6, 8. З неї чітко видно, що прогрівання двигуна з використанням теплового акумулятора і прискорюючим насосом для прогріву двигуна однозначно дає вигоду в часі прогрівання у порівнянні зі штатною системою охолодження. На рис. 2 показано результати розрахунку терміну (часу) прогрівання ДВЗ з тепловим акумулятором для варіантів зміни швидкості циркуляції охолоджуючої рідини прискорюючим насосом для прогріву двигуна системи охолодження в залежності від різних температур оточуючого середовища [4]. Аналіз приведених залежностей показує, що для часу прогріву характерне монотонне зменшення часу прогріву при збільшенні швидкості циркуляції охолоджуючої рідини від 0,08 м/с до 0,22 м/с в залежності від температури оточуючого середовища [4].



**Рис. 2.** Залежність часу прогрівання ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна від швидкості циркуляції охолоджуючої рідини насосом системи охолодження при різних температурах оточуючого середовища

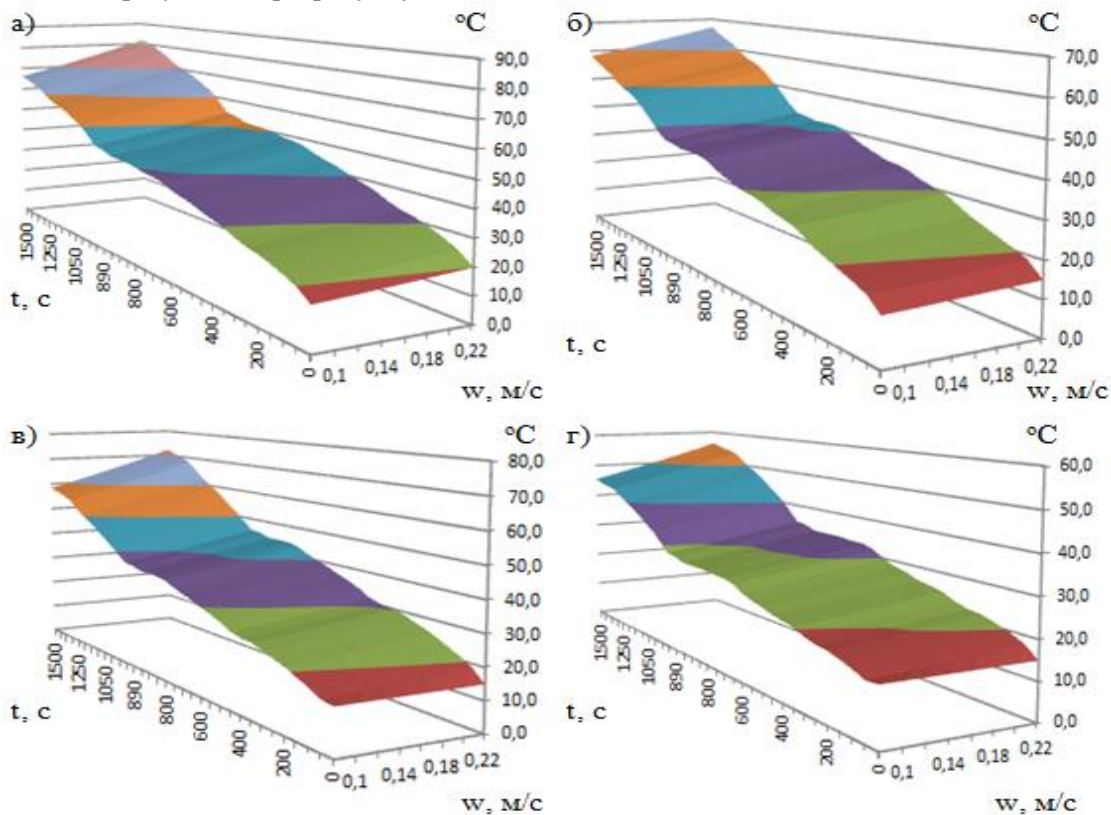
із ДВЗ, б) в районі головки блоку ДВЗ, в) в районі верхньої мертвої точки, г) в районі нижньої мертвої точки представлена на рис. 3. Порівняння отриманих температурних полів однозначно підтверджує підвищення температури прогрівання ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна в

різних його зонах від швидкості циркуляції охолоджуючої рідини. З отриманих залежностей видно, що ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна прогривається до температури  $t^{\circ}\text{C} = 40$  (50/60) $^{\circ}\text{C}$  відповідно за 1353 (1453/1551) с., що менше на 486 с. (27%) (396 с. (21%) / 288 с. (16%)) у порівнянні з прогрівом ДВЗ зі штатною системою охолодження до температури 50 $^{\circ}\text{C}$ , яка становить 1839 с. При цьому газовий двигун витрачає менше палива відповідно на 0,895 (0,789 / 0,643) м<sup>3</sup>., що менше на 2,259 м<sup>3</sup>. (72%) (2,359 м<sup>3</sup>. (75%) / 2,504 м<sup>3</sup>. (79%)) у порівнянні з прогрівом ДВЗ зі штатною системою охолодження до температури 50 $^{\circ}\text{C}$ , яка становить 3,147 м<sup>3</sup>.

На рис. 4 показана порівняльна діаграма значень годинної витрати палива при прогріві газового двигуна K159M2 з різними комплектаціями системи охолодження (без теплового акумулятора і з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна). З неї чітко видно, що при прогріві газового ДВЗ з використанням теплового акумулятора і прискорюючим насосом для прогріву двигуна однозначно суттєво зменшується годинна витрата палива двигуна у порівнянні зі штатною системою охолодження. На рис. 5 показані результати розрахунку годинної

витрати палива при прогріві газового ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна для варіантів зміни швидкості циркуляції охолоджуючої рідини насосом системи охолодження в залежності від різних температур оточуючого середовища [4]. Аналіз приведених залежностей показує, що при прогріві двигуна характерне суттєве зменшення витрати палива при збільшенні швидкості циркуляції охолоджуючої рідини від 0,08 м/с до 0,22 м/с без залежності від температури оточуючого середовища [4] Пояснюється це тим, що прогрівання перед пуском здійснюється з використанням теплового акумулятора, тобто пуск двигуна для його прогріву не потрібен, а передпусковий прогрів здійснюється за рахунок тільки теплової енергії, накопиченої тепловим акумулятором.

Разом зі зменшенням витрат палива при прогріві двигуна отримано суттєве зменшення шкідливих викидів у відпрацьованих газах. Оксидів азоту при цьому газовий двигун викидає менше, відповідно до 0,333 (0,246 / 0,154) г., що менше на 5,864 г. (94%) (5,617г. (96%) / 5,617г. (96%)) у порівнянні з прогрівом газового ДВЗ зі штатною системою охолодження до температури 50 $^{\circ}\text{C}$ , яка становить 5,864г.



**Рис. 3.** Залежність значення температури прогрівання газового двигуна K159M2 від терміну (часу) прогрівання ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна при зміни швидкості циркуляції ОР насосом системи охолодження при температурі оточуючого середовища 0 $^{\circ}\text{C}$  для різних зон ДВЗ: а) на виході із ДВЗ, б) в районі головки блоку ДВЗ, в) в районі верхньої мертвої точки, г) в районі нижньої мертвої точки

На рис. 6 показано порівняльна діаграма значень викидів оксидів азоту при прогріві газового двигуна K159M2 з різними комплектаціями системи охолодження (без теплового акумулятора і з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна). З неї чітко видно, що при прогріві ДВЗ з використанням теплового акумулятора і прискорюючим насосом для прогріву двигуна однозначно суттєво зменшуються викиди оксидів азоту двигуна у порівнянні зі штатною системою охолодження. На рис. 7 показані результати розрахунку викидів оксидів азоту при прогріві ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна для варіантів зміни швидкості циркуляції

охолоджуючої рідини насосом системи охолодження в залежності від різних температур оточуючого середовища [4]. Аналіз приведених залежностей показує, що при прогріві ДВЗ характерне суттєве зменшення викидів оксидів азоту при збільшенні швидкості циркуляції охолоджуючої рідини від 0,08 м/с до 0,22 м/с в залежності від температури оточуючого середовища (особливо для температури оточуючого середовища -20 °C) [4]. Пояснюється це тим, що прогрівання перед пуском здійснюється з використанням теплового акумулятора, тобто пуск двигуна для його прогріву не потрібен, а передпусковий прогрів здійснюється за рахунок тільки теплової енергії, накопиченої тепловим акумулятором.

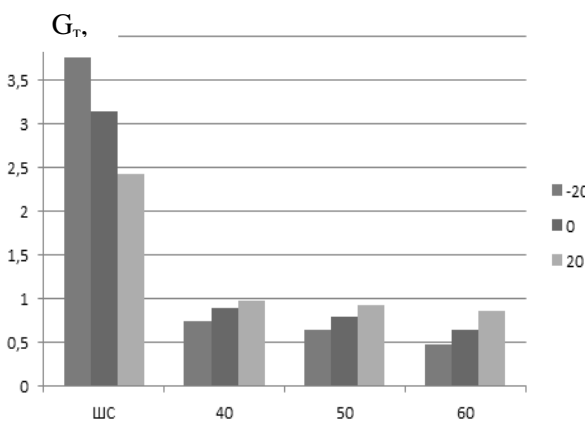


Рис. 4. Порівняльна діаграма значень годинної витрати палива при прогріві газового двигуна K159M2 з різними комплектаціями системи охолодження (без теплового акумулятора і з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна) за однаковий проміжок часу

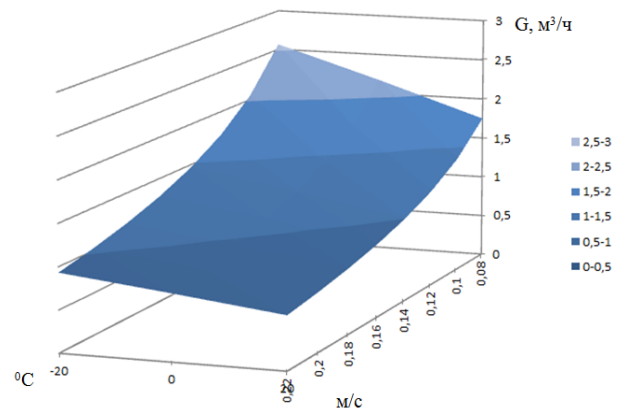


Рис. 5. Залежність значення годинної витрати палива при прогріві газового ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна від зміни швидкості циркуляції охолоджуючої рідини насосом системи охолодження при різних температурах оточуючого середовища

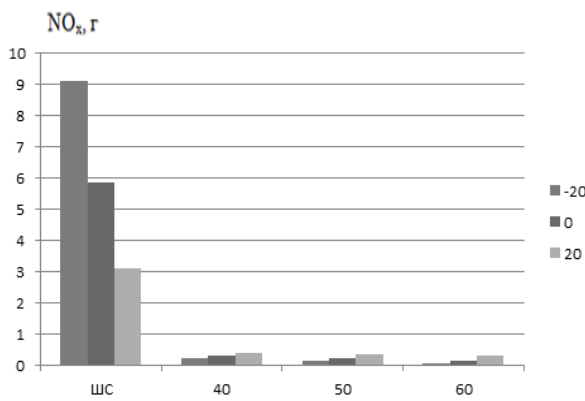


Рис. 6. Порівняльна діаграма значень викидів оксидів азоту при прогріві газового двигуна K159M2 з різними комплектаціями системи охолодження (без теплового акумулятора і з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна) за однаковий проміжок часу

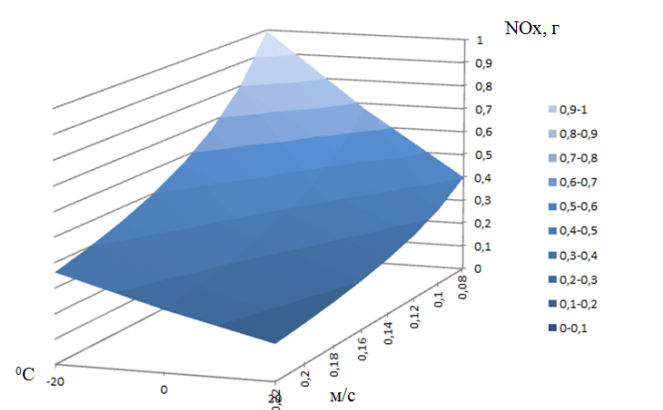


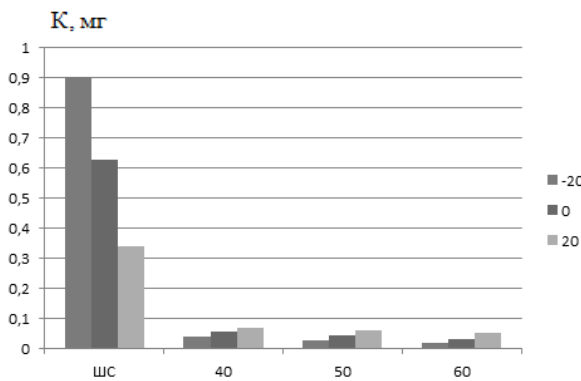
Рис. 7. Залежність значення викидів оксидів азоту при прогріві газового ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна від швидкості циркуляції охолоджуючої рідини насосом системи охолодження при різних температурах оточуючого середовища

Викиди твердих часток зменшуються відповідно до 0,056 (0,044 / 0,030) мг., що менше на 0,570 мг. (90%) (0,582 мг. (93%) / 0,596 мг.

(95%)) у порівнянні з прогрівом газового двигуна зі штатною системою охолодження до температури 50 °C, яка становить 0,626мг. На рис. 8

показана порівняльна діаграма значень викидів твердих часток при прогріві газового двигуна K159M2 з різними комплектаціями системи охолодження (без теплового акумулятора і з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна). З неї чітко видно, що при прогріві газового ДВЗ з використанням теплового акумулятора і прискорюючим насосом для прогріву двигуна однозначно суттєво зменшуються викиди твердих часток двигуна у порівнянні зі штатною системою охолодження.

На рис. 9 показано результати розрахунку викидів твердих часток при прогріві газового ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна для варіантів зміни швидкості циркуляції охолоджуючої рідини насосом системи охолодження в залежності від різних температур оточуючого середовища [4]. Аналіз приведених залежностей показує, що при прогріві газового ДВЗ характерне суттєве зменшення викидів твердих часток при збільшенні швидкості циркуляції охолоджуючої рідини від 0,08 м/с до 0,22 м/с в залежності від температури оточуючого середовища (особливо для температури оточуючого середовища  $-20^{\circ}\text{C}$ ) [4]. Пояснюється це тим, що прогрівання перед пуском здійснюється з

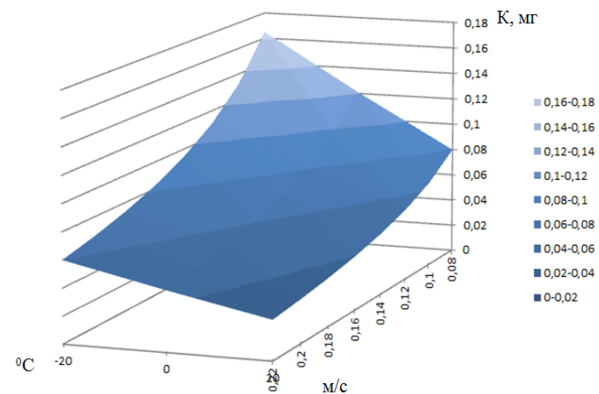


**Рис. 8.** Порівняльна діаграма значень викидів твердих часток при прогріві газового двигуна K159M2 з різними комплектаціями системи охолодження (без теплового акумулятора і з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна) за однаковий проміжок часу

Таким чином, порівнюючи час прогріву  $\tau$ , витрати  $G_T$  газового палива, викиди оксидів азоту  $NO_x$ , твердих часток  $K$  під час виконання пуску і прогріву його до температури приймання навантаження видно, що тепловий акумулятор і прискорюючим насосом для прогріву двигуна дозволяє суттєво покращити показники часу прогріву (до 16-38%), екологічності (для  $NO_x$  до 93-98%, а для  $K$  до 88-94%) та економічності (до 62-75%) дослідного ДВЗ при вирішенні проблем холодного запуску й прискореного прогріву ДВЗ за допомогою теплового акумулятора.

використанням теплового акумулятора, тобто пуск двигуна для його прогріву не потрібен, а передпусковий прогрів здійснюється за рахунок тільки теплової енергії, накопиченої тепловим акумулятором.

Отримані результати досліджень можливо пояснити тим, що в процесі прогріву досліджуваній ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна спочатку прогривається від запасеної теплоти теплового акумулятора, коли ДВЗ взагалі не працює, а після пуску двигуна зразу ж прогривається від прискорюючим насосом для прогріву двигуна, а не від штатного насосу системи охолодження ДВЗ. При чому, передпусковий прогрів здійснюється для різних температурах охолоджуючої рідини в системі охолодження дослідного двигуна, тобто до  $t^{\circ}\text{C} = 40$  (50/60)  $^{\circ}\text{C}$ , а вже після досягнення цієї температури запускається газовий двигун і починає працювати система охолодження ДВЗ у складі теплового акумулятора і прискорюючим насосом для прогріву двигуна. Це відбувається на відміну від ДВЗ зі штатною системою охолодження, коли двигун починає працювати на х.х. від моменту пуску до досягнення температури (50  $^{\circ}\text{C}$ ), з усіма недоліками прогріву в режимі х.х. роботи двигуна.



**Рис. 9.** Залежність викидів твердих часток при прогріві ДВЗ з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна від зміни швидкості циркуляції охолоджуючої рідини насосом системи охолодження при різних температурах оточуючого середовища

Результатами проведеного дослідження є також те, що при збільшенні швидкості циркуляції потоку охолоджуючої рідини в системі охолодження ДВЗ з 0,08 м/с (що відповідає швидкості циркуляції охолоджуючої рідини при прогріві ДВЗ в режимі холостого ходу зі штатним насосом) до 0,22 м/с (що відповідає характеристикам прискорюючим насосом для прогріву двигуна), зменшується час прогріву  $\tau$ , в середньому на 14%, витрати палива  $G_T$  на 25%, викиди твердих часток  $K$  на 28%, а оксидів азоту  $NO_x$  – на 23%.

Таким чином оцінювання ефективності застосування системи передпускового розігріву з тепловим акумулятором і прискорюючим насосом для прогріву двигуна за циклом передпускового прогріву і пуску газового двигуна підтвердило

покращення паливної економічності при роботі, а також ефективність застосування теплового акумулятора, як одного з напрямків покращення екологічних показників ДВЗ без погіршення паливної економічності.

### **Література**

1. Експериментальні дослідження системи комбінованого прогріву двигуна з тепловим акумулятором [Текст] / Д.С. Адров і др. // Зб. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. - Донецьк: ДонІЗТ, 2012 – №31. – С. 158-167.
2. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма розрахунку паливної економічності і екологічних показників газопоршневого двигуна внутрішнього згорання К-159М2 (6ЧН 12/14) з системою комбінованого прогріву при здійсненні пуску і прогріву». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 445374 от 03.09.2012. Заявка від 02.07.2012 № 45606 / Грицук І.В. і др. – 2с.
3. Математичні моделі функціонування теплового акумулятора фазового переходу системи комбінованого прогріву ДВЗ / Д. С. Адров і др. // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. - №133. - С. 270-277.
4. Результати розрахунку паливної економічності та екологічних показників газопоршневого двигуна внутрішнього згорання за циклом передпускового прогріву і пуску на математичній моделі при застосуванні системи комбінованого прогріву / І. В. Грицук і др. // Зб. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. - Донецьк: ДонІЗТ, 2012 –№32. - С. 185-195.
5. Сычушкин И. В. Автоматизированная система идентификации тепловых параметров водяной системы энергоустановки транспортного средства / И. В. Сычушкин – Режим доступа: [http://www1.nntu.nnov.ru/RUS/NEWS/futuretechnology\\_2005/section02.doc](http://www1.nntu.nnov.ru/RUS/NEWS/futuretechnology_2005/section02.doc)
6. Формування методики визначення паливної економічності та викидів шкідливих речовин двигуна, оснащеного системою комбінованого прогріву, при здійсненні передпускового прогріву, пуску і прискореного прогріву після пуску / І.В. Грицук і др. // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2013.– №33, с. 163-174.

**Gutarevich Y.F., Gritsuk I.V., Dobrovolskiy A.S., Adrov D.S., Verbovsky V.S., Krasnokutskaya Z.I.**

**Analysis of the survey results fuel economy and environmental performance of the gas internal combustion engine equipped with a pre-heating system in the process of starting and warm-up**

**Abstract:** The paper presents the results of a study of gas engine preheating the internal combustion, which includes a system of accelerated warming and heat recovery system heat storage in the device during warm to ambient temperature to "hot start" and the possibility of loading. A study on the mathematical model of the system engine preheating the internal combustion at different temperature environments. Studies have confirmed the reduction of fuel consumption by warming the engine of internal of combustion, reduced emissions and reduce warm-up time before the possibility loading of internal combustion engine, equipped with a heating system plugs.

**Keywords:** heat the battery, the system pre-start warm-up, warm-up time, waste heat of the exhaust gases.

**Гутаревич Ю.Ф., Грицук И.В., Добровольский А.С., Адров Д.С., Вербовский В.С., Краснокутская З.И.**

**Анализ результатов исследования топливной экономичности и экологических показателей газового двигателя внутреннего сгорания, оснащенного системой предпускового прогрева, в процессе осуществления пуска и прогрева**

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследования системы предпускового прогрева газового ДВС, которая включает в себя систему ускоренного прогрева и систему утилизации теплоты тепловым аккумулятором, в режиме его прогрева от температуры окружающей среды до температуры «горячего пуска» и возможности нагружения. Проведено исследование на математической модели работы системы предпускового прогрева ДВС при разных температурных условиях окружающей среды. Проведенные исследования подтвердили снижение затрат топлива на прогрев ДВС, уменьшение выбросов вредных веществ и сокращение времени прогрева до момента возможности нагружения ДВС, оснащенного системой предпускового прогрева.

**Ключевые слова:** тепловой аккумулятор, система предпускового прогрева, время прогрева, утилизация теплоты отработанных газов.

**Подходы к идентификации и классификации факторов, оказывающих влияние на надежность телекоммуникационной сети**

<sup>1</sup> Ненов Алексей Леонидович, Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики, Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина

**Аннотация:** В статье описаны несколько подходов к построению классификации факторов, определяющих надежность обобщенной телекоммуникационной сети, показана важность классификации в решении задач анализа надежности. Описаны варианты классификации факторов на основании различных классификационных признаков, таких как этап жизненного цикла сети, естественность воздействия, локализация источника возникновения воздействия относительно границ системы, составляющая надежности, степень закономерности воздействия, природа реализации объектов сети, локализация источников воздействия относительно условий функционирования сети. Предложен вариант, пригодный для конкретной идентификации факторов при осуществлении сбора и обработки информации об отказах сети.

**Ключевые слова:** надежность; телекоммуникационная сеть; фактор, влияющий на надежность; классификация; метод оценки надежности.

Надежность всегда была и остается важнейшим свойством любого технического объекта или системы, и это вполне закономерно: пока существуют технические системы, их потребители и, следовательно, разработчики, заинтересованы в их бесперебойной работе. И чем важнее и ответственнее эти системы, тем более высокие требования предъявляются к их надежности. Телекоммуникационные сети (ТКС) являются яркими представителями таких систем. Несомненно важность той роли, которую играют ТКС в индустриальных и общественных процессах самого разного масштаба: офиса, компании, города, государства и всего мира. Задачи анализа надежности телекоммуникационных сетей (ТКС), как и любых структурно сложных технических систем, а также существующие методы их решения отличаются большим разнообразием. Задачи эти традиционно возникают на всех этапах жизненного цикла ТКС в связи с необходимостью всестороннего анализа и обеспечения надежности ТКС. При проектировании необходимо нормировать надежность ТКС, то есть определять и обосновывать требуемое значение выбранных показателей надежности для каждого элемента и ТКС в целом, что позволяет заложить основу надежности ТКС. На этапе тестирования и эксплуатации ТКС необходимо выяснять фактически достигнутую надежность, чтобы сравнивать с ее требуемой, а также осуществлять необходимые уточнения и прогнозы относительно надежности. Анализ надежности ТКС часто осложняется тем, что во многих случаях ТКС может в определенной степени модифицироваться после ввода ее в эксплуатацию.

Решение указанных задач невозможно без построения комплексной системы анализа надежности ТКС, в рамках которой должны осуществ-

ляться систематизация знаний о соответствующих задачах, методах их решения, факторах, влияющих на надежность (ФВН), а также определение применимости существующих и разработка новых методов решения задач в тех или иных условиях. Для построения такой системы необходима идентификация и классификация основных содержательных ее сущностей, в частности, ФВН. Важность классификации ФВН обусловлена тем, что она позволяет обнаружить ряд существенных признаков ФВН, на основе которых обнаруживаются сходства и различия между ФВН, осуществляются поиск и обоснование применимости методов учета ФВН, а также устанавливаются соответствия между конкретными задачами, методами, показателями и ФВН.

Под ФВН далее понимается результат влияния некоторой причины на надежность рассматриваемого технического объекта или системы, регламентированный требованиями к условиям их эксплуатации. Поскольку понятие надежности относится к штатным условиям функционирования объекта, то эти факторы, как правило, оказывают прогнозируемое, ожидаемое воздействие на его надежность. Тем не менее, вполне очевидно, что реализация возможности определения значений одного и того же показателя на разных этапах жизненного цикла ТКС вполне может являться (и часто является) нетривиальной задачей.

На каждом этапе жизненного цикла ТКС можно идентифицировать и классифицировать ФВН элемента, подсистемы или ТКС в целом. Поскольку ФВН идентифицируются причинами, но не объектами воздействия, один ФВН может оказывать свое воздействие, в частности, единовременное, на надежность элементов ТКС различного масштаба.



Идентификация и классификация ФВН может быть осуществлена множеством способов на основе различных классификационных признаков, с выделением различных категорий и подкатегорий. Выбор или построение того или иного варианта классификации ФВН должен производиться в зависимости от цели ее осуществления на основе ряда критериев, в качестве которых выступают, как правило, логическая стройность, удобство дальнейшего учета ФВН и управления их влиянием, степень соответствия классификационной структуре соответствующих объектов ТКС или ее модели. Следует отметить, что нередко граница между образуемыми классами ФВН не является четкой, а классификация — полной и исчерпывающей. В определенных случаях могут обнаруживаться ФВН, обладающие чертами нескольких классов ФВН, а также ФВН, для которых не выделено подходящих классов (в результате недочетов процедуры классификации или сознательно, например, при рассмотрении малозначительных ФВН). Классификация ФВН, как и любая другая, может быть одно- или многоуровневой, образуя в последнем случае иерархическую структуру обобщения-конкретизации.

При построении иерархической классификации ФВН одним из первоначальных классификационных признаков зачастую выступает соответствие ФВН определенным этапам жизненного цикла ТКС. Это обусловлено тем, что на каждом этапе надежность ТКС определяется своими причинами и предпосылками, которые связаны с задачами анализа и обеспечения надежности, а также целями, ими преследуемыми. В соответствии с этим подходом выделяют, как правило, три категории ФВН: проектные, производственные и эксплуатационные [3]. Такое деление имеет тот очевидный смысл, что ФВН каждого из таких видов учитываются и управляются в большинстве своем независимо друг от друга, посредством собственных методов, учитывающих соответствующую специфику.

Проектные (или конструктивные) ФВН определяют потенциальную надежность ТКС. В этом смысле они являются стабилизирующими, поскольку, как правило, непосредственно связаны с мерами повышения и обеспечения надежности ТКС. К данной категории также относятся те ФВН, которые учитываются при осуществлении прогноза относительно надежности, которой будет обладать ТКС после ее изготовления и введения в эксплуатацию. К проектным ФВН ТКС относятся, например, выбор логической и физической топологии ТКС, ее функциональной схемы, выбор аппаратных устройств, способов их резервирования и контроля, режимов и условий

их функционирования в ТКС, назначение параметров установки и наладки и др.

К производственным ФВН относятся технологические факторы производства, монтажа и наладки оборудования ТКС, в частности: входной контроль качества применяемых элементов ТКС, организация процесса изготовления и контроль качества оборудования ТКС, обеспечение качества и контроль монтажа и наладки аппаратных блоков и систем ТКС и др.

К эксплуатационным относятся ФВН, которые оказывают воздействие, соответственно, в процессе эксплуатации ТКС. В основном, эти ФВН определяются регламентированными (штатными) условиями эксплуатации, такими как, например, климатические факторы, условиями обслуживания ТКС, а также процессами старения и износа материалов.

Отметим, что граница между указанными категориями ФВН несколько размывается тем обстоятельством, что на этапах анализа требований и проектирования ТКС могут быть учтены все ФВН, в том числе производственные и эксплуатационные, на основании имеющихся, накопленных ранее данных об условиях функционирования и особенностях эксплуатации подобных систем. На последующих этапах жизненного цикла ТКС, разумеется, эти данные уточняются.

По критерию естественности воздействия (иными словами, природе возникновения) ФВН можно подразделить на объективные — воздействия внешней среды, и субъективные — воздействия обслуживающего персонала. Такое деление позволяет четче проследить причины, соответствующие источнику возникновения отказов ТКС, и выработать на основе этих наблюдений соответствующие группы методов анализа и предотвращения отказов. Отметим, однако, что данные методы могут не иметь принципиальных различий в той части, которая касается рассмотрения влияния ошибок обслуживающего персонала с учетом его случайной, недетерминированной природы.

ФВН можно классифицировать по локализации источника возникновения относительно границ системы на две группы: внутренние и внешние. Внутренние ФВН определяют воздействия, которые возникают внутри ТКС, а внешние, соответственно, вне ее. Внешние ФВН обусловлены влиянием внешней среды и условиями применения ТКС; к ним относятся климатические факторы, механические воздействия, электромагнитное и радиационное излучения, агрессивная среда и др. Внутренние ФВН связанные с изменением параметров самих объектов ТКС, в частности, конструкционных материалов, из которых они изготовлены. Эти ФВН определяют

надежность, закладываемую в систему еще на стадии проектирования, и могут быть подразделены на категории в соответствии с составляющими интегрального понятия надежности: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью.

Целесообразность разделения ФВН на внутренние и внешние обусловлена тем, что лица, ответственные за управление каждой из этих групп, и, соответственно, способы такого управления, как правило, различны. Здесь отметим лишь тот факт, что возможно отнесение одних и тех же ФВН к внутренним или внешним в зависимости от границ рассматриваемой системы, которые в ряде случаев могут не задаваться изначально, а устанавливаться произвольно или на основании определенных субъективных соображений.

Отказы, которые происходят в рамках воздействия внутренних ФВН, можно с некоторой долей условности подразделить по степени закономерности воздействия на случайные и систематические (закономерные).

Следует учитывать, что изменения внутренних параметров объектов ТКС, определяющие внутренние ФВН, происходят с течением времени под влиянием внешних ФВН, и, таким образом, внутренние ФВН нельзя считать полностью независимыми. Также необходимо отметить, что все перечисленные ФВН влияют на надежность рассматриваемого объекта ТКС в комплексе, что затрудняет уточненное моделирование их воздействия.

Еще один вариант классификации эксплуатационных факторов основан на учете природы реализации объектов сети: аппаратурные и неаппаратурные. К последним можно отнести характеристики ПО, условия работы, антропогенный фактор [3].

При первичной классификации ФВН, то есть при выделении категорий ФВН первого уровня конкретизации, в качестве классификационного признака также может использоваться локализация соответствующих источников воздействия (в частности, источников отказа) относительно условий функционирования ТКС [2]. При таком подходе на верхнем уровне выделяются ФВН, которым соответствуют те или иные условия, порождающие источники воздействий на надежность объекта анализа:

– системные условия – порождают источники воздействий внутри объекта на любом этапе его жизненного цикла;

– условия эксплуатации – порождают источники отказов, которые возникают во время эксплуатации объекта;

– условия технического обслуживания – порождают источники отказов, которые возникают в объекте во время проведения технического обслуживания.

– следует отметить, что данные источники отказов могут взаимодействовать между собой.

Независимо от выбранного способа первичной классификации, ФВН верхнего уровня, как правило, носят обобщенный характер и, в целом, могут быть отнесены к любым отраслям промышленности.

На рисунке 1 представлена схема, отражающая варианты первичной классификации ФВН. Выявление более детальных ФВН возможно осуществить путем дальнейшего рассмотрения каждого общего ФВН в контексте конкретного объекта.

ФВН также можно подразделять на стабилизирующие и дестабилизирующие, допустимые и недопустимые и т. п.

После качественной и количественной оценки выявленных ФВН общего характера могут быть идентифицированы детальные ФВН, являющиеся специфичными в каждом конкретном случае. При этом следует учесть, что состав ТКС как объекта анализа также может быть определен по-разному. Здесь опять-таки должны задействоваться критерии логической стройности и управляемости, то есть целесообразного соответствия объектам управления.

Классификация ФВН, в конечном счете, должна помочь в идентификации тех конкретных ФВН, которые будут являться объектами непосредственного анализа и управления. Эффективный учет ФВН возможен лишь при небольшом их количестве, поэтому после идентификации конкретных ФВН необходимо выявить наиболее важные из них. Иными словами, необходимо отделить основные ФВН от второстепенных и косвенных (следствий). Одним из ключевых свойств выделяемых ФВН также является прогнозируемость, поскольку непрогнозируемые ФВН не могут быть заложены в оценку надежности ТКС.

Исследования в области выявления причин отказов свидетельствуют о том, что одним из важнейших аспектов в комплексном процессе управления надежностью ТКС является человеческий фактор, представляемый, прежде всего, обслуживающим персоналом. Отнесение человеческого фактора к внешним или внутренним, определяемое решением о включении человека в анализируемую систему, по всей видимости, не принципиально; важнее сама по себе необходимость его учета. По результатам исследований в области отказов телефонной сети США [1], можно выделить три основных ФВН ТКС.

Все выделенные ФВН неизбежны, хотя каждый из них можно уменьшить, обеспечив повы-

шенную надежность, и порождают «вполне вероятные» события [4].

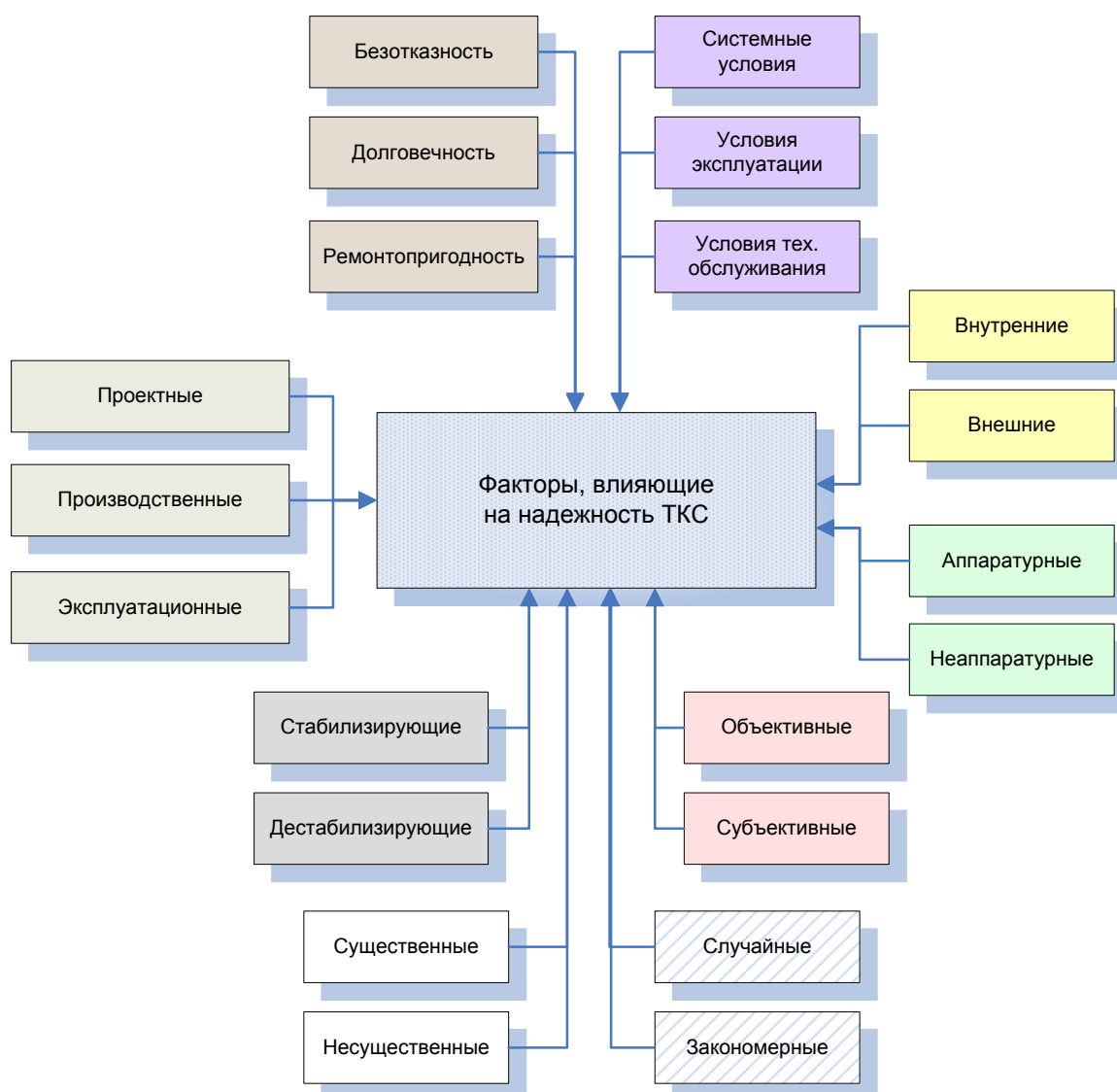


Рисунок 1. Варианты классификации факторов, влияющих на надежность телекоммуникационных сетей

*Отказы техники* — события, которые являются следствием воздействия различных ФВН: климатических (таких как влажность, приводящая к окислению контактов, повышенная температура, следствием воздействия которой является ухудшение эластичности изоляции), электромагнитных (вызывающих помехи), механических (трение, приводящее к износу материалов) и др. В рамках данного вида ФВН рассматриваются только те отказы, которые происходят по причине воздействия указанных естественных ФВН (то есть «сами по себе»), и не рассматриваются отказы, которые происходят по вине человека или ошибок программного обеспечения (ПО). В зависимости от того, какая часть техники выходит из строя, отказы могут различаться по масштабу, степени критичности, продолжительности (постепенности), другим особенностям.

*Ошибки ПО* — имеют свою специфику, на нижнем уровне влияют на логику работы непосредственно управляемого оборудования, на верхнем — на логику всей системы управления. Соответственно ошибки на верхнем уровне могут дестабилизировать целые участки распределенной ТКС или даже всю ТКС, если управление централизованное.

*Ошибки персонала* — могут приводить к физическим повреждениям (и отказам) техники, а также ошибкам в управлении (как и в результате отказов ПО). При поэлементном структурировании ТКС как системы анализа надежности необходимо учитывать степень влияния надежности каждого элемента на надежность ТКС, возможность объективного контроля надежности элементов в производстве и эксплуатации, а также достоверность сведений о техническом состоя-

нии элемента, поступающих с различных этапов технического контроля.

Вид ФВН	Способ уменьшения влияния ФВН
Отказы техники	Использование высоконадежной аппаратуры и материалов, резервирование
Ошибки программного обеспечения	Использование многократно проверенных и хорошо протестированных программ
Ошибки персонала	Задействование работников высокой квалификации (для устранения ошибок по неопытности), улучшение условий труда для снижения утомляемости и количества соответствующих ошибок.

Среди конкретных данных, имеющих отношение к надежности функционирования ТКС и соответствующих им ФВН, можно указать следующие:

а) внутренняя структура узла связи с параметрами отдельных аппаратных блоков ТКС; соответствующий ФВН – внутренние отказы аппаратуры, надежность которой, прежде всего, характеризуется показателями безотказности (вероятность безотказной работы, наработка на отказ, интенсивность отказов и восстановлений, коэффициент готовности и др.);

б) характеристики используемого ПО узла, подсистемы или ТКС в целом; соответствующий ФВН – отказы ПО; показатели надежности – те же, что и в п. (а), считая отказами ПО перезагрузки, сбои, зависания, неправильное функционирование в результате проявившейся ошибки;

в) способы и особенности реализации каналов связи, включая параметры среды передачи, строительных сооружений и пр.; соответствующие ФВН – повреждения линий связи, естественные помехи;

г) характер формирования и передачи сетевого трафика (включая алгоритмы формирования и управления, объемы, способ коммутации и кодирования фрагментов и пр.); соответствующий

ФВН – временные перегрузки отдельных участков сети, приводящие к недопустимому снижению пропускной способности;

д) режимы работы и условия эксплуатации объектов сети (узлов, каналов, путей, связей), в том числе естественные помехи, режимы нагруженности и пр.;

е) информация об относительной значимости объектов в рамках всей ТКС; возможный ФВН – изменение информации о значимости со временем и в зависимости от конкретных ситуаций;

ж) особенности организации системы технического обслуживания и ремонта объектов ТКС (узлов и каналов); соответствующий ФВН – восстановления отказавших элементов, характеризующиеся показателем интенсивности восстановления;

з) характеристики персонала, обслуживающего объекты ТКС; соответствующий ФВН – ошибки персонала, невыполнение необходимых функций (своего рода отказ человека как звена в системе «человек–техника»).

По результатам данной классификации можно выполнить учет, оценку и распределение надежности на каждом уровне классификационной иерархии ФВН ТКС.

### Литература

1. D. Richard Kuhn. Sources of failure in the Public Switched Telephone Network // IEEE Computer. – 1997. – Vol. 30. – No. 4.
2. Концепция комплексного управления надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте (редакция 1.1). – М., 2010. – 132 с.
3. Острейковский В.А. Теория надежности: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
4. Рыбалко В.В. Математические модели контроля надежности объектов энергетики. Монография. — СПб.: ГОУВПО СПбГТУРП, 2010. – 151 с.

Nenov A.

### Approaches to the Identification and Classification of Factors Influencing the Dependability of Telecommunications Network

**Abstract:** The article gives a detailed analysis of the problem of classification of factors determining the reliability of generalized telecommunications network, shows the importance of the classification in the task of reliability analysis and in the construction of an integrated system reliability analysis, highlights the major approaches to the implementation of the dependability factors classification. The types of problems encountered in the analysis of the telecommunications networks reliability. Variants classification of the factors determine the reliability of the network, on the basis of the following classifications: stage of the life cycle of the telecommunications network, the naturalness of the impact, the localization of the source of exposure relative to the boundaries of the system, the corresponding component reliability, the extent of the impact of laws, the nature of the objects of the telecommunications network, the localization of sources of exposure in relation to conditions of functioning of the telecommunications network, are described. The ad-

vantages, disadvantages, construction peculiarities of the corresponding classifiers are specified. For individual cases the examples of border placement factors in the overall classification scheme are shown. The presentation of material illustrates by generalized flowchart. A variant of the specific identification and classification of factors suitable for use in the implementation of the collection and processing of information about telecommunication network failures is proposed. It presents three major categories of factors affecting dependability: equipment failures, software errors, and human errors. In addition, the classification of the source data that are appropriate to base of the reliability analysis of the telecommunication networks, and destabilizing factors relevant these data with brief description are proposed. In this classification there were eight categories of data: a) the internal structure of the communication center; b) the characteristics of the software used host, subsystem or all network; c) the methods and characteristics of the communication channels; d) the nature of the formation and transmission of network traffic; e) modes and conditions of operation of the network; f) information about the relative importance of sites in the network; g) the characteristics of the network maintenance and repair organization; h) the characteristics of staff for the network.

**Keywords:** dependability; communication network; factors influenced on dependability; classification; method of dependability estimation.

*Польщиков К.А.*<sup>1</sup>

**Обобщенные модели нейро-нечетких систем управления интенсивностью потоков данных в мобильной радиосети**

<sup>1</sup> *Польщиков Константин Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных информационных технологий, Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина*

**Аннотация:** В статье предложены обобщенные модели нейро-нечетких систем управления интенсивностью потоков данных в мобильной радиосети. Указаны достоинства мобильных радиосетей, способствующие их применению в интересах силовых структур. Обоснована целесообразность применения нейро-нечеткого управления интенсивностью потоков данных для повышения эффективности доставки информации в мобильной радиосети. Для выполнения функций нейро-нечеткого управления интенсивностью потоков данных предложены обобщенные модели гибридных интеллектуальных систем, основанные на применении нейронных сетей и алгоритмов нечеткого вывода Сугено 0-го и 1-го порядков. Структура этих моделей определяется функциональностью слоев искусственных нейронов и приспособлена для выполнения процедур нечеткого вывода (фаззификации, агрегирования, активизации и дефаззификации). Сделаны выводы о том, что представленные модели могут быть использованы для синтеза нейро-нечетких систем, предназначенных для управления интенсивностью отправки данных узлами-источниками, интенсивностью повторных передач и интенсивностью отбрасывания пакетов в транзитных узлах в мобильной радиосети.

**Ключевые слова:** нейро-нечеткие системы, мобильная радиосеть, интенсивность потоков данных, модель, управление.

Основой для построения перспективных телекоммуникационных сетей, функционирующих для решения задач специального назначения, являются мобильные радиосети. Главными достоинствами мобильных радиосетей, способствующие их применению в интересах силовых структур, являются возможность доставки информации в условиях случайной топологии, высокая живучесть и способность быстрого развертывания. В то же время, наличие у мобильных радиосетей специального назначения (МРСН) указанных преимуществ не гарантирует высокую эффективность доставки информации ее пользователям [1].

В работе [2] обоснована целесообразность применения нейро-нечетких систем для управления интенсивностью отправки данных узлами-источниками, интенсивностью повторных передач и интенсивностью отбрасывания пакетов в транзитных узлах. Поэтому актуальной научной

задачей является получение обобщенных моделей нейро-нечеткого управления интенсивностью потоков данных в МРСН.

При нейро-нечетком управлении интенсивностью потоков данных в МРСН должны выполняться следующие функции:

$$U = \{U^\xi, U^\chi, U^y, U^c\},$$

где  $U^\xi$  – измерение значений  $\xi = \{\xi_1, \xi_2\}$  входных величин процесса управления интенсивностью потоков данных в МРСН;

$U^\chi$  – вычисление  $\chi = \{\chi_m^l\}$  – значений входных переменных систем нейро-нечеткого управления интенсивностью потоков данных ( $m$  – номер системы нейро-нечеткого вывода,  $m = 1, 2, \dots, M$ ;  $l$  – номер входной переменной,  $l = 1, 2, \dots, n_m$ );

$U^y$  – получение  $y = \{y_m\}$  – значений выходных переменных систем нейро-нечеткого управления

интенсивностью потоков данных (нейро-нечеткий вывод);

$U^c$  – вычисление  $c = \{c_m\}$  – значений выходных величин процесса управления интенсивностью потоков данных в МРСН.

Наиболее сложной функцией является  $U^y$  – функция нейро-нечеткого вывода. Состав процедур, выполняемых в процессе нейро-нечеткого вывода, зависит от используемого алгоритма нечеткого вывода. Одними из наиболее простых алгоритмов нечеткого вывода являются алгоритмы Сугено 0-го и 1-го порядков [3]. В соответствии с этими алгоритмами выполнение нейро-нечеткого вывода в процессе управления интенсивностью потоков данных в МРСН основано на применении базы нечетких правил:

$$\text{Если } (\chi_m^1 = A_m^{1,1}) \text{ и } (\chi_m^2 = A_m^{2,1}) \text{ и } \dots \text{ и } (\chi_m^l = A_m^{l,1}) \\ \text{ и } \dots \text{ и } (\chi_m^{n_m} = A_m^{n_m,1}), \text{ то } (y_m = Y_m^1)$$

$$\text{Если } (\chi_m^1 = A_m^{1,2}) \text{ и } (\chi_m^2 = A_m^{2,1}) \text{ и } \dots \text{ и } (\chi_m^l = A_m^{l,1}) \\ \text{ и } \dots \text{ и } (\chi_m^{n_m} = A_m^{n_m,1}), \text{ то } (y_m = Y_m^2)$$

$$\text{Если } (\chi_m^1 = A_m^{1,j}) \text{ и } (\chi_m^2 = A_m^{2,j}) \text{ и } \dots \text{ и } (\chi_m^l = A_m^{l,j}) \\ \text{ и } \dots \text{ и } (\chi_m^{n_m} = A_m^{n_m,j}), \text{ то } (y_m = Y_m^r)$$

$$\text{Если } (\chi_m^1 = A_m^{1,k_m^1}) \text{ и } (\chi_m^2 = A_m^{2,k_m^2}) \text{ и } \dots \text{ и } \\ (\chi_m^l = A_m^{l,k_m^l}) \text{ и } \dots \text{ и } (\chi_m^{n_m} = A_m^{n_m,k_m^{n_m}}), \\ \text{ то } (y_m = Y_m^{R_m}),$$

где  $A_m^{l,j}$  – терм номер  $j$  входной переменной  $\chi_m^l$ ,  $j = 1, 2, \dots, k_m^l$ ;

$Y_m^r$  – индивидуальный вывод нечеткого правила номер  $r$  системы нейро-нечеткого управления номер  $m$ ;

при этом

$$r = 1, 2, \dots, R_m,$$

где количество нечетких правил

$$R_m = k_m^1 \cdot k_m^2 \cdot \dots \cdot k_m^{n_m}.$$

Если для каждой входной переменной используется одинаковое количество термов, т.е.  $k_m^1 = k_m^2 = \dots = k_m^{n_m} = k_m$ , то  $R_m = (k_m)^{n_m}$ .

Функция  $U^y$  включает выполнение следующих процедур:

1. Фаззификация (приведение к нечеткости) состоит в том, что для конкретных значений входных переменных  $\chi_m^l$  вычисляются величины  $\mu_m^{1,1}, \mu_m^{1,2}, \dots, \mu_m^{1,j}, \dots, \mu_m^{1,k_m^1}, \mu_m^{2,1}, \mu_m^{2,2}, \dots,$

$\mu_m^{2,j}, \dots, \mu_m^{2,k_m^2}, \dots, \mu_m^{l,1}, \mu_m^{l,2}, \dots, \mu_m^{l,j}, \dots, \mu_m^{l,k_m^l}, \dots, \mu_m^{n_m,1}, \mu_m^{n_m,2}, \dots, \mu_m^{n_m,j}, \dots, \mu_m^{n_m,k_m^{n_m}}$  – значения функции принадлежности входных переменных соответствующим термам. Здесь  $\mu_m^{l,j}$  – значение функции принадлежности входной переменной  $\chi_m^l$  терму номер  $j$ .

2. Агрегирование – вычисление степени истинности условий каждого нечеткого правила при конкретных значениях входных переменных:

$$G_m^1 = \mu_m^{1,1} \wedge \mu_m^{2,1} \wedge \dots \wedge \mu_m^{l,1} \wedge \mu_m^{n_m,1};$$

$$G_m^2 = \mu_m^{1,2} \wedge \mu_m^{2,1} \wedge \dots \wedge \mu_m^{l,1} \wedge \mu_m^{n_m,1};$$

$$\dots$$

$$G_m^r = \mu_m^{1,j} \wedge \mu_m^{2,j} \wedge \dots \wedge \mu_m^{l,j} \wedge \mu_m^{n_m,j};$$

$$\dots$$

$$G_m^{R_m} = \mu_m^{1,k_m^1} \wedge \mu_m^{2,k_m^2} \wedge \dots \wedge \mu_m^{l,k_m^l} \wedge \mu_m^{n_m,k_m^{n_m}},$$

где  $\wedge$  – обозначение операции логического минимума.

3. Активизация – определение значений индивидуальных выводов нечетких правил:

Для алгоритма Сугено 0-го порядка:

$$Y_m^1 = a_m^1, Y_m^2 = a_m^2, \dots, Y_m^r = a_m^r, \dots, Y_m^{R_m} = a_m^{R_m}.$$

Для алгоритма Сугено 1-го порядка:

$$Y_m^1 = a_m^{1,1} \chi_m^1 + a_m^{2,1} \chi_m^2 + \dots + a_m^{l,1} \chi_m^l + \dots + a_m^{n_m,1} \chi_m^{n_m} + a_m^{(n_m+1),1}$$

$$Y_m^2 = a_m^{1,2} \chi_m^1 + a_m^{2,2} \chi_m^2 + \dots + a_m^{l,2} \chi_m^l + \dots; \\ + a_m^{n_m,2} \chi_m^{n_m} + a_m^{(n_m+1),2}$$

$$Y_m^r = a_m^{1,r} \chi_m^1 + a_m^{2,r} \chi_m^2 + \dots + a_m^{l,r} \chi_m^l + \dots; \\ + a_m^{n_m,r} \chi_m^{n_m} + a_m^{(n_m+1),r}$$

$$Y_m^{R_m} = a_m^{1,R_m} \chi_m^1 + a_m^{2,R_m} \chi_m^2 + \dots + a_m^{l,R_m} \chi_m^l + \dots \\ + a_m^{n_m,R_m} \chi_m^{n_m} + a_m^{(n_m+1),R_m}$$

4. Дефаззификация – определение четкого значения выходной переменной. В соответствии с методом центра тяжести для одноточечных множеств [3] результат дефаззификации определяется по формуле:

$$y_m^* = \frac{\sum_{r=1}^{R_m} G_m^r Y_m^r}{\sum_{r=1}^{R_m} G_m^r}.$$

Для выполнения приведенных выше процедур применяются нейро-нечеткие системы, структура которых определяется функциональностью слоев искусственных нейронов.

Обобщенная модель нейро-нечетких систем управления интенсивностью потоков данных в мобильной радиосети специального назначения,

основанная на применении алгоритма нечеткого вывода Сугено 0-го порядка (модель Сугено-0), представлена на рис. 1.

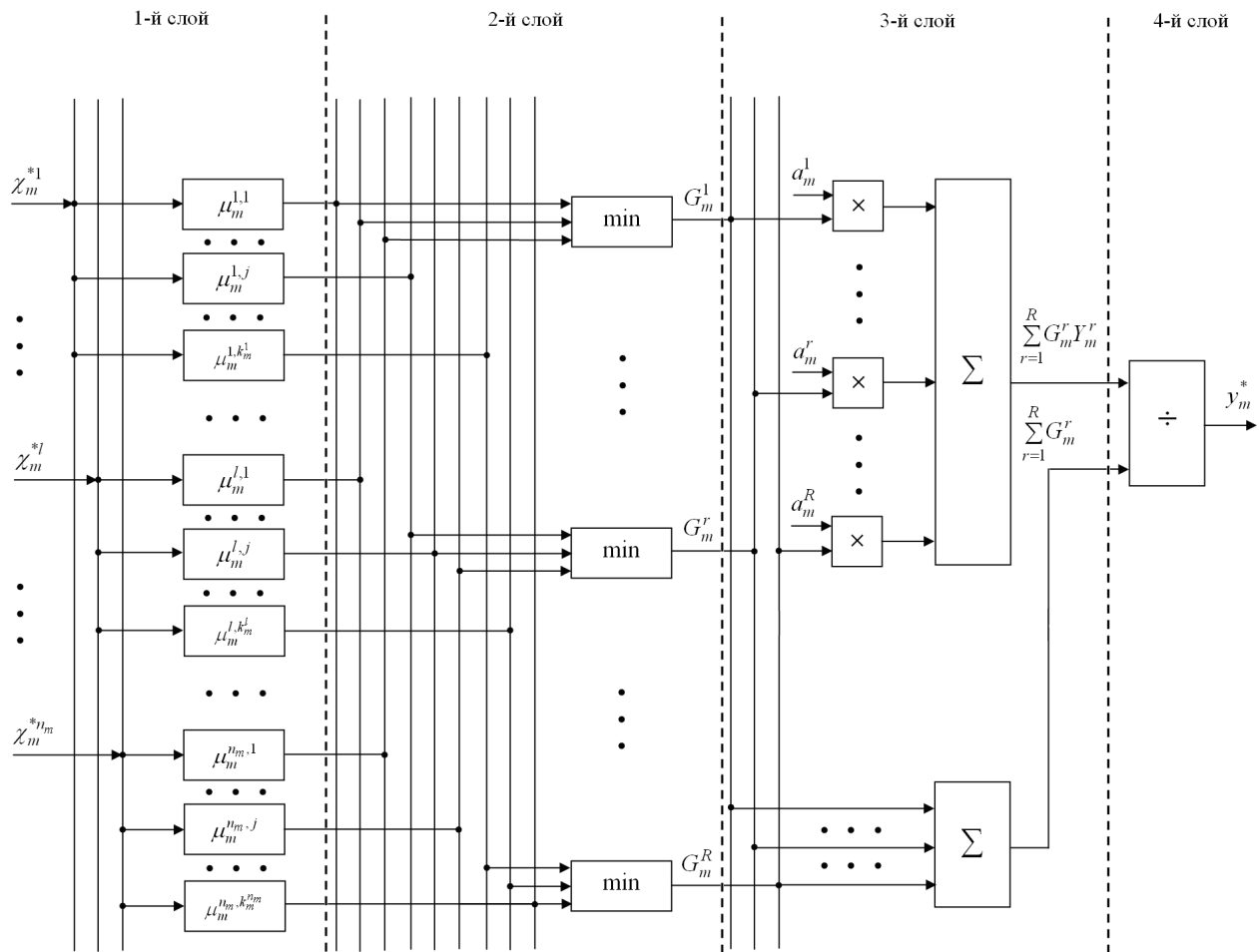


Рис. 1. Обобщенная модель (Сугено-0) нейро-нечеткой системы управления интенсивностью потоков данных в МРСН

Структура таких нейро-нечетких систем состоит из четырех слоев:

- *слой 1* осуществляет фаззификацию;
- *слой 2* выполняет процедуру агрегирования;
- *слой 3* выполняет процедуру активизации и часть процедуры дефаззификации – взвешенное суммирование результатов агрегирования:

$$\sum_{r=1}^{R_m} G_m^r Y_m^r,$$

а также суммирование результатов агрегирования:

$$\sum_{r=1}^{R_m} G_m^r;$$

- *слой 4* предназначен для осуществления заключительной части процедуры дефаззификации – деления результатов функционирования 3-го слоя:

$$y_m^* = \frac{\sum_{r=1}^{R_m} G_m^r Y_m^r}{\sum_{r=1}^{R_m} G_m^r}.$$

Обобщенная модель нейро-нечетких систем управления интенсивностью потоков данных в мобильной радиосети специального назначения, основанная на применении алгоритма нечеткого вывода Сугено 1-го порядка (модель Сугено-1), представлена на рис. 2. Структура таких нейро-нечетких систем состоит из пяти слоев:

- *слой 1* осуществляет фаззификацию;
- *слой 2* выполняет процедуру агрегирования;
- *слой 3* служит для выполнения части процедуры дефаззификации – нормализации результатов агрегирования:

$$\overline{G}_m^r = \frac{G_m^r}{\sum_{s=1}^R G_m^s};$$

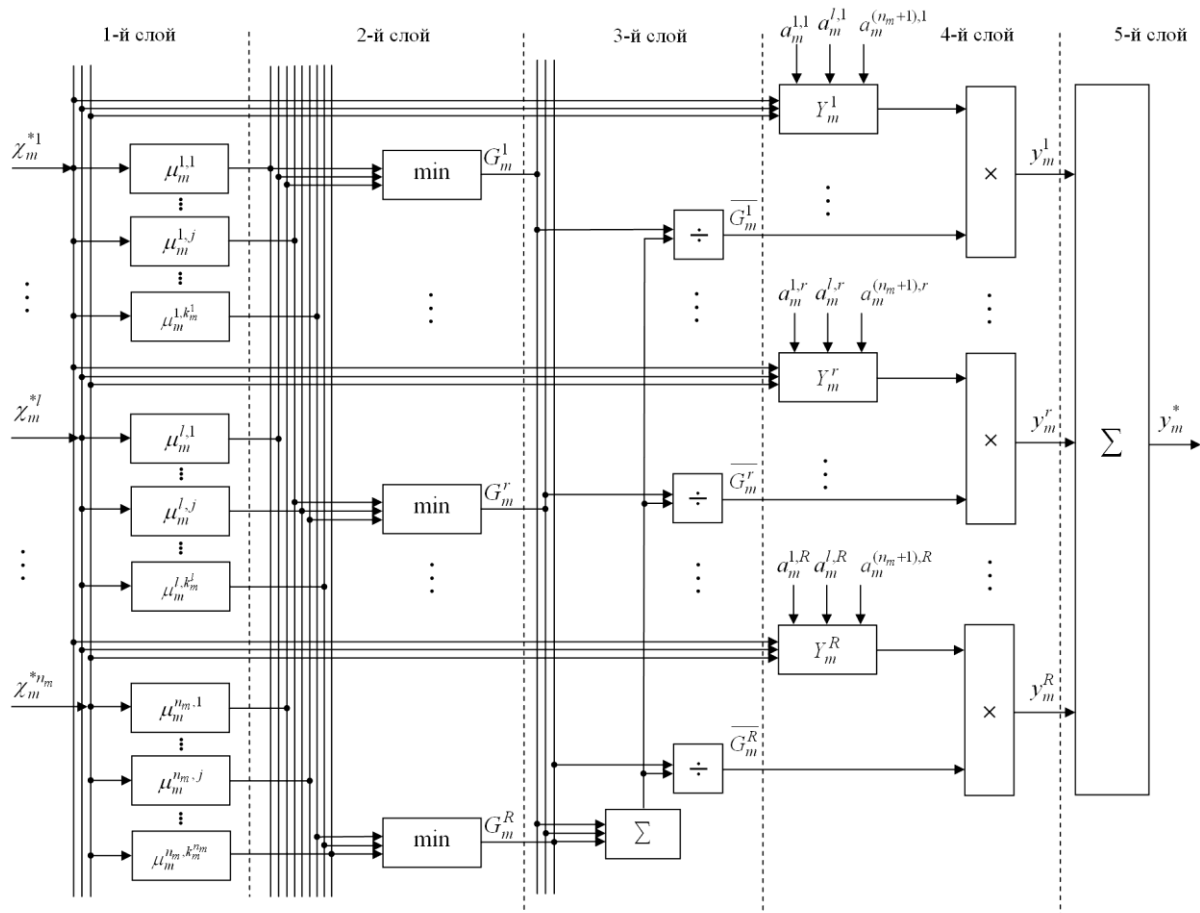


Рис. 2. Обобщенная модель (Сугено-1) нейро-нечеткой системы управления интенсивностью потоков данных в МРСН

– *слой 4* осуществляет активизацию и произведение результатов нормализации и активизации:

$$y_m^r = \overline{G}_m^r \cdot Y_m^r;$$

– *слой 5* выполняют заключительную часть процедуры дефаззификации – суммирование результатов функционирования 4-го слоя:

$$y_m^* = y_m^1 + y_m^2 + \dots + y_m^r + \dots + y_m^R.$$

На основе предложенных выше моделей предлагается осуществлять синтез нейро-нечетких систем управления интенсивностью потоков данных в МРСН.

Таким образом, для повышения эффективности доставки информации в мобильной радиосети целесообразно осуществлять нейро-нечеткое управление интенсивностью потоков данных, циркулирующих в ней. Для выполнения функ-

ций нейро-нечеткого управления интенсивностью потоков данных предложены обобщенные модели гибридных интеллектуальных систем, основанные на применении нейронных сетей и алгоритмов нечеткого вывода Сугено 0-го и 1-го порядков. Структура этих моделей определяется функциональностью слоев искусственных нейронов и приспособлена для выполнения процедур нечеткого вывода (фаззификации, агрегирования, активизации и дефаззификации). Представленные модели могут быть использованы для синтеза нейро-нечетких систем, предназначенных для управления интенсивностью отправки данных узлами-источниками, интенсивностью повторных передач и интенсивностью отбрасывания пакетов в транзитных узлах в мобильной радиосети.

### Литература

1. Осипов Е.А. Проблемы реализации надежной передачи данных в самоорганизующихся сетях / Е.А. Осипов // Электросвязь, 2006. – № 6. – С. 29-32.
2. Polschikov K.O. Functional model of data flows intensity control in the mobile radio network of the special setting / K.O. Polschikov // Scientific herald of the DSEA, 2012, No 1, pp. 127-135.
3. Takagi T. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control / T. Takagi, Sugeno M. // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 15, No 1, 1985, pp. 116-132.



**Polshchykov K.O.**

**General models of neuro-fuzzy systems control the intensity of data flows in a mobile radio network**

**Abstract:** General models of neuro-fuzzy systems control the intensity of data flows in a mobile radio network. In the article the general models of neuro-fuzzy systems control the intensity of data flows in a mobile radio network are proposed. Advantages of mobile radio networks to facilitate their use in the interest of the military forces are listed. Expediency of neuro-fuzzy control of the intensity data flows to improve the efficiency of information delivery in the mobile radio network is founded. To perform the functions of the neuro-fuzzy control traffic at the proposed generic models of hybrid intelligent systems based on the use of neural networks and fuzzy inference algorithms Sugeno 0th and 1st order. The structure of these models is determined by the functionality of the layers of artificial neurons, and is adapted to perform the procedures of fuzzy inference (fuzzification, aggregation, activation, and defuzzification). It is concluded that the presented model can be used for the synthesis of neuro-fuzzy systems for controlling the intensity of sending the data source nodes, the intensity of retransmissions and packet drops in the intensity of transit nodes in a mobile radio network.

**Keywords:** neuro-fuzzy systems, mobile radio network, the intensity of the data flows, model, control.

*Маноха Л.Ю.<sup>1</sup>, Лиманская Н.В.<sup>2</sup>*

**Управление работой оборудования хлебопекарного производства путем построения оптимального графика планово-профилактических ремонтов**

<sup>1</sup> *Маноха Людмила Юрьевна, кандидат технических наук, доцент*

<sup>2</sup> *Лиманская Наталия Владимировна*

*Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина*

**Аннотация:** Современное оборудование хлебопекарного предприятия имеет достаточно высокие показатели надежности. Но в процессе эксплуатации состояние оборудования постоянно находится под действием различных факторов, режимов и условий работы. Это снижает его эксплуатационную надежность и увеличивает вероятность возникновения отказов. Надежность оборудования зависит не только от качественного изготовления и правильной эксплуатации, но и от научно-обоснованного графика технического обслуживания и своевременного ремонта.

**Ключевые слова:** оптимизация, график ремонтных работ, планово-предупредительные работы, хлебопекарное производство.

**Введение.** Хлебопекарная отрасль характеризуется непрерывным процессом изготовления продукции и непрерывной работой производственного оборудования. Выход из рабочего состояния одной линии приводит к простоям производства, увеличению расхода материальных ресурсов, невыполнению рабочих графиков и т.п.. Чтобы хлебопекарное предприятие работало бесперебойно, целесообразно разработать и применить оптимальную систему планово-предупредительных ремонтов.

**Актуальность задачи.** Система планово-предупредительных ремонтов (ППР) предусматривает совокупность организационных и технических мероприятий по уходу, обслуживанию и ремонту оборудования, проводимых профилактически, по заранее составленному плану с целью предотвращения неожиданного выхода оборудования из строя и поддержания его в постоянной эксплуатационной готовности. Профилактический характер системы ППР позволяет подготовиться заранее и обеспечить всем необходимым ремонт каждого элемента производственной линии или автоматизированной машины.

Все работы по обслуживанию и ремонту оборудования в системе ППР подразделяются на: 1) межремонтное обслуживание; 2) периодические профилактические операции; 3) плановые ремонты.

1. Межремонтное обслуживание включает повседневный уход и наблюдение за оборудованием. Правильная организация межремонтного обслуживания позволяет значительно продлить сроки службы оборудования, сохранить высокое качество его работы, ускорить и удешевить плановые ремонты. Уход и наблюдение за оборудованием предусматривают соблюдение рабочими правил эксплуатации, ежедневное смазывание и очистку станков, своевременное регулирование механизмов и устранение мелких неисправностей. Эти работы выполняются самими рабочими, обслуживающими агрегаты, дежурными ремонтной службы (слесарем, электриком, смазчиком). Операции межремонтного обслуживания выполняются без нарушения процесса производства, поскольку проводятся во время перерывов в работе элементов оборудования (обеденные, внутрисменные перерывы).

2. Периодические профилактические операции включают: промывание оборудования, его проверку на точность, замену масла. Все эти периодические ремонтные операции осуществляются ремонтной службой по плану-графику ППР. Промывке подвергается оборудование, работающее в тяжелых условиях загрязненности и запыленности. Промывка выполняется в нерабочее время, без простоя оборудования. Замена масла обычно сочетается с осмотром и плановыми ремонтами. Проверка оборудования на точность позволяет установить состояние оборудования, узлов, деталей, износ которых вызывает потерю точности. Они осуществляются контроллером отдела технического контроля с помощью ремонтного слесаря в нерабочее время.

Оборудование осматривается периодически согласно графику и является важным этапом профилактических мероприятий. Обзоры проводятся между плановыми ремонтами и сочетаются с изменением износившихся деталей и мелким ремонтом, без которого оборудование нельзя эксплуатировать до очередного планового ремонта. Оборудование осматривает ремонтный персонал во время технологических перерывов в работе оборудования или в нерабочее время.

3. Система ППР предусматривает разделение ремонтов на малый, средний и капитальный. Малый - это минимальный по объему ремонт, при котором обеспечивается нормальная эксплуатация оборудования до очередного планового ремонта путем замены или восстановления деталей, которые быстро изнашиваются, а также регулирования механизмов. К быстроизнашивающимся деталям относятся все сменные детали, срок службы которых равен или меньше межремонтному периоду.

При среднем ремонте восстанавливаются предусмотренные ГОСТом или техническими условиями точность, мощность и производительность оборудования, путем замены деталей. Данные обновления происходят на период до очередного планового ремонта.

**Результаты и обсуждение.** При постановке технологической линии на ремонт необходимо учитывать прогноз заказов торговой сети по различным видам ассортимента продукции. Всю выпускаемую на хлебопекарном предприятии продукцию, разобьем на  $N$  видов. Плановый период разобьем на  $K$  промежутков времени. Если плановый период - год, то промежутком времени может быть неделя или сутки. На хлебокомбинате работает  $I$  линий, на которых производятся различные виды продукции. Необходимо построить матрицу текущих реакций  $A(i, k)$ , в которой:

$$(1) a(i,k) = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я линия в } k\text{-ю неделю находится в ремонте,} \\ 0, & \text{если } i\text{-я линия в } k\text{-ю неделю находится в рабочем состоянии;} \end{cases}$$

с учетом следующих ограничений:

1. каждая линия в плановый период (год) должна ставиться на ремонт:

$$\sum_{k=1}^K a(i,k) > 0, \quad i = 1, \dots, I; \quad (2)$$

2. линия не ставится на ремонт в периоды так называемых пиковых заказов  $a(i,k) \neq 1$  при  $k \in \{OGR\}$ , для  $i = 1, \dots, I$ ;

где  $\{OGR\}$  – множество периодов, относящиеся к пиковым заказам;

3. печи некоторых типов не ставятся на ремонт в теплое время года из-за долгого времени охлаждения:

$$a(i,k) \neq 1 \text{ при } i \in \{T\} \text{ и } k \in \{OGR_1\}, \quad (3)$$

где  $\{T\}$  – множество печей с кирпичной обмуровкой;

$\{OGR_1\}$  – множество периодов, относящихся к теплому времени года;

4. продолжительность планового ремонта  $i$ -й линии должна быть нормативной:

$$\sum_{k=1}^K a(i,k) = Tn_i, \quad i = 1, \dots, I; \quad (4)$$

где  $Tn_i$  – нормативная продолжительность текущего ремонта для  $i$ -й линии;

5. объем продукции  $j$ -го вида выпускаемой  $i$ -линией по каждому периоду, должен превышать прогнозируемый заказ:

$$V(j,k) \leq P(j,k) + \varepsilon, \quad j = 1, \dots, J, \quad k = 1, \dots, K; \quad (5)$$

где  $V(j,k)$  – объем выпущенной продукции  $j$ -го вида в  $k$ -й период времени;

$$V(j,k) = \sum_{i=1}^I PR(j,i), \quad k = 1, \dots, K; \quad (6)$$

$$i \in \{C_j\} \quad i \notin \{D_k\}$$

где  $PR(j,i)$  – производительность  $i$ -й линии по  $j$ -му виду ассортимента;

$P(j,k)$  – прогнозируемый спрос  $j$ -го вида продукции в  $k$ -период времени;

$\{C_j\}$  – множество линий, выпускающих  $j$ -й вид ассортимента;

$\{D_k\}$  – множество линий, которые поставлены на ремонт в  $k$ -й период;

б. на одном хлебокомбинате в  $k$ -й период времени может находиться в ремонте только одна линия, учитывая возможности ремонтных бригад:

$$\sum_{i=1}^l a(i, k) < 1, \text{ при } i \in \{Zd_n\}, n = 1, \dots, N \quad (7)$$

где  $\{Zd_n\}$  – совокупность линий, установленных на  $n$ -м хлебозаводе;

7. линии, выпускающие один вид ассортимента и находящиеся в одном районе, нецелесообразно ставить в ремонт в один и тот же промежуток времени, так как при этом возрастают транспортные расходы:

$$\sum_{i=1}^l a(i, k) \leq 1, \text{ при } i \in \{C_i\} \quad (8)$$

$$i \in \{R_i\}$$

где  $\{R_i\}$  — множество линий, которые находятся в одном районе.

Критерием оптимальности является минимальное квадратическое отклонение величин межремонтных периодов от рассчитанных значений оптимальных периодов проведения профилактических работ:

$$f = \min \sum_{i=1}^l (T_0 - t_i^0)^2 \quad (9)$$

где  $T_0$  – величина межремонтного периода  $i$ -той линии;

$t_i^0$  – рассчитанное значение оптимального межремонтного периода для  $i$ -той линии.

При распределении персонала для проведения ремонтных работ целесообразно использовать задачу о назначении. В данной задаче для выполнения каждой работы нужен один ресурс (один человек, одна бригада, одна линия и т. д.) и каждый ресурс может быть использован в одной работе. Есть ресурсы неделимые между работами, а работы – между ресурсами.

$$d_i = 1 - \text{единичное количество ресурса}$$

$$D_i, i = \overline{1, m};$$

где  $m$  – количество ресурсов.

$$b_j = 1 - \text{единичное количество работы}$$

$$B_j, j = \overline{1, n};$$

где  $n$  – количество работ.

$c_{ij}$  – характеристика качества выполнения работы  $B_j$  с помощью ресурса  $D_i$ .

Назначение или не назначение ресурса  $D_i$  для работы  $B_j$ :

$$(10) \quad x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если ресурс } i \text{ не назначено на работу } j; \\ 1, & \text{если ресурс } i \text{ назначено на работу } j. \end{cases}$$

Общая характеристика качества распределения ресурсов по работам:

$$f(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min, \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}.$$

Выходные данные группируются в таблицу, которая называется матрицей оценок, результаты – в матрице назначений.

**Выводы.** Задачи такого характера имеют большую размерность и определяются большой разреженностью матриц. Поэтому необходимо решать задачу в интерактивном режиме с участием лица, принимающего решение. Это не гарантирует получение строго оптимального результата, но позволяет учесть основные из целей управления, а также неформализованную информацию.

Построенный график ППР позволяет повысить эффективность и надежность работы производственного оборудования. А это, в свою очередь, приведет к уменьшению простоев производства и расходов материальных ресурсов и обеспечит выполнение рабочих графиков. Таким образом использование системы планово-предупредительных ремонтов для хлебопекарного предприятия обеспечит непрерывную работу производственного оборудования и бесперебойный процесс изготовления продукции.

### Література

1. Справочник «Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования» / А.И. Ящура - ЕНАС 2006. – 388с.
2. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование. Учеб. пособие / И.В. Орлова, В.А. Половников – М: Вузовское пособие, 2007. – 365с.

### Manokha L., Limanska N. Management by work of equipment of bakery production by construction of optimal chart of preventive-maintenance repairs

**Abstract:** The modern equipment of bakery enterprise has high enough reliability indexes. But in the process of exploitation the state of equipment constantly is under the action of different factors, modes and terms of work. It reduces his operating reliability and increases probability of origin of refuses. Reliability of equipment depends not only on the

quality making and correct exploitation but also from the scientifically-reasonable chart of technical service and timely repair. The system of preventive-maintenance repairs envisages totality of organizational and technical events on a care, service and repair of equipment, conducted prophylactic, on beforehand worked out a plan with the purpose of prevention of unexpected exit of equipment from a line-up and maintenance of him in permanent operating readiness. All works on service and repair of equipment are subdivided into: TBO service, periodic prophylactic operations and плановые repairs. An equipment looks around periodically according to a chart and is the important stage of prophylactic events. Reviews are conducted between плановыми repairs and combine with the change of the worn out details and light maintenance without that an equipment can not be exploited to next планового repair. An equipment examines a repair personnel during technological dwells equipment or in non-working time. The built chart of preventive-maintenance repairs allows to promote efficiency and reliability of work of productive equipment. And it will result in reduction of outages of production and charges of material resources and will provide implementation of working charts. Thus the use of the system of preventive-maintenance repairs for a bakery enterprise will provide continuous work of productive equipment and trouble-free process of making of products.

**Keywords:** optimization, chart of workovers, preventive-maintenance repairs, bakery production.

*Грищенко И.В.*<sup>1</sup>

**Повышение живучести инфокоммуникационных сетей путем использования интеллектуальных систем**

<sup>1</sup> *Грищенко Инна Владимировна, аспирант,  
Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики,  
Одесская государственная национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина*

**Аннотация:** Обеспечение живучести сетей связи после нанесения повреждения сети является актуальной проблемой инфокоммуникаций. В данной работе рассматривается создание интеллектуальной системы, живучесть которой может быть обеспечена защитой от повреждений и подавления, защитой от непреднамеренных всевозможных помех, а также проведением ряда организационных и инженерно-технических мероприятий, что обеспечивает быстрое восстановление функционирование инфокоммуникационной сети.

**Ключевые слова:** сеть, живучесть, инфокоммуникации, интеллектуальная система.

Инфокоммуникационная сеть – это технологическая система, предназначенная для передачи по линиям связи информации, доступ к которой осуществляется с использованием средств вычислительной техники [1].

Особое значение для эффективной работы сети имеет обеспечение живучести. Живучесть характеризует устойчивость сети связи против действия причин, приводящих к разрушениям или значительным повреждениям некоторых частей ее элементов [2].

Для инфокоммуникационной сети к характеристикам, определяющим живучесть, следует относить пропускные способности дуг графа сети и характеристики коммутационных узлов (число поддерживаемых соединений различных типов по каждому из направлений передачи, емкости буферов для кратковременного хранения транзитного трафика и т. д.) [3].

Эволюцию процессов обеспечения живучести на стыке вычислительной техники и телекоммуникационных технологий можно проанализировать, рассматривая развитие телекоммуникаций и компьютерных сетей:

– применение пакетной передачи данных (конец 60-х годов), которое позволяло строить сеть

таким образом, что маршруты доставки от одной точки сети до другой разных пакетов информации могли проходить по разным физическим каналам связи и меняться в зависимости от их работоспособности или загрузки. Это значительно увеличивало живучесть сети в целом, даже если часть каналов связи будут неработоспособными. Сеть связи получала регулярное приращение одной или нескольких топологических характеристик, а под действием негативного воздействия могла получать отрицательное приращение. При разрыве дуги или выхода из строя узла самостоятельное существование и действие отдельных частей сети оставалось возможным, если число связанных соединениями сохранивших работоспособность узлов не менее двух. При этом предполагалось, что оставшиеся связные участки сети способны функционировать самостоятельно.

В конце 60-х годов начинает появляться передача данных по телефонным сетям (голоса в цифровой форме). При наличии нескольких источников информации (отправителей) и нескольких получателей можно проложить между каждой парой отдельную линию связи. Однако такой подход становится

неэффективным уже при достаточно малом количестве источников и получателей. Вместо этого обычно организовывалась структура, в которой число линий связи гораздо меньше и на линиях размещались (находились) каналы (с помощью уплотнения), а обмен информацией между узлами обеспечивался с помощью технологий коммутации. Повышение живучести цифровых сетей при использовании систем передачи цифровой синхронной иерархии обеспечивался путем организации кольцевых сетевых структур, где существовало два и более путей между внутризоновыми сетевыми узлами.

Открывшиеся перспективы использования глобальных сетей для передачи данных в дополнение к голосу не могли не привлечь к себе внимание. В середине 70-х годов главным органом связистов ССИТ (ныне ИТУ-Т) был предложен собственный стандарт сети с коммутацией пакетов X.25. Этот протокол представляет собой альтернативу TCP/IP и построен по принципам, близким связистам: «сложная» сеть и «простые» устройства в ней. Дальнейшее развитие этот подход получил в технологии Asynchronous Transfer Mode (ATM). Хотя в стандартах X.25 и ATM пакеты коммутируются, эти стандарты все же сохраняют близость к традиционной телефонии, так как воспроизводят виртуальные подключения.

Стандарт X.25 гарантирует безошибочную передачу пакетов средствами самой сети, не предъявляя значительных требований к терминалам. Живучесть сети обеспечивает протокол TCP, а в X.25 те же функции реализует сама сеть.

В середине 80-х годов появляется технология Token Ring — технология локальной вычислительной сети (LAN) кольца с «маркёрным доступом» — протокол локальной сети, который находится на канальном уровне (DLL) модели OSI. Он использует специальный трёхбайтовый фрейм, названный маркёром, который перемещается вокруг кольца. Владение маркёром предоставляет право обладателю передавать информацию на носителе. Кадры кольцевой сети с маркёрным доступом перемещаются в цикле, кольцевая топология очень чувствительна к обрывам кабеля кольца. Для повышения живучести сети технологии Token Ring или IEEE 802.5 предусмотрен режим так называемого сворачивания кольца, что позволяет обойти место обрыва.

Сеть Интернет относится к сетям пакетной передачи данных. Вся информация в сети передается исключительно пакетами. Передавать сетевые пакеты информации между устройствами позволяет коммутатор (Switch или HUB). Объ-

единение локальных сетей между собой фактически представляет глобальную сеть, и для выяснения маршрута доставки каждого конкретного пакета применяются маршрутизаторы. Маршрутизатор определяет, какой пакет куда отправить. Таблицы маршрутизации могут быть как статическими, т.е. постоянными и неизменными, так и динамическими, меняющимися по определенным правилам. Применение динамической маршрутизации значительно повышает живучесть сети, так как позволяет менять маршруты доставки пакетов в зависимости от исправности или перегрузки тех или иных каналов связи.

В настоящее время сложность сетей увеличивается, что обуславливает необходимость совершенствования систем управления, отвечающим новым требованиям к качеству управления.

Известно, что система — это упорядоченная совокупность (множество) элементов и связей (отношения, взаимодействия) между ними, обладающая определенной целостностью [4]. Задачи предоставления услуг связи по распределенной обработке информации являются актуальными и в значительной степени их могут решить интеллектуальные системы. Интеллектуальные системы — это технические или программные системы, способные решать задачи, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы.

Под интеллектуальной системой управления понимается система управления, способная к «пониманию» и обучению в отношении объекта управления, возмущений, внешней среды и условий работы [5]. Основное отличие интеллектуальных систем — наличие механизма системной обработки знаний.

Главная архитектурная особенность, которая отличает интеллектуальные системы управления от традиционных — это механизм получения, хранения и обработки знаний для реализации своих функций. Разработка новых интеллектуальных алгоритмов управления инфокоммуникационными сетями позволит создать сеть, производительность которой будет близка к пиковой производительности сети. **В целом, интеллектуальная сеть (Smart Grid, «умная», или активно-адаптивная сеть) представляла бы собой распределительную сеть, которая сочетает комплексные инструменты контроля и мониторинга, информационные технологии и средства коммуникации, обеспечивающие значительно более высокую ее производительность.** Возможность такой системы сохранять или быстро восстанавливать способность к выполнению своих функций с требуемым качеством в условиях воздействия средств намеренного повреждения или чрезвычай-

чайных ситуаций природного и техногенного характера и представляет собой живучесть интеллектуальных систем управления.

В данной работе рассматривается создание интеллектуальной системы, живучесть которой может быть обеспечена защитой от повреждений и подавления, защитой от непреднамеренных всевозможных помех, а также проведением ряда организационных и инженерно-технических мероприятий. Мероприятия по обеспечению живучести гарантируются: дублированием, резервированием и комплексным применением пунктов, органов и средств управления, а также правильным выбором места расположения, рассредоточения на местности и своевременной сменой местоположения мобильных элементов системы управления (СУ); комплексное применение (интеграция) различных средств управления (радиоэлектронных, проводных, световых, подвижных, звуковых и др.); организацией прямых и обходных каналов связи и др.

Основной задачей и главной целью такой ИИС является:

- интерпретация данных, где, как правило, предусматривается многовариантный анализ данных;

- диагностика, предусматривает обнаружение и распознавание неисправности в системе;

- мониторинг, где основной задачей является непрерывная интерпретация данных в реальном масштабе времени и сигнализация о выходе тех или иных параметров за допустимые пределы;

- проектирование. Состоит в подготовке спецификаций на создание «объектов» с заранее определёнными свойствами. В задаче проектирования тесно связаны два основных процесса, выполняемых в рамках интеллектуальной системы: процесс вывода решения и процесс объяснения причин проблем;

- прогнозирование. Позволяет предсказывать последствия некоторых событий или явлений на основании анализа имеющихся данных. Выводимые из этой модели следствия составляют основу для прогнозов с вероятностными оценками;

- планирование, т.е. нахождение планов действий, относящихся к объектам, способным выполнять некоторые функции;

- обучение. Системы обучения диагностируют ошибки при возникновении какой-либо ситуации и подсказывают правильные решения. Эта часть системы собирает сведения о всевозможных ситуациях, событиях, состояниях и запоминает характерные ошибки системы, затем в работе они способны диагностировать «слабости сети» и находить соответствующие средства для их ликвидации;

- управление, где присутствуют функции организованной системы, поддерживающие определённый режим деятельности сети;

- поддержка принятия решений. Заключается в совокупности процедур принятия решений, обеспечения необходимой информацией и рекомендациями, облегчающими процесс принятия решения.

В зависимости от назначения и возможностей проектирования предлагаемой системы, можно учесть и внедрить в систему одну из интеллектуальных систем[6]:

1. Экспертные системы – выполняют две основные функции: консультанта, помогающего в решении той или иной задачи и эксперта, непосредственно эту задачу решающего. В ответ на запрос экспертная система выдает диагноз ситуации, рекомендации и советы, по качеству соответствующие уровню эксперта высокой квалификации.

2. Система поддержки и принятия решений – предназначена для информационной поддержки в процессе принятия решений. Областью применения, прежде всего, являются нестандартные ситуации и слабоструктурированные проблемы. Решение в таких ситуациях требует механизма определения системы принятия решений и сравнительного анализа вариантов. Это может быть и обеспечение необходимой информацией в максимальном объеме, и генерирование альтернативных вариантов решений, и предоставление прогнозных оценок, и эволюции системы за счет наращивания ее возможностей.

3. Автоматизированные системы экспертного оценивания – основной задачей таких систем является автоматизация сложных экспертных процедур и повышение эффективности работы сети, а также решение сложных управленческих проблем на основе надежной, профессионально обработанной и корректно примененной информации.

Инфокоммуникационные сети, обладающие подобными системами, получают возможность повышения живучести и надежности благодаря следующим интеллектуальным возможностям системы управления:

- выявление определенных внештатных ситуаций при работе инфокоммуникационной сети;

- измерение, накопление и отображение статистических данных по результатам моделирования и интерпретация полученных результатов;

- информирование о возможности наступления критической или внештатной ситуации в работе сети и о возможных методах ее устранения;

- разработка прогнозов о влиянии внешней среды на работу сети;

выдача рекомендаций относительно улучшения показателей функционирования сети в зависимости от сложившейся ситуации.

Таким образом, использование интеллектуальной системы управления позволит значительно увеличить живучесть инфокоммуникационных сетей.

### Литература

1. Калмыков В.В., Меккель А.М., Соколов Н.А., Шинаков Ю.С. Транспорт и доступ в инфокоммуникационных сетях. Том 7. – Издательство: Международная академия связи МАС, 2006 г. – 264 с.
2. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
3. Ивин Ю.Э. Разработка и исследование методики повышения живучести мультисервисных сетей, построенных на основе технологии ATM : Дис. канд. техн. наук : – Москва, 2004. – 194 с.
4. Сафонов Р.А. Методика оценки живучести сложных систем военного назначения. – Издательство: Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь, 2010. [Электронный ресурс]. <http://www.bestreferat.ru/referat-190576.html>.
5. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. М., 2004г. – 704с.
6. Ремеников В.Б., Управленческие решения. – МИ-ЭМП, 2010. [Электронный ресурс]. <http://do.gen-docs.ru/docs/index-99189.html>.

### Gryshchenko I.V. Survivability of infocommunication networks through the use of intelligent systems

**Abstract:** Survivability of communication networks after causing damage to the network and is a problem of Infocommunications. This paper explores the creation of intellectual systems, the persistence of which can be protected from damage and suppression, protection against unintentional all kinds of interference, as well as a number of organizational and technical measures, that provides fast restoration of the functioning of the infocommunication network.

**Keywords:** network, survivability, infocommunications, intelligent system.

*Швачич Г.Г.<sup>1</sup>, Холод Е.Г.<sup>2</sup>*

### Объектно-ориентированная модель конструирования распределенных баз данных в условиях нечетких множеств

<sup>1</sup> Швачич Геннадий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

<sup>2</sup> Холод Елена Григорьевна, кандидат технических наук, доцент, Днепропетровский университет имени Альфреда Нобеля, г. Днепропетровск

**Аннотация:** Рассматривается объектно-ориентированная модель системы, которая обеспечивает решение комплекса задач планирования и отчетности в условиях нечетких множеств на основе симметричных пар криптографических ключей. В отличие от классических реляционных баз данных, модель позволяет эффективно решать комплекс задач автоматических транзакций. К ним относятся: наследование параметров плана прошлого периода в плане нового периода, наследование ранее описанных структур, удаление и добавление в рабочий план нового периода новых структур, подлежащих интерактивному описанию, автоматическую проводку информации для требуемого периода времени и др. Объектно-ориентированная модель системы создана на платформе новейших SET-ориентированных (безъядерных) технологий и распределенных вычислений (MIDAS). Единая стандартизация задач и принятая открытая архитектура позволяют неограниченно развивать систему по мере информационной потребности и выполнять параллельные работы независимыми разработчиками в современных средах Delphi и C++Builder.

**Ключевые слова:** базы данных, нечеткие множества, криптографические ключи, процессор отношений, серверный модуль, безъядерные технологии, распределенные вычисления, транзакции.

**Постановка проблемы исследований.** Получившая в последнее время широкое распространение классическая модель построения реляционных баз данных, описывающая жесткие отношения между объектами, не в полной мере удовлетворяет ряду задач, таких, например, как динамические системы планирования, отчетности и ведения документации. Кажущаяся простота описания связей между объектами в простых

(прозрачных) системах трудно реализуема в сложных системах, требующих рекуррентных отношений.

Разработка единого информационного стандарта планирования учебного процесса в ВУЗах является актуальной и весьма трудоёмкой задачей. Это связано с часто меняющимися требованиями к ведению учебного процесса, наличием определенных традиций в ВУЗах, что приводит

к работе с неопределенной информацией, т.е. от разработчика требуется решение задач в условиях нечетких множеств [1]. Переход на кредитно-модульную форму обучения в определенной степени способствует стандартизации информации, особенно в части единства учебных планов и программ. Тем не менее, любая система должна обеспечивать достаточную гибкость, учет специфики ВУЗа, особенно в отношении существующих традиций и школ.

**Анализ существующих систем и последних исследований в данной области.** Примерами удачных решений рассматриваемого класса задач являются динамические индексируемые системы, обладающие большим жизненным циклом. Например, “1С: Бухгалтерия” и “1С: Предприятие”, а также менее распространенная программа “Project”. При этом приложения “1С” функционируют по детерминированным правилам, а их адаптация к изменяемым условиям выполняется разработчиком на основании изменений в нормативных документах. Также следует заметить, что классификаторы отношений указанных приложений заведомо известны.

С целью гибкого доступа к информации в базах применяется язык структурированных запросов SQL. Язык SQL позволяет создавать сложные динамические связи между неиндексированными полями таблиц на основе простых SQL-предложений. Однако, система, построенная на основе SQL-сервера, обладает высокой эксплуатационной стоимостью, что для ВУЗа зачастую является проблематичным. Кроме того, не всякий сотрудник, например учебного отдела, в со-

стоянии оперативно сконструировать SQL-запрос.

Таким образом, хотя язык SQL и обладает уникальной гибкостью, его интерактивное применение (скрытое допускается), скорее всего, неприемлемо.

**Цели и задачи исследований.** Проведенный анализ показал, что только математически обоснованная модель автоматической классификации информации позволяет достоверно описать информационный реестр, определить единый стандарт (системный интерфейс) для всех решаемых в системе задач и в значительной степени сократить время и ресурсы, необходимые для разработки системы в целом.

Отказ от традиционной реляционной модели построения баз данных и замена ее параллельным пакетом набора данных, поддерживаемых собственным процессором отношений, позволяет эффективно решать задачи с глубокими рекуррентными связями, как в монопольном режиме эксплуатации, так и в условиях распределенных систем.

Основу системы планирования определяет базовая структура справочной информации, которая является ядром информационно справочной системы (ИСС). Базовая структура определяет отношения (административное строение) Факультет → Кафедра, Факультет → Специальность, как отношения один ко многим и, независимо от факультетов, кафедр и специальностей, описывает дисциплины, преподаваемые в ВУЗе (рис. 1).

Ядро ИСС определяет заголовки, являющиеся общими для всех задач, решаемых в системе планирования и отчетности (рис. 2).



Рис. 1. Структурная схема ядра ИСС

Факультет	Кафедра		Специальность		Дисциплина
Код факультета	Код факультета	Код кафедры	Код факультета	Код специальности	Код дисциплины

Рис. 2. Структурная схема заголовков задач

Каждая из решаемых задач подключается к ядру параллельно и использует либо все поля заголовка, либо только те поля, которые определяются ее требованиями (рис. 3).

Из приведенной схемы видно, что она обеспечивает как отношение *Задача → Справочник*, так и отношение *Задача → Задача*. Например, задача формирования учебного плана опирается



не только на справочники, но и на рабочий план дисциплины, а также может использовать информацию о количестве студенческих групп и количестве студентов, обучающихся по данной специальности. На схеме не отражены константы планирования учебного процесса, так как они не формируют криптографические ключи.

В процессе разработки ИСС должны быть реализованы следующие основные задачи: синтез

криптографического ключа из содержательной информации, реализация основного свойства первичного ключа, поддержка целостности данных системы, обеспечение невозможности модификации данных (содержательной информации) и установленных правил создания справочников, разработка дружественного пользовательского интерфейса, получение твердых копий справочников.

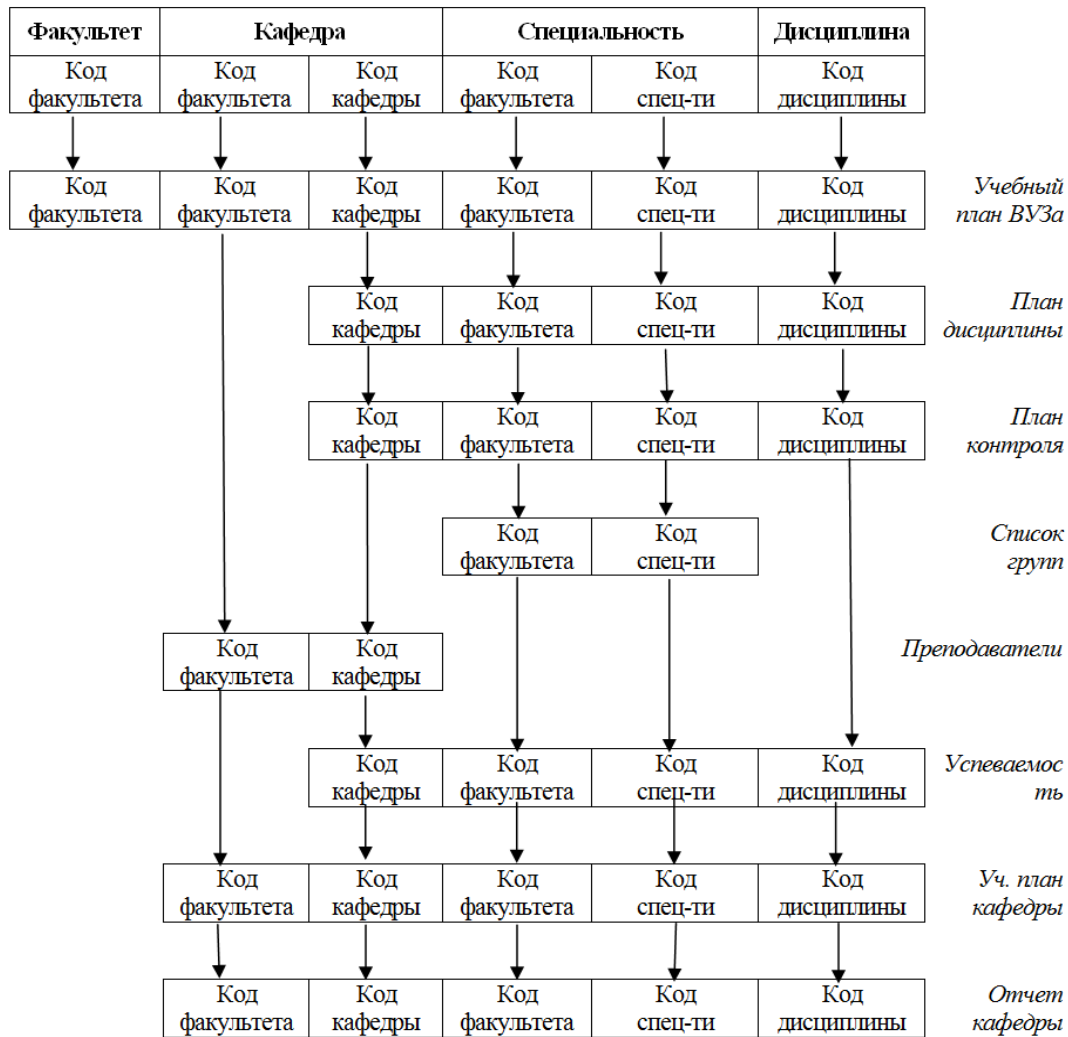


Рис. 3. Схема подключения задач к ядру ИСС

Изложение основного материала исследований

**Выбор основных компонентов и структурирование данных.** Описанные объекты реализуются с использованием компонентов удаленного доступа TClientDataSet как доменные структуры, позволяющие получать доступ к значениям атрибутов посредством имен доменов. Отношения между полями таблиц, описывающих объекты, реализуются непосредственно в процессе дизайна приложения посредством установки “жестких” связей по схеме Master – Detail отношений. Связь объекта TClientDataSet

с элементами управления осуществляется посредством связующего компонента TDataSource.

**Криптография как средство идентификации информации.** Все существующие стандартные и вновь определяемые классы или библиотеки классов регистрируются в файле реестра с помощью специальных ключей, обеспечивающих их однозначную идентификацию. Первый метод получения кода класса – генерирование последовательности случайных чисел по одному из рекуррентных алгоритмов (например,  $g_i = ag_{i-1} + b(\text{mod } m)$ , где  $g_i$  –  $i$ -й член последовательности псевдослучайных чисел,  $a, b$ ,

$m$  и  $g_0$  – ключевые параметры). Второй метод представляет собой криптографическую 32 или 64 разрядную свертку (XЭШ функцию), сжимающую содержательную часть текста – интерфейс модуля класса. Например, в ОС UNIX реализована функция Peter J. Weinberger, обладающая повышенной чувствительностью к равнозначным информационным блокам. Этот факт обеспечивает регистрацию класса только в случае его отсутствия. Важнейшим вопросом является проверка целостности данных в файлах (контрольная сумма), которая осуществляется функцией CRC32 по алгоритму:

METALLURGICAL	2049846875		HIGHER MATHEMATICS	1799696223
ELECTRO METALLURGICAL	1089707116	или	APPLIED MATHEMATICS	1611101285

Эту же функцию эффективно применять и для создания специальных ключей проверки возможной модификации информации и описания структурных связей.

Для идентификации динамических образований (лекционный поток, состав преподавателей и т.д.), а также наследования ранее описанных структур в процессе преобразования планов предыдущих периодов в планы новых периодов целесообразно использовать функцию Peter J. Weinberger:  $X := \text{HESH}(TA \text{ as String} \parallel TB \text{ as String} \parallel TC \text{ as String} \parallel TD \text{ as String})$ , где: TA, TB, TC, TD – значения числовых доменов, а  $\parallel$  – знак конкатенации.

**Отношения и симметричные пары криптографических ключей.** Административная структура ВУЗа описывается парными отношениями (один ко многим) вида: Факультет : Специальности; Факультет : Кафедры; Специальности : Группы; Кафедры : Преподаватели; Группы : Студенты; Дисциплина : Рабочая программа. Аналогичным образом определяются отношения между решаемыми задачами: Рабочая программа : Периоды выполнения; Дисциплина : Преподаватели; Лекционный поток : Группы; Дисциплина : Группа (успеваемость); и т.д.

F_CODE	S_CODE	C_CODE	D_CODE	C_ROW	C_COL	CRCF	NUM
--------	--------	--------	--------	-------	-------	------	-----

Рис. 4. Интерфейс задач

Здесь: F\_CODE – код факультета; S\_CODE – код специальности; C\_CODE – код кафедры; D\_CODE – код дисциплины; C\_ROW (C\_COL) – код свертки значимой информации строки (столбца); CRCF – контрольная сумма кортежа; NUM – код (номер) задачи.

$RC := ((CRC \text{ SHR } 8) \text{ AND } \$FFFFFF) \text{ XOR } CRCTbl[(CRC \text{ XOR } Source[I]) \text{ AND } \$FF]$ ,

где CRC SHR 8 – значение контрольной суммы, сдвинутой на 8 разрядов; CRCTbl – таблица опорных констант; CRC XOR Source[I] – значение контрольной суммы исключительно блока информации.

Для описания информационного реестра ВУЗа особый интерес представляет функция вычисления контрольной суммы, обеспечивающая однозначный код свертки смысловой информации и неповторяемость значений в пределах  $2^{32}$ , например:

Каждая категория идентифицируется собственным криптографическим ключом и отношения устанавливаются между ключами [2]. Так как криптографический ключ является сверткой смысловой информации, то нет необходимости в разработке специальных классификаторов, что приводит к сокращению объемов работ и сроков разработки системы, а также повышает её надежность в целом.

**Информационный реестр системы. Единый стандарт задач.** Информационный реестр системы представлен четырьмя ключевыми полями, идентифицирующими отношения между главными объектами административной структуры ВУЗа и ключевым полем справочника преподаваемых дисциплин. Ключевые поля определяют парные отношения вида: *Факультет : Специальность и Факультет : Кафедра*. Ключевое поле категории *Дисциплина* является независимым. Три служебных поля обеспечивают идентификацию динамических образований (криптографических свертки значимой информации столбцов и строк) и контрольную сумму кортежа. Четвертое служебное поле идентифицирует решаемую задачу. Таким образом, восемь полей (рис. 4) определяют заголовок для всех задач системы.

**Процессор отношений.** Каждая задача изначально представляет собой неупорядоченный набор данных, отношения между которыми реализует процессор отношений. Процессор отношений является внутренним ядром системы и представляет собой набор (матрицу 4x4) экземпляров класса доступа к данным TDataSet. Логи-

ческие отношения между компонентами устанавливаются между справочной информацией и

```
DataSetG.Filter := 'Problem = ' + 'volue' + ' and ' + 'F_CODE = ' +
QuotedStr(DataSetAF_CODE.Value) + ' and ' + 'S_CODE = ' +
QuotedStr(DataSetBS_CODE.Value) + 'C_CODE = ' +
QuotedStr(DataSetCC_CODE.Value) + ' and ' + 'D_CODE = ' +
QuotedStr(DataSetDD_CODE.Value);
```

а для справочников:

```
DataSetB.Filter := 'F_CODE = ' + QuotedStr(DataSetAF_CODE.Value);
DataSetC.Filter := 'F_CODE = ' + QuotedStr(DataSetAF_CODE.Value);
```

При этом данные выборок упорядочиваются в их виртуальных отражениях путем комплексной индексации полей. Процессор отношений реализован в виде отдельного DataModule, интерфейс которого содержит набор Public процедур и функций, его архитектура позволяет решать одновременно восемь прямых и обратных задач. С точки зрения пользователя, процессор отношений является набором команд, реализующих конкретные задачи.

**Архитектура системы.** Каждый пользователь имеет экземпляр системы, размещенной на съёмном носителе, либо прозрачный доступ к экземпляру приложения. Пользователи получают доступ к данным в объеме, определенном лицензией, и могут осуществлять обмен данными между собой и с главной базой данных в пакетном режиме. Главная база данных представляет собой отдельный файл (пакет файлов), располо-

женными решаемых задач. Например, для задачи выборки данных имеем:

женный на выделенном компьютере, либо является расширенным представителем любого экземпляра приложения. Таким образом, принятая архитектура полностью соответствует концепции распределенных систем.

По умолчанию, каждый экземпляр приложения является локальной СУБД. После выполнения команды регистрации класса процессора отношений, приложение приобретает свойство сервера, предоставляющего доступ к своим ресурсам всем клиентам сети.

**Опытный образец системы.** В соответствии с предлагаемой концепцией был разработан опытный образец системы. Одна из основных реализованных задач – формирование общего плана ВУЗа либо плана кафедры (рис. 5) на основе справочно-нормативной информации (рис. 6), рабочих программ и контингента студентов.

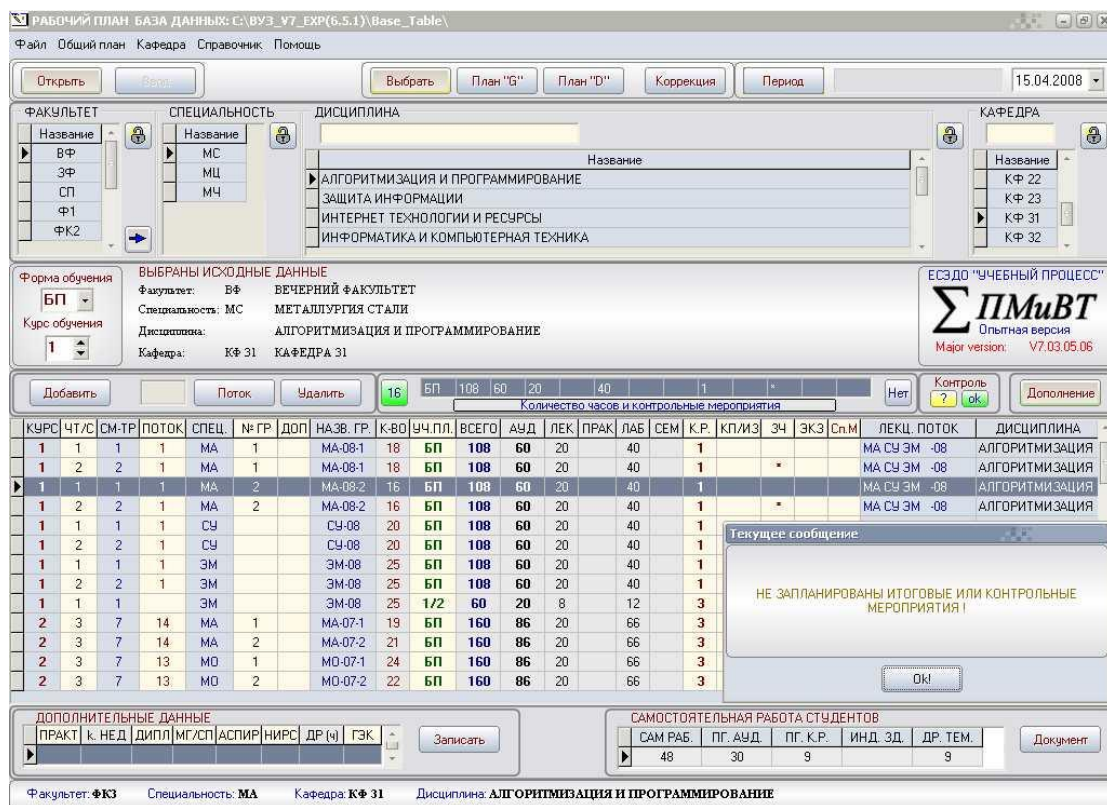


Рис. 5. Главное окно системы

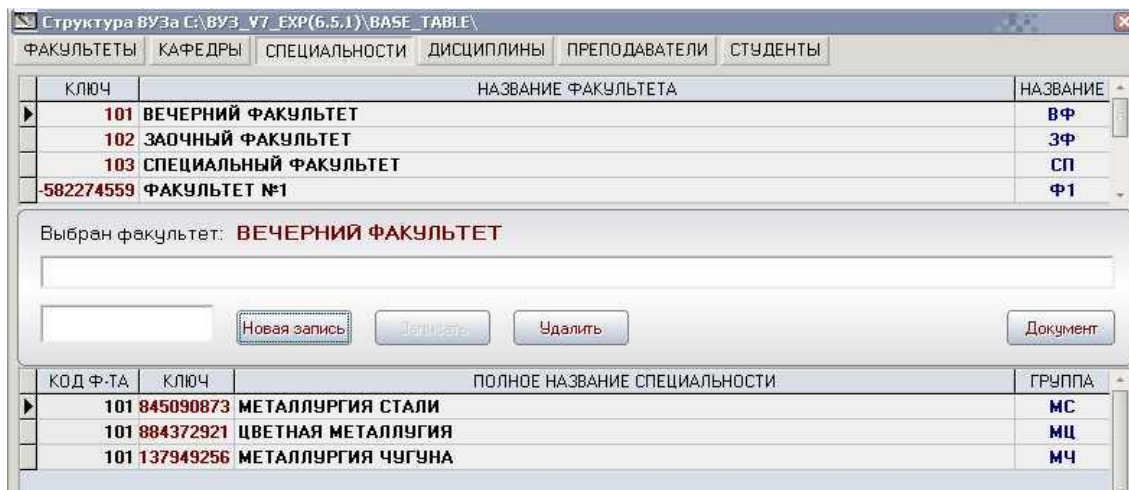


Рис. 6. Окно описания реестра системы

Интерактивный ввод первичного плана поддерживается комплексом мероприятий, облегчающих действия пользователя по формированию записей путем простой подстановки данных, автоматическим формированием атрибутов групп и потоков, а также выводом сообщений, носящих предупредительный и рекомендательный

характер. Расчет рабочих планов кафедр (общего рабочего плана) опирается на пять базовых методик, описание которых сводится к вводу формул в стандартном виде (рис. 7). Селектор выборки данных позволяет осуществлять не только поэтапное представление плана, но и различного рода выборки.

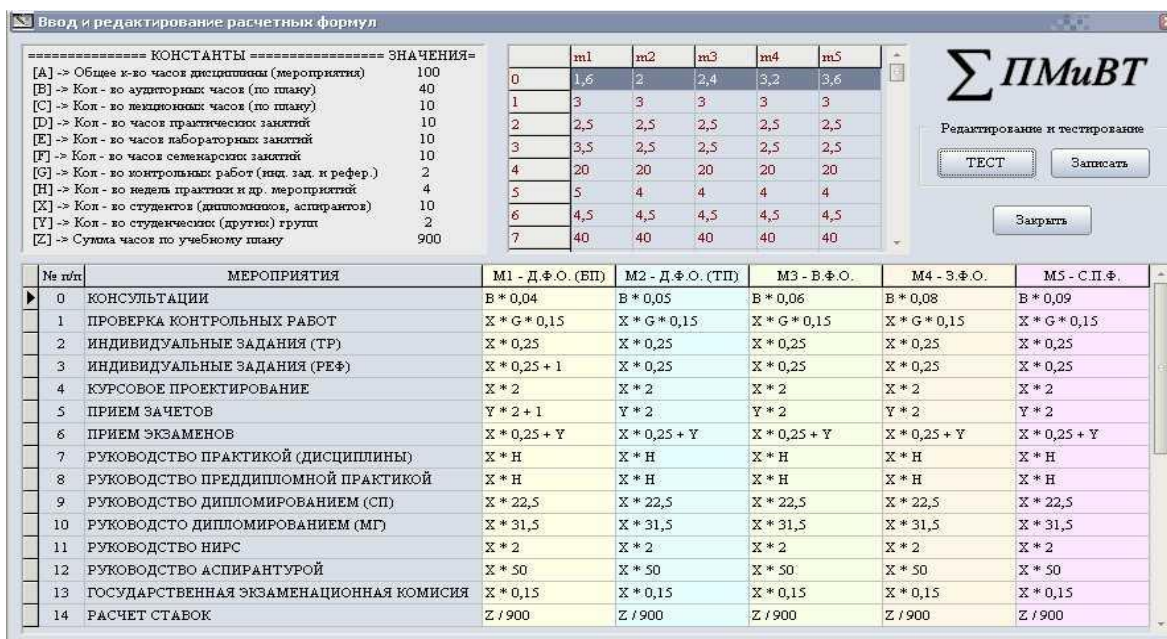


Рис. 7. Окно описания методик

Одной из наиболее сложных задач является планирование работы преподавателя. Её решение реализовано с применением алгоритмов искусственного интеллекта. Суть проблемы сводится не только к одноразовому описанию структуры *Дисциплина* → *Лектор* → *Ассистенты* (условные категории), а и к сохранению описанных структур в последующих планах. Заметим, что все связанные с этим интерактивные операции приведены к виду простых подстановок и команд контекстного меню соответствующих элементов управления системы (рис. 8).

В рамках принятой концепции приложение, реализующее систему планирования (безъядерная СУБД), обеспечивает функционирование системы на съемном носителе (JetFlash) небольшой емкости без каких бы то ни было специальных установок и драйверов поддержки. Этот факт обеспечивает в перспективе весьма эффективную распределенную многопользовательскую систему, позволяющую осуществлять обмен информацией между участниками сети без установки дополнительных элементов системы на компьютерах.

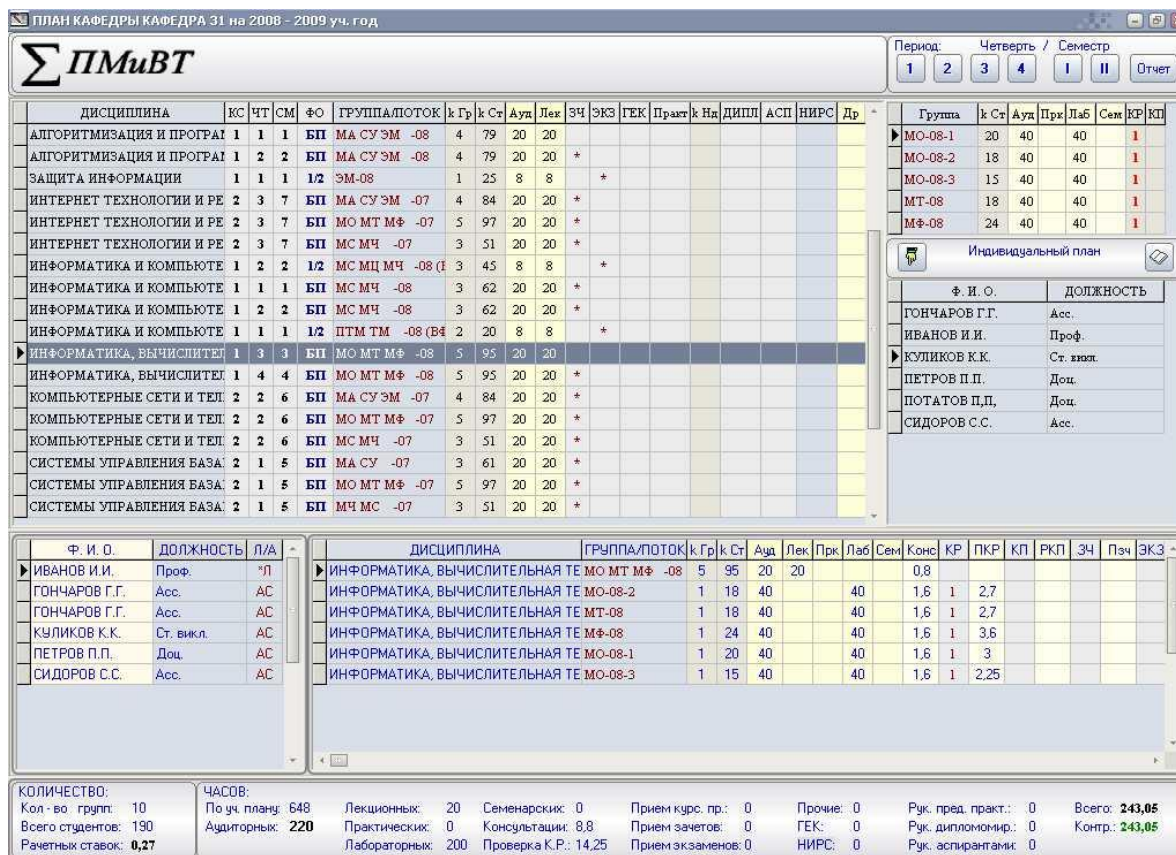


Рис. 8. Контекстное меню элементов управления системы

**Целостность данных, надежность и информационная стойкость.** Предложенная концепция распределенной безъядерной объектно-ориентированной системы автоматически снимает проблему поддержки индексной целостности, так как ключевые поля и индексы, в их общепринятом понятии, в ней вообще отсутствуют. За целостность отношений отвечает процессор отношений, инкапсулированный в клиентское приложение. Целостность отношений определяется контрольными суммами (свертками) строк и блоков (наборов строк). Вследствие чего такие операции, как транзакции периодов являются не только не опасными, а наоборот весьма полезными. Их рекомендуется выполнять как при изменении периодов планирования, также и после ввода некоторого объема информации. Данные операции выполняют повторное обновление виртуальных связей, удаляют ошибочные записи (возможные при сбоях электропитания) и другие операции, подобные дефрагментации файлов операционной системы, а также сжимают файлы и повторно сохраняют их на диске. В локальной системе защита данных от случайной и умышленной фальсификации достигается параллельным использованием одних и тех же данных, в основном виртуальных (существующих только в период работы приложения), для всех задач. Таким образом, ни какое изменение

данных в промежуточных представлениях невозможно. С другой стороны, изменение данных в исходном (контролируемом) плане немедленно отражается во всех создаваемых документах. Более того, в каждом документе выводятся две контрольных суммы, определяющие целостность данных. **Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Предлагаемая объектно-ориентированная модель системы обеспечивает решение комплекса задач планирования и отчетности в условиях нечетких множеств на основе симметричных пар криптографических ключей. Идентификаторы объектов (криптографические ключи), описывающие структуру ВУЗа и процесс обучения, автоматически генерируются на основе полных названий структурных подразделений, специальностей, дисциплин и т.д. Для генерации ключей используется односторонняя ХЭШ функция CRC32 (стандарт NIST). Совокупность криптографических ключей является заголовком решаемой задачи. Процессор отношений описывается макрофункциями и представляет собой серверный модуль, обеспечивающий обработку задач. С точки зрения процессора отношений все задачи являются параллельными. Отсюда следует, что задачи могут подключаться к системе по мере возникновения в их потребности.

Каждая задача описывается линейной информационной таблицей в формате CDS (бинарном представлении формата XML), обеспечивающем компактные файлы безъядерной базы данных.

В отличие от классических реляционных баз данных, предлагаемая модель позволяет эффективно решать комплекс задач автоматических транзакций, таких как: наследование параметров плана прошлого периода в плане нового периода, наследование ранее описанных структур, удаление и добавление в рабочий план нового периода новых структур, подлежащих интерактивному описанию, автоматическую проводку студентов во всем периоде их обучения и др.

Гибкое описание структуры подразделений ВУЗа, учебных планов и программ, специально-

стей, состава студенческих групп обеспечивает одновременное изменение данных во всех задачах, решаемых системой.

Следует отметить, что объектно-ориентированная модель системы, построенная на платформе новейших SET ориентированных (безъядерных) технологий и распределенных вычислений (MIDAS), единая стандартизация задач и принятая открытая архитектура системы открывают возможности к дальнейшему её развитию по мере информационной потребности и выполнению параллельных работ независимыми разработчиками в современных средах Delphi и C++Builder.

### Литература

1. Иващенко В.П. Объектно-аналитическая модель распределенных баз данных в условиях нечетких множеств / В.П. Иващенко, Г.Г. Швачич, А.В. Овсянников // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «КОМТЕХБУД 2008». – Київ-Севастополь, 2008. – С. 70-71.
2. Иващенко В.П. О некоторых аспектах идентификации информации при помощи симметричных пар криптографических ключей / В.П. Иващенко, Г.Г. Швачич, А.В. Овсянников // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «КОМТЕХБУД 2008». – Київ-Севастополь, 2008. – С. 105-106.

Shvachych G.G., Kholod E.G.

#### Object oriented model for distributed database engineering in conditions of fuzzy sets

**Abstract:** The proposed work considers object oriented model of the system that provides solution for enterprise planning and reporting task complex in conditions of fuzzy sets based on symmetric pairs of cryptographic keys. Object identifiers (cryptographic keys) describing the enterprise structure are generated automatically based on full (standardized) names of structural units. To generate the keys CRC32 one-way hash function (NIST standard) is used making possible creation of  $2^{32}$  no repetitive keys. The population of cryptographic keys is the title of the problem being solved. The problem solution is made by relations processor described with macrofunctions. Relations processor represents a server module providing both single and batch problem processing. From the standpoint of relations processor all tasks are concurrent. Thus the key feature of the developed system lies in the fact that tasks may be connected to the system when they are necessary. In this connection each task is described by CDS linear information table (binary representation of XML format) providing compact files of non-kernel data base. Flexible description of the enterprise structure permits concurrent change of data in all tasks being solved by the system. In contrast to traditional relational data bases the object oriented model makes possible effective solving for a complex of automatic transaction tasks such as inheritance of past period design parameters in the parameters of new period, inheritance of previously described structures, removal and addition of new structures subject to interactive description to the new period detailed design, automatic information posting for the required time period, etc. The system model is powered by the latest SET-oriented (non-kernel) technology and grid computing (MIDAS). Unified task standardization and accepted open architecture make possible unlimited system developing depending on informational needs and performing parallel tasks by independent architects in the state-of-art Delphi and C++Builder environment.

**Keywords:** data bases, fuzzy sets, cryptographic keys, relations processor, server module, kernel-free technology, grid computing, transactions.

**Abstract:** The given work represents web-based monitoring framework for measuring performance of functioning of higher education establishment. High-level key performance measures for higher education are suggested. The models forming the basis for web-based monitoring framework and their goals are presented. Multi-agent architecture is suggested for implementation of the framework.

**Keywords:** Performance measurement, higher education, web-based monitoring, information retrieval

## **I. Introduction**

Usually the goals and tasks of organization are identified in its business plan or strategic program of development. Their fulfillment is directly connected with the prosperity of organization. The management cycle in any company presupposes the analysis of the results of its functioning. Generally the success of company's policy can be expressed in terms of its performance. We consider performance as working effectiveness with respect to goals of organization. It characterizes the results of any business – whether they correspond to organization's long-term strategy.

Management in the field of higher education has its own peculiarities. First of all higher education is service business and in most cases it doesn't presupposes the production of any goods. Secondly, the aims of higher education establishments (HEEs) cannot be expressed only through financial indicators. Since one of the main goals of HEE is preparation of highly qualified professionals for needs of society and economy, HEE's activities can be partially considered as non-profitable.

To remain competitive among prospective university students and to extend its influence in academic community HEE has to analyze results of its work and make some changes in its development program based on this analysis. Performance measurement in higher education combines the evaluation of all types of activities in HEE. This includes teaching, research, and finances. Performance measurement must provide a comprehensive assessment of all aspects of outcomes of HEE's functioning.

Management of HEE needs to obtain continuously the feedback from implementation of working plans. To do this HEE has to organize appropriate monitoring and evaluation activities. The result of monitoring is the collection of data on performance indicators. Evaluation activities are directed on finding the difference between the current situation and the expected results according business plan as well as obtaining the performance estimates.

We can state that all business processes that take place in HEE influence its performance. This can be

expressed in terms of key performance indicators (KPI). The data necessary for finding of values of KPI should be obtained during monitoring activities. The data sources for such monitoring include internal and external ones. For example, if we consider return on investment value as KPI, then the data necessary for its calculation may be taken from the account department of HEE. However not all performance indicators are present in official records which are the internal sources of data.

In this work we suggest to consider the web as an external data source for performance measurement. Business processes of HEE find their reflection on the Internet. Different web-sites contain information related to the outcomes of universities work. Our goal is designing of monitoring system which can retrieve the web pages that are defined as data sources and to extract the data on KPI from them.

The rest of this paper is organized in the following way. Section 2 describes existing approaches of performance measurement and introduces performance measures in higher education. Section 3 outlines the main problems of web-based monitoring and their possible solutions. The agent realization of suggested framework is presented in section 4. The possible domain of experiments and prospects are given in section 5.

## **II. Performance measurement in higher education establishment**

Performance measurement is an object of study in economy, project management and technical sciences. The formalization of this notion depends on particular model of enterprise management.

The most widespread approach for today in performance measurement is balanced scorecard (BSC) usage [7]. BSC allow translation of organization strategy into definite goals, tasks and indicators. It provides a powerful tool for performance measurement and control.

Another approach is Six Sigma strategy for business processes management [5]. It provides tools for performance reporting. According to Six Sigma KPI must reflect business processes behavior and must be measured, controlled, analyzed and improved.

Often when the object of research is service business, performance is associated with customers' satisfaction. In this case such approaches as GAP analysis [10], CSI (Customer Satisfaction Index) [17], benchmarking [16], and SERVQUAL technique [9] can be applied. All of them introduce some indicators for assessment of satisfaction of services' consumers.

These approaches have found their application in performance measurement in higher education [3]. Summing up we can say that all the approaches don't emphasize on the sources of data necessary to form the values of KPI. Therefore they don't consider methods for such data retrieval.

Possible performance measures suitable for universities include financial performance, research performance, teaching performance, community service performance [4]. We suggest to use the following performance measures for higher education domain taken from the general model of performance measurement in service business [14]. University business performance can be considered as from the four aspects: customers, finances and market, business processes and human resources.

Customers as stakeholders of HEE are represented by student (or graduates), government and society [2]. From students' point of view performance of HEE is expressed through their level of satisfaction. The attributes of their relation to obtained education show themselves on personal web-sites, blogs, social networks. Government is interested in keeping the balance of man power in economy, i.e. there should be neither shortage nor abundance of specialists of particular profession on the labor market. All KPI from the point of view of public authorities can be found easier in official statistics, than on the web. Society joins simply all people and enterprises. Corporate web-sites or sites of some business-projects may contain information about their employees and participants, which reflects the performance of HEE. For instance, information about some common projects between university and some enterprise indicates the achievements of HEE management.

Financial aspect of performance measurement takes into account financial characteristics (like return on equity, return on investment) and marketing indicators (such as market share, percent of new services on the market). Some of this KPI may be present on the web pages with the news, statistical reviews or marketing researches.

Among key business processes in HEE we can distinguish educational, research and methodical processes. Educational process is the basic one and its characteristics can be found on the Internet. Research business-processes are connected with organization of conferences, approbation of research results at conferences, publication of papers and mon-

ographs, membership in scientific communities, participation in research projects. All these activities are highlighted on the web on corresponding web-sites. Methodical business process deals with production of courseware and materials that can be useful for wide readership. The existence of such literature and information about its authors has an image on the web on review web-sites.

When considering human resources as performance measure we take into account turnover rates, suggestion rates and employees satisfaction. Data on corresponding KPI can be found in social networks, blogs, news and so on.

So it can be noticed that business processes of university can be evaluated through KPI and are reflected on the web. In this work we suggest to measure performance of HEE within web-based monitoring framework which will link KPI and data stored on the Internet.

### **III. Problems of web-based monitoring**

The sources of data for web-based monitoring are distributed over web pages of different types. As it was discussed previously necessary data on KPI is concealed on the personal web-sites, web pages of social networks, blogs, conferences and journals, abstract databases, news, universities, business projects and corporative web-sites.

The goal of suggested web-based monitoring framework is finding of possible sources of data on KPI, retrieving these data and its processing for defining values of KPI (fig. 1).

The input for such system is determined by HEE business processes in the form of KPI. Depending on the management goals and management problems to be solved different KPI can be considered in different situations. Therefore the suggested framework represents a dynamic model of monitoring process.

Measurement Model provides statistical methods for calculation of values of KPI. Model of Sources specifies web pages that can be treated as sources of data on KPI, since initially they are not known. Further these sources are used as seed URLs for crawling process. A Crawler is tool for Internet browsing and collection of all web pages for their further indexing. The task of Clustering Model is diversification of collected web pages and grouping those of them that contain necessary data on KPI. Information Retrieval (IR) Model provides techniques for extraction of these data and their preliminary processing to be the input of measurement model. Evaluation component provides background data on the efficiency of crawling and IR process, accuracy of clustering.

So the monitoring process is composed of four stages: defining of sources for monitoring, finding



the necessary data starting with those sources, retrieval of these data and its processing. All of these problems have to be formally modeled and solved based on information retrieval and statistical techniques.

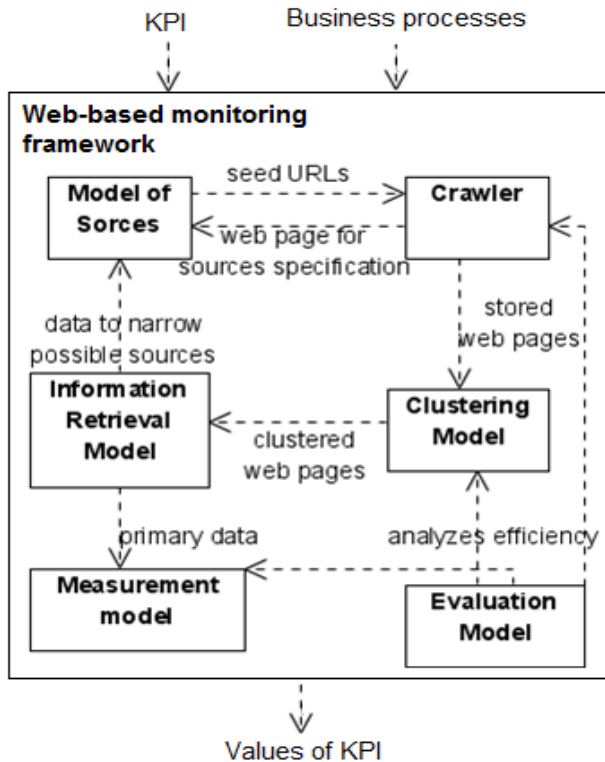


Fig. 1. Web-based monitoring framework

Since Model of Sources must provide a limited set of web pages that should be further used as seed URLs for web crawling, we assume that the process of such set construction requires experts' participation. An expert is a representative of HEE management who sets PMI and understands business processes. An expert must help to determine possible sources for monitoring of KPI. In this case we deal with topical information retrieval problem, which means that initially expert cannot formulate the correct and full request. That's why in the process of IR expert clarifies his request and obtains more and more improved responses from IR Model. Such type of problem is known as topical information retrieval. The possible methods to solve this problem include HITS, SALSA algorithms and others [6].

A Crawler must provide continuous and distributed searching of new web pages starting with the given initial pages. Web crawling algorithms are oriented on optimization of crawling by means of cutting off the paths of web graph which are found to be non-relevant. Among them we can name Fish search, Shark search, Context Graph search, PageRank and others [8].

Clustering Model is based on flat and hierarchical clustering methods [6]. Its goal is to throw away all noise web pages and to form the set of tar-

geted pages with the data on KPI. Clustering methods include algorithms based on TF-IDF measure, latent semantic indexing, topic models, Bayesian and support vector machines techniques [6, 1].

IR Model is based on XML retrieval and web scrapping methods [6, 15]. It must implement the procedure of extraction of necessary data from the definite web page for further processing. The reliability and validity of such data must be checked.

Evaluation Model combines measures of effectiveness of web crawling, clustering, XML retrieval and generally IR process. For example, precision, recall, NDCG (normalized discounted cumulative gain) estimates reflect the efficiency [6]. This information is needed for internal self-assessment of web-based monitoring framework. It can be used for system adjustment.

Measurement Model provides processing of statistical data on KPI. In fact we are talking about the latent variable models and estimation of their parameters. Such models include factor analysis model and its extensions [13], Item Response theory models [12], Bayesian network models [11] and others.

Generally the models that form the basis of monitoring framework incorporate extremely intelligent methods and algorithms. Their execution in continuously changing environment imposes constraints on realization of corresponding models.

#### IV. Multi-agent implementation of web-based monitoring framework

We suggest to use the concept of agent as an intelligent software entity to implement models of web-based monitoring framework. The multi-agent architecture of web-based monitoring system relies on the work of the set of agents that communicate via agent communication protocol and use the common knowledge base and ontology (fig. 2).

Topical search agent implements the Model of Sources and provides interactive procedure for topical IR. The work of crawlers is organized in parallel to make the web crawling process more distributed and efficient. Clustering and web scrapping agents are responsible for Clustering and IR Models implementation correspondingly and work with the common database. Measurement agent realizes statistical algorithms of KPI values estimation. Evaluation agent is used by agent management system to assess its work.

Such architecture is targeted at continuous collection and processing of data from the web. Such intelligent features as autonomy, interactivity, proactivity, ability to cooperate and to learn are supposed to help in realization of intelligent system of web-based monitoring.

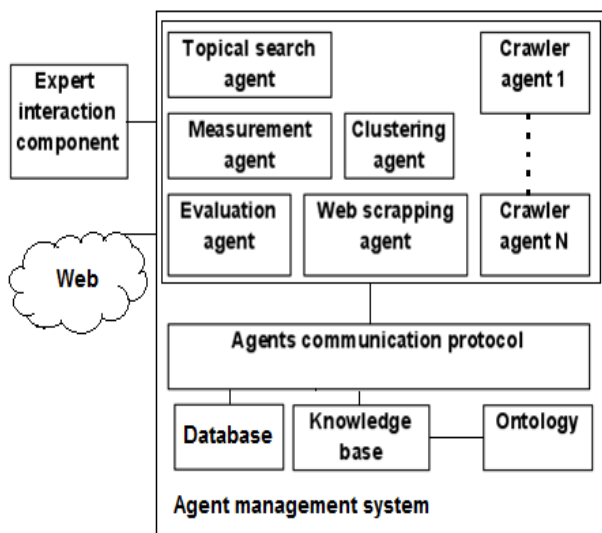


Fig. 2. Multi-agent architecture of web-based monitoring system

**V. Discussion and future work**

In our work we suggest measure the performance of research business process in HEE. The general tendencies in the development and organization of scientific work are actuated by university management. Therefore to build the right policy in this area management needs to estimate the results of research work, i.e. its performance. The scientific work of the whole HEE is expressed through the achievements of separate scientists working in it. KPI of research work may include the activities of HEE’s employees in participation in conferences and their organization, efforts to publish their works in journals, membership in scientific communities, and participation in collaborative projects with business and government.

The Model of Sources must help a representative of HEE management (expert) to define possible sources of data for further crawling. Topical IR presupposes that initially the request of an expert may

be “research performance indicators” and after iterative procedure of bounding of the set of possible sources an expert may choose for instance the web pages of conferences, abstract databases, and scientific societies. The Crawler uses those pages for web crawling and their clustering based on Clustering Model. After this only web pages containing useful information are processed by IR Model. For example, if we would like to estimate the activities of HEE scientists in conferences organization, we take as a seed URL a conference web page. A crawler retrieves all pages that it links to. And after application of algorithms of Clustering Model we get pages with program committees. IR Model extracts from program committee web page number of scientists with specified affiliation and Measurement Model provides the calculation of the corresponding KPI.

The challenges in constructing the described web-based monitoring system are caused by issues in implementation of each model. Topical IR underlying the Model of Sources requires efficient methods of relevance estimation of response web pages on each iteration of interaction with an expert. The choice of web crawling algorithm must be substantiated on the estimates of its performance compared to others. The clustering accuracy influences the probability to miss the useful web page. Web scrapping algorithms make challenge to unstructured data on the web. Finally, processing of data by Measurement Model requires estimation of reliability of obtained values of KPI.

The given work represents the idea of measurement of performance of HEE functioning based on data sources from the web. The suggested web-based monitoring framework for performance measurement introduces particular models to be realized. Implementation issues of each model mentioned above form the future work of current research.

**References**

1. Blei D.M., Lafferty J.D. Topic models. Retrieved May 03, 2013 from <http://www.seas.harvard.edu/courses/cs281/papers/blei-lafferty-2009.pdf>
2. Cherednichenko O., Riabko O. Information technology of higher education monitoring: a quality-based approach // Eastern European journal of enterprise technologies. – 2011. – Vol. 1/7 (49) . – P. 4-6.
3. Development of performance measurement instruments in higher education. Australian Government. Retrieved December 13, 2012 from [http://www.innovation.gov.au/HigherEducation/Policy/Documents/DevelopPerformanceMeasuresHigerEd\\_Finaldiscussionpaper.pdf](http://www.innovation.gov.au/HigherEducation/Policy/Documents/DevelopPerformanceMeasuresHigerEd_Finaldiscussionpaper.pdf).
4. Lee A., Yuningsih Y. Multiple performance measures of higher education: instrument development and validation. Retrieved January 21, 2013 from [http://www.afaanz.org/openconf/2010/modules/request.php?moule=oc\\_proceedings&action=view.php&a=Accept](http://www.afaanz.org/openconf/2010/modules/request.php?moule=oc_proceedings&action=view.php&a=Accept+as+Paper&id=338)
5. Lowenthal J.N. Six Sigma project management: a pocket guided. Milwaukee, Wisconsin, ASQ Quality Press, 2002.
6. Manning C, Raghavan P., Schutze H. An introduction to information retrieval. Cambridge UP, 2008.
7. Nair M. Essentials of balanced scorecard. John Wiley & Sons, 2004.
8. Novak B. A survey of focused web crawling algorithms // Proceedings of SIKDD. – 2004. – P. 55-58.
9. Parasurman A., Zeithaml V., Berry L. A conceptual model of service quality and its implications for future research // Journal of Marketing. – 1985. – Vol. 49. – P. 41-50.
10. Predvoditeleva M. D., Balayeva O. N. Approaches for Service Quality Management: a Focus on the Con-

- sumer // Management in Russia and Abroad. – 2005. – Vol. 2. – P. 90-100.
11. Rebai F. Bayesian Network. InTech, 2010.
  12. Reeve B. An Introduction to Modern Measurement Theory. Retrieved November 1, 2012 from [http:// appliedresearch.cancer.gov/ areas/cognitive/immt.pdf](http://appliedresearch.cancer.gov/areas/cognitive/immt.pdf).
  13. Ross S.M. Introduction to probability and statistics for engineers and scientists. London, Elsevier Academic Press, 2004.
  14. Sapri M., Kaka A., Alias B. Performance measurement in the service business: the facilities management function. Retrieved April 02, 2013 from [http://eprints.utm.my/1139/1/ Maimunah.pdf](http://eprints.utm.my/1139/1/Maimunah.pdf) [ Real Estate Educators and Researchers Association (REER) Seminar 2005].
  15. Schrenk M. Webbots, spiders, and screen scrapers: A guide to developing Internet agents with PHP/CURL. No Starch Press, 2012.
  16. Stapenhurst T. The Benchmarking Book: A how-to-guide to best practice for managers and practitioners. Elsevier, 2009.
  17. Zhang L., Han Z., Gao Q. Empirical study on the student satisfaction index in higher education // International Journal of Business and Management. – 2008. – Vol. 3. – N 9. – P. 46-51.

**Чердниченко О.Ю., Янголенко О.В.**

**Модели веб-ориентированного мониторинга для оценивания производительности в сфере высшего образования**

**Аннотация:** Данная работа представляет модель веб-ориентированного мониторинга для измерения ключевых индикаторов эффективности функционирования высшего учебного заведения. Предложено рассматривать веб-пространство в качестве внешнего источника данных для нахождения значений высокоуровневых индикаторов производительности работы университета. В работе представлены модели, составляющие основу веб-ориентированного мониторинга, и описаны их цели и назначение. С помощью модели источников данных определяются веб-страницы, которые используются веб-краулером в качестве стартовых страниц для поиска. Модель кластеризации позволяет отсортировать собранные страницы и получить множество страниц, содержащих необходимые данные. Модель извлечения информации предоставляет алгоритмы для извлечения этих данных и их первичную обработку. Модель измерений предоставляет статистические методы для расчета значений индикаторов на основе извлеченных данных. Оценочный компонент используется для обработки вспомогательных данных, касающихся эффективности работы веб-краулера и информационного поиска в целом, точности кластеризации, а также надежности и валидности полученных результатов. Для реализации предложенной модели веб-ориентированного мониторинга предложена мульти-агентная архитектура информационной системы. Согласно ней каждой модели соответствует программный агент. Агенты взаимодействуют с помощью коммуникационного протокола и функционируют в соответствии со знаниями, представленными онтологией и базой знаний.

**Ключевые слова:** измерение производительности, высшее образование, веб-ориентированный мониторинг, поиск информации

Оценка качества услуг связи с позиций удовлетворенности потребителей

<sup>1</sup> Князева Нина Алексеевна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой информационных систем и сетей

<sup>2</sup> Кальченко Анастасия Сергеевна, аспирант

Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского Одесской государственной академии пищевых технологий, г. Одесса, Украина

**Аннотация:** В работе рассмотрены современные подходы к оценке критериев качества услуг связи, актуальных для пользователей. Исследованы три модели определения параметров качества услуг. Приведен пример оценки качества мультимедийной услуги с учетом мнения пользователя.

**Ключевые слова:** сети следующего поколения, качество услуг связи.

В основу концепции сети связи следующего поколения (Next generation network, NGN) положена идея о создании универсальной сети, которая бы позволила переносить любые виды трафика, а также обеспечивать возможность предоставления неограниченного спектра инфокоммуникационных услуг. Многочисленными тематическими группами разрабатывались и продолжают разрабатываться решения по обеспечению необходимого качества обслуживания (Quality-of-service, QoS) для передачи разнотипного трафика (реального времени, потокового и эластичного) по единой сети, это – дисциплины обслуживания PQ/CQ/WFQ/CBWFQ/LLQ/RPQ+, модели DiffServ/IntServ-RSVP, технология MPLS и т.д [1]. Стандартизацией качества услуг на международном уровне занимаются Международный союз электросвязи (МСЭ), включая Сектор телекоммуникаций (МСЭ-Т) и Сектор радиосвязи (МСЭ-Р), Европейский институт по телекоммуникационным стандартам (European Telecommunications Standardization Institute, ETSI), а также партнерство 3GPP.

В Рекомендации ITU-T E.800 приведены следующие определения [3].

Качество услуги (QoS) – совокупность характеристик телекоммуникационной услуги, относящихся к способности удовлетворить установленные и предполагаемые потребности пользователя услугой (определение заимствовано из стандарта ISO 8402).

Параметры функционирования сети (Network Performance, NP) – способность сети предоставить функциональность, обеспечивающую взаимодействие пользователей.

QoS – это результат восприятия пользователя, в то время как NP определяется эксплуатационными характеристиками отдельных сетевых элементов или эксплуатационными характеристиками всей сети в целом.

На рис. 1 представлена взаимосвязь точек зрения пользователя и оператора на качество услуги [2].

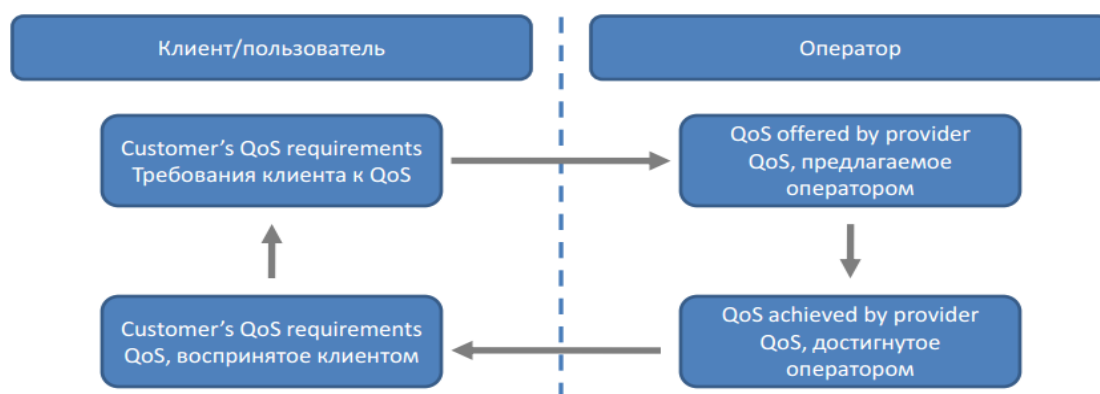


Рис. 1. Точки зрения на качество услуги

Требования клиента к QoS (Customer's QoS requirements) определяют уровень качества услуги, требуемый клиентом. Критерии и параметры, определившие этот уровень, находят отражение в требованиях клиента.

QoS, предлагаемое оператором (QoS offered by provider), – это перечень четких однозначно определенных требований, которые могут быть использованы:

– как основа для формирования SLA (Service Level Agreement);

- для декларирования оператором уровня качества доступного пользователям;
- как основа для планирования и поддержания услуги на заданном уровне;
- как основа для пользователей при выборе оператора, обеспечивающего наиболее приемлемый уровень качества услуги.

QoS, достигнутое оператором (QoS achieved by provider), – это уровень качества услуги, фактически предоставленный оператором. Может использоваться:

- клиентами, регулятором как основа для сравнения предлагаемого оператором уровня качества услуги и фактически предоставляемого и проверки выполнения SLA;
- оператором как основа для корректив.

QoS, воспринятое клиентом (QoE, Customer's QoS experience), – это качество услуги, воспринимаемое клиентом и выражаемое в виде оценки. Основывается на опросах клиентов и характеризует мнение клиента о качестве полученных услуг. Эти данные могут быть использованы для сравнения с предлагаемым уровнем качества услуги и определения причин отклонений, планирования корректив.

Рекомендация МСЭ G.1000 разделяет рабочие характеристики QoS на функциональные компоненты и связывает их с сетевыми характеристиками, определенными в ряде рекомендаций МСЭ, таких как Y.1540 и Y.1541. Основные параметры, характеризующие QoS в сетях IP, в соответствии с рекомендацией МСЭ-T Y.1541:

- производительность сети;
- надежность сети (сетевых элементов);
- параметры доставки пакетов:
- задержка доставки пакетов,
- вариация задержки пакета (джиттер)
- коэффициент потери пакетов,
- коэффициент ошибок пакетов,

В целом качество услуги характеризуется совокупностью следующих основных потребительских свойств [3]: обеспеченностью, удобством использования, действенностью, безопасностью и другими свойствами, специфичными для каждой услуги. Существующее многообразие различных определений характеризует сложность определения всех аспектов, относящихся к понятию QoS. Таким образом, QoS не только задается или определяется показателями, которые могут быть выражены техническими показателями, но также определяется субъективным показателем, который определяет ожидаемое и воспринимаемое пользователем качество [1]. Методики измерений показателей качества услуг связи можно разделить на:

- методики измерений показателей, характеризующих работу сети связи,

например, среднее время установления соединения, количество сброшенных вызовов, доля успешных вызовов, скорость соединения, доступность сети по уровню радиосигнала, доля успешно переданных сообщений SMS и пр.;

- методики измерений показателей, влияющих на удовлетворенность пользователей услугами связи, например, правильность начисления оплаты в счете, ошибки при выставлении счета.

Мониторинг качества услуг связи осуществляется путем измерений критериев качества услуг сети связи, которые могут опираться как на статистические данные или контрольные измерения, так и строиться на основании опросов пользователей услугами связи и анализа поданных ими претензий. Нормы на показатели удовлетворенности абонентов и пользователей услугами связи приведены в документах ETSI EG 202 057-1 V1.3.1 (2008-07).

Прежде чем приступить к определению параметров QoS, следует выяснить, какие параметры QoS актуальны для пользователей. В Рекомендациях E.802 МСЭ-T (2007 г.) “Принципы и методики определения и применения параметров QoS” представлены три модели [3]. Все эти модели или их сочетание могут использоваться для определения большей части, если не всех критериев QoS любой услуги. Для конкретного назначения из списка определенных критериев может быть выбран набор конкретных критериев QoS.

Первая модель – универсальная модель – иллюстрирует в целом категории, по которым могут группироваться критерии QoS. Так, большинство, если не все критерии QoS могут быть сгруппированы по аспектам характеристик работы, эстетическим аспектам, аспектам представления и этическим аспектам. Критерии QoS любой телекоммуникационной услуги определяются в ходе итерационного процесса оценки вопросов по каждой ячейке, образуемой пересечением указанных четырех категорий и функциональных элементов услуги. Функциональный элемент услуги является уникально определяемым сегментом услуги, совокупность которых составляет все ее характеристики.

Критерии характеристик работы охватывают технические и эксплуатационные процессы, присущие оказанию данной услуги. Примерами аспектов представления являются особенности организации доставки услуги пользователю, индивидуализация счетов, тарифные планы и др. К эстетическим критериям относятся эргономика, простота, функциональность, дизайн, стиль и т.д. Этические аспекты определяют такие качественные компоненты, как защита окружающей

среды, преимущества для граждан с ограниченными возможностями, соответствие другим гуманитарным целям.

Вторая модель – модель характеристик работы – главным образом применима к услугам, предоставляемым на базе традиционных сетей – наземных и беспроводных. В рамках этой модели отправным пунктом при формировании системы показателей качества услуг, согласно рекомендациям ETSI (ETR 003) и МСЭ-T (G.1000), является изучение меняющихся требований пользователей.

Для сбора требований, предъявляемых пользователями к услуге, строится матрица размерностью 7x11, позволяющая наиболее полно отразить все потребительские свойства этой услуги. Каждая из 11 функций услуги (продажа, поставка, предоставление, изменение и т.д.) должна быть оценена по семи основным критериям качества (скорость, точность, доступность, надежность, безопасность, простота и гибкость).

Предпочтительность или весовые коэффициенты тех или иных критериев оценки каждой функции услуги определяется путем изучения мнений пользователей. На основе заданных критериев определяется перечень показателей качества обслуживания.

Третья модель – модель четырех рынков – в большей степени пригодна для мультимедийных услуг, предоставляемых по IP-сетям, поскольку в ней учитывается разделение между транспортным уровнем и уровнем услуг. В этом случае за транспорт, обеспечение и контент, а также предоставление окончательного оборудования могут нести ответственность разные стороны. Таким образом, общее качество обслуживания, воспринимаемое пользователем, является следствием сочетания разных элементов, которые работают независимо друг от друга.

На рисунке 2 приводится общий обзор модели и поясняются четыре компонента.

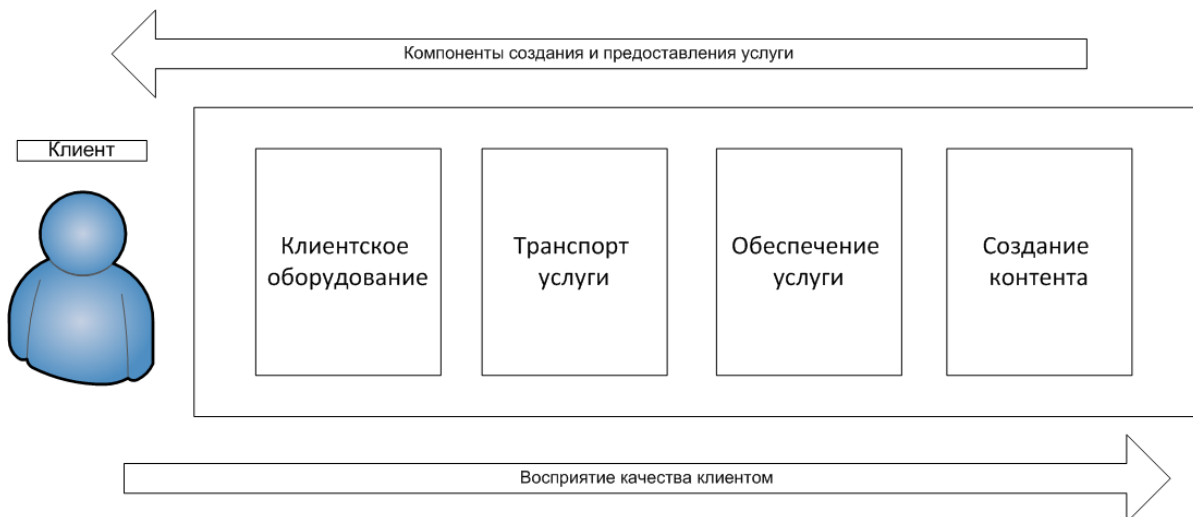


Рис. 2. Модель четырех рынков

**Клиентское оборудование:** оборудование всех видов, необходимое пользователю для получения доступа к сети и, следовательно, к услуге. Это оборудование составляют персональные компьютеры, телевизионные приемники, телевизионные компьютерные приставки, видеомодемы, модемы, мультимедийные киоски и т. д. В расчет следует принимать не только аппаратное, но и программное обеспечение, необходимое для корректного функционирования оборудования.

**Транспорт услуги:** телекоммуникационные сети всех видов, используемые для распространения телекоммуникационных услуг, такие как наземные (фиксированные и беспроводные) и спутниковые вещательные сети.

**Обеспечение услуги:** все действия и функции, связанные с компоновкой, представлением и управлением телекоммуникационными услугами.

**Создание контента:** все действия, связанные с созданием, распространением и компоновкой контента, который предоставляется посредством телекоммуникационной услуги.

Эта модель обеспечивает более простое определение и разбиение на категории критериев QoS, относящихся к данному типу услуг. В отношении конкретной телекоммуникационной услуги модель четырех рынков позволяет определить критерии качества для каждого из четырех компонентов по отдельности. При этом может оказаться достаточным выборочно опреде-

лить критерии качества одного или двух компонентов.

В данной работе предложен подход к определению качества телекоммуникационной услуги, в котором учитываются оценки как производителя услуг, так и пользователя услуг, основанный на использовании модели четырех рынков. В предлагаемом подходе определяются критерии оценки качества услуг с точки зрения пользователей, определяется значимость каждого из критериев, рассчитывается средневзвешенный комплексный показатель качества услуги, который

сравнивается с комплексным показателем качества услуги, характеризующим оценки производителя услуг, в результате чего при необходимости формируются соответствующие управленческие решения относительно коррекции определенных показателей качества.

Рассмотрим оценку QoS на примере услуги онлайн-воспроизведения и скачивания музыки. Критерии оценки QoS данной мультимедийной услуги с точки зрения пользователя представлены в таблице 1.

Таблица 1

создание контента:	транспорт услуги:
актуальность контента; техническое качество исходного контента; популярность контента и исполнителей; возможность преобразования исходного контента в другие форматы с минимальными искажениями; аспекты противодействия пиратству и соблюдения прав интеллектуальной собственности;	полоса пропускания; сетевая задержка; вариация задержки и ошибки; коллизии; двусторонняя задержка *сервер + приложение + сеть+; искажения;
обеспечение услуги:	клиентское оборудование:
простота навигации при поиске музыки; безопасность; корректность условий контрактов; ценовая политика, виды тарификации; поддержка клиентов;	простота выбора и воспроизведения; простота навигации и загрузки; емкость запоминающего устройства; качество воспроизведения; эргономика устройств.

Формирование качества услуги включает в себя как объективную оценку сетевых характеристик, так и субъективную экспертную пользовательскую оценку. И в то время как часть критериев качества, относящихся к параметрам ра-

боты сети, можно определить при помощи соответствующего оборудования, оценку остальных критериев целесообразно осуществлять путем учета мнения пользователей о качестве полученных услуг в баллах (табл. 2).

Таблица 2

Оценк, баллы	Категория качества и оценка пользователя
5	Самая высокая (отлично)
4	Высокая (хорошо)
3	Средняя (приемлемо: часть пользователей оценивает качество как неудовлетворительное)
2	Низкая (плохо: большинство пользователей оценивает качество как неудовлетворительное)
1	Неприемлемая (не рекомендуется)

На основании полученных данных определяется комплексный показатель качества – рассчитывается коэффициент качества предоставления услуг производителем услуг. Коэффициент удовлетворенности пользователя определяется как сумма средних значений удовлетворенности по влияющим на качество и доступность обслуживания факторам, взвешенных с учетом значимости этих факторов для обеспечения качества и доступности. Тогда оценку данной услуги со стороны пользователя  $k_{польз}$  можно рассчитать следующим образом (1):

$$k_{польз} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i^{польз} w_i^{польз}}{\sum_{i=1}^n w_i^{польз}} \quad (1)$$

где  $h_i^{польз}$  – среднее значение степени восприятия (удовлетворённости) пользователем  $i$ -го показателя качества услуги связи.

$w_i^{польз}$  – коэффициент значимости (или степень соответствия ожиданиям)  $i$ -го показателя качества услуги с точки зрения пользователя;

$n$  – число показателей качества.

Аналогично рассчитывается  $k_{np}$  – оценка качества предоставления услуги со стороны производителя услуг (2):

$$k_{np} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i^{np} w_i^{np}}{\sum_{i=1}^n w_i^{np}} \quad (2)$$

где  $h_i^{np}$  – среднее значение степени удовлетворённости производителя услуг показателем качества услуги связи.

$w_i^{np}$  коэффициент значимости  $i$ -го показателя качества услуги с точки зрения производителя услуг;

$n$  – число показателей качества.

Коэффициент значимости  $i$ -го показателя качества услуги с точки зрения пользователя и производителя услуг оценивается в баллах:

- 1-2 балла – не важно,
- 3-4 балла – не очень важно,
- 5-6 баллов – имеет значение,
- 7-8 баллов – важно,
- 9-10 баллов – очень важно.

Рассмотрим пример исследования, в результате которого получены следующие значения (табл.3).

Таблица 3

N п/п	Критерии QoS	$k_{польз}$	$w_i^{польз}$	$k_{np}$	$w_i^{np}$
<b>Создание контента:</b>					
1	актуальность контента;	3,6	9	4,7	7
2	техническое качество исходного контента;	4,3	6	5	9
3	популярность контента и исполнителей;	4,3	8	4,3	7
4	возможность преобразования исходного контента в другие форматы с минимальными искажениями;	4,7	7	3,8	5
5	аспекты противодействия пиратству и соблюдения прав интеллектуальной собственности.	5	2	4,2	9
<b>Обеспечение услуги:</b>					
6	простота навигации при поиске музыки;	3	8	4	6
7	безопасность;	4	8	4	9
8	корректность условий контрактов;	4,5	9	4,9	9
9	ценовая политика, виды тарификации;	4	10	4,9	10
10	поддержка клиентов.	4,5	9	5	9
<b>Транспорт услуги:</b>					
11	полоса пропускания;	4,8	5	4,3	9
12	сетевая задержка;	4,3	8	3,7	9
13	вариация задержки и ошибки;	4,5	6	4	8
14	коллизии;	4,8	7	4,8	8
15	двусторонняя задержка *сервер + приложение + сеть +;	4,6	8	4	9
16	искажения.	4,8	8	4,5	8
<b>Клиентское оборудование:</b>					
17	простота выбора и воспроизведения;	5	8	5	6
18	простота навигации и загрузки;	4,3	9	4,3	5
19	емкость запоминающего устройства;	4	8	4,3	7
20	качество воспроизведения;	4,3	8	5	8
21	эргономика устройств.	4,5	7	5	3

Таким образом, сравнивая разницу показателей качества услуги со стороны клиента и со стороны поставщика услуг, можно определить, коррекция каких показателей качества необходима. На рисунке 3 графически отражены результаты оценки критериев QoS со стороны пользователя и производителя услуг.

Анализируя график, можно определить, какие параметры удовлетворяют требованиям пользователя ( $k_{польз} \geq k_{np}$ , при условии, что  $k_{np}$  удовлетворяет нормативным показателям), а какие требуют внимания со стороны производителя услуг ( $k_{польз} < k_{np}$ ).



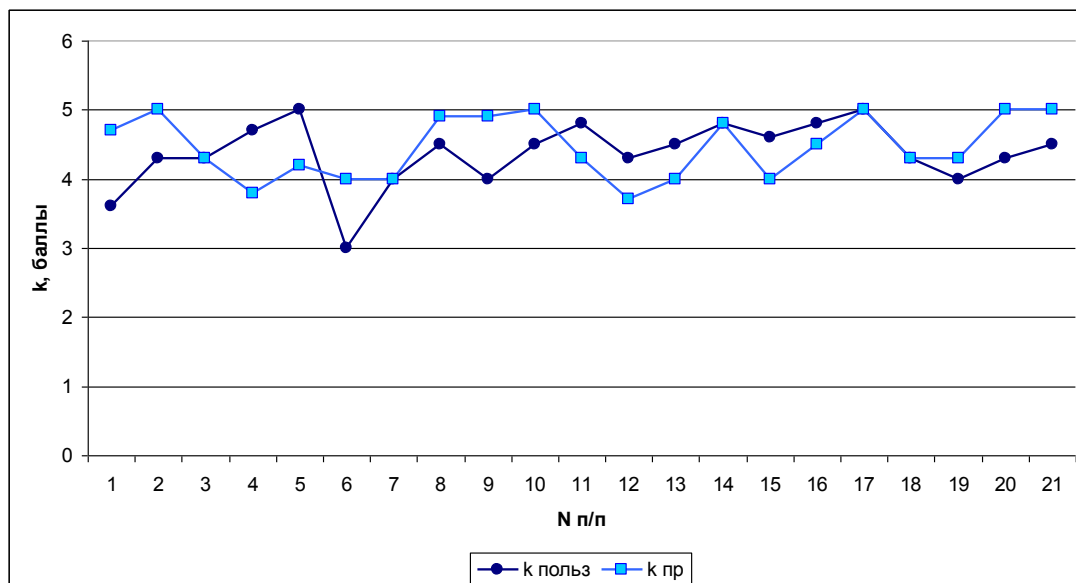


Рис. 3. График распределения оценок критериев QoS со стороны пользователя и со стороны производителя услуг

Например, критерий №4 (возможность преобразования исходного контента в другие форматы с минимальными искажениями) оценен пользователями высоко – следовательно, данный показатель не требует коррекции. А такие показатели как техническое качество исходного контента и актуальность контента (критерии №1 и №2) оценены пользователями ниже, чем произ-

водителем услуг, – необходима коррекция данных нормативов.

Важным аспектом является время отклика сети на мнение пользователя, сократить которое возможно при постоянном мониторинге пользовательской оценки качества услуг и способности системы управления сетью прогнозировать отклик пользователей.

### Литература

1. “Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций (ETSI)”. — Режим доступа: <http://www.etsi.org> (дата обращения 15.06.2013 г.).
2. Иткин А. Стандартизация QoS и понятие качества услуг.// Семинар ФГУП ЦНИИС “Подходы по тестированию параметров функционирования сети в целях обеспечения качества услуг связи”. – Москва. – 2011. – 20 с.
3. “Международный союз электросвязи (ITU)”. — Режим доступа: <http://www.itu.int> (дата обращения 15.06.2013 г.).

**Kniasieva N., Kalchenko A.**

#### Estimation of the quality of communication services in terms of customer satisfaction

**Abstract:** The article is devoted to the modern methodologies for identification of QoS. Three models for definition the QoS criterias relevant to the users are considered. The example of QoS assessment for multimedia service is given.

**Keywords:** Next generation networks , quality of services.

**Content**

**MEDICINE**

- Furman O.* Cervical mucus as a biological marker of fertility ..... 8  
*Yatskiv O.M., Tarnovska A.V.* Fertilizing ability of spermatozoa with abnormal morphology ..... 13

**BIOLOGY**

- Pokhylenko A.P., Korolev A.V.* Importance of Julida (Diplopoda) trophical and biotopical characteristics for anthropogenic impact estimation of millipede habitat in forest ecosystems of Samarskyi Forest ..... 18  
*Korzha A.P., Frolov D.A.* Metapopulation management problems of the pheasant hunting ex-situ ..... 21

**ECOLOGY, ENVIRONMENT AND SOCIETY SAFETY**

- Bigaliev A.B., Zhanburshin E.T., Bigaliev R.K., Ryskulov A.R., Bildebaeva R.M., Rakhmanov G., Kozhakhmetova A.* Social-economic development of Kazakhstan in present and scientific basic of ecological safety ..... 26  
*Kirienko S.* Functional role of mammal as factor influence on the respiration of soil ..... 32  
*Kuryanova S.A., Yurasov S.M.* Disadvantages of national classifications as groundwater water supply ..... 36  
*Bernát N.* Exploration and presentation of pollution sources of Sernye ..... 41  
*Kazimir I.I., Solodky V.D., Bepalko R.I.* Implementation of principles of steady development in the conditions of mountain ecosystems of Ukrainian Carpathians ..... 44

**CHEMISTRY**

- Brem V.V.* Saturation of melted flux with water vapor and hydrogen ..... 49  
*Dmitrenko I.V.* The permeability of hydrogen in the fluoride-oxide melts ..... 55

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCE**

- Mitsa V., Borkach E., Lovas G., Holomb R., Rosola I., Rudyko G., Gule E., Fekeshgazi I.* The visible photoluminescence from aged and freshly fractured surfacees of chalcogenide glasses ..... 61  
*Demesh Sh.Sh., Borkach E.I., Kovtunenkov V.S.* Determination of the analytical expressions of interatomic interaction potentials for  $As_nS_m$  crystals with density functional method ..... 65  
*Sorokina M.M.* Critical  $\tau$ -closed  $n$ -multiply  $\omega$ -special formations of finite groups ..... 71  
*Shvachych G.G., Konovalenkov V.S., Tkach M.A.* Model-based parallel construction of a numerical-analytical scheme ..... 76

**TECHNICAL SCIENCE**

- Cheiliakh A.P., Kutsomelya Yu.Yu., Fedun V.I., Ryabikina M.A.* The structure and properties of steel 40 Kh after pulsed plasma processing using titanium electrodes ..... 79  
*Tkachenko F.K., Ryabikina M.A., Tkachenko N.V.* The influence of parameters of isothermal treatment on structure and properties of steel X70 ..... 85

<i>Cheiliakh A.P., Karavaieva N.E.</i> Influence of heat treatment on the structure, metastable austenite and wear resistance of carburized steels 12H2N4MA and 18H2N4MA .....	89
<i>Govorun A.G., Selskiy M.P., Kutsyi P.V.</i> Determination of RTV energy losses under transient movement modes .....	92
<i>Volkov V.P., Komov P.B., Komov A.B., Komov E.A., Komov A.P.</i> Analysis of factors influence of providing technical reliability of vehicles on the road transport safety .....	98
<i>Vinogradov S.A., Konsurov N.O., Hritsyna I.N.</i> Liquid high-speed jets as a mechanism destruction of elements building construction during rescue operations .....	103
<i>Lipovoy V.A.</i> A solution of the heat transfer problem occurring at blasting cleaning of the petroleum product residuum in the tanks .....	107
<i>Lagutin V.L.</i> The distinctive features of the second-stage suspension of propelled trolley for transportation of the dangerous goods .....	109
<i>Larin O.M., Larin O.O., Chygrin V.V.</i> A diagnosis of the technical state of the supports of fire pump by the spectra of its vibrations .....	112
<i>Savytskyi A.</i> Determination of reinforced concrete bending structures strength by test load .....	117
<i>Gutarevich Y.F., Gritsuk I.V., Dobrovolskiy A.S., Adrov D.S., Verbovsky V.S., Krasnokutskaya Z.I.</i> Analysis of the survey results fuel economy and environmental performance of the gas internal combustion engine equipped with a pre-heating system in the process of starting and warm-up .....	121

## MODERN IT

<i>Nenov A.</i> Approaches to the Identification and Classification of Factors Influencing the Dependability of Telecommunications Network .....	128
<i>Polshchykov K.O.</i> General models of neuro-fuzzy systems control the intensity of data flows in a mobile radio network .....	133
<i>Manokha L., Limanska N.</i> Management by work of equipment of bakery production by construction of optimal chart of preventive-maintenance repairs .....	137
<i>Gryshchenko I.V.</i> Survivability of infocommunication networks through the use of intelligent systems ....	140
<i>Shvachych G.G., Kholod E.G.</i> Object oriented model for distributed database engineering in conditions of fuzzy sets .....	143
<i>Cherednichenko O., Yanholenko O.</i> Towards Web-Based Monitoring Framework for Performance Measurement in Higher Education .....	151
<i>Kniasieva N., Kalchenko A.</i> Estimation of the quality of communication services in terms of customer satisfaction .....	156

**Содержание**

**МЕДИЦИНА**

- Фурман О.В.* Цервикальная слизь как биомаркер фертильности..... 8
- Яцкив О.М., Тарновская А.В.* Оплодотворяющая способность сперматозоида с аномальной морфологией..... 13

**БИОЛОГИЯ**

- Похиленко А.П., Королёв А.В.* Значение трофической и топической характеристик многоножек *Julida* для оценки антропогенного влияния на местообитания диплопод в экосистемах Самарского леса ..... 18
- Корж А.П., Фролов Д.А.* Проблемы управления метапопуляцией охотничьего фазана *ex-situ* ..... 21

**ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

- Бигалиев А.Б., Жанбуришин Е.Т., Бигалиева Р.К., Рыскулова А.Р., Бильдебаева Р.М., Рахманова Ж., Кожаметова А.* Современное состояние социально-экономического развития Казахстана и научные основы экологической безопасности ..... 26
- Кириенко С.М.* Средообразующая деятельность млекопитающих как фактор влияния на выделение почвой  $CO_2$ ..... 32
- Курьянова С.А., Юрасов С.Н.* Недостатки отечественных классификаций качества водных объектов централизованного водоснабжения ..... 36
- Бернат Н.Б.* Исследование и описание источников загрязнения села Серне ..... 41
- Казимир И.И., Солодкий В.Д., Беспалько Р.И.* Имплементация принципов устойчивого развития в условиях горных экосистем Украинских Карпат..... 44

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

- Брем В.В.* насыщение расплавленных флюсов парами воды и водородом ..... 49
- Дмитренко И.В.* Проницаемость водорода во фторидно-оксидных расплавах..... 55

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

- Мица В., Боркач Е., Ловас Г., Голомб Р., Росола И., Рудько Г., Гуле Е., Фекешгази И.* Видимая фотолюминесценция старой и свежееобразованной поверхности халькогенидных стекол..... 61
- Демеш Ш.Ш., Боркач Е.И., Ковтуненко В.С.* Определение параметров аналитических выражений потенциалов межатомного взаимодействия кристаллов  $As_nS_m$  методом функционала плотности ..... 65
- Сорокина М.М.* Критические  $\tau$ -замкнутые  $n$ -кратно  $\omega$ -специальные формации конечных групп ..... 71
- Швачич Г.Г., Коноваленков В.С., Ткач М.А.* Модели параллельных вычислений на основе конструирования численно-аналитических схем..... 76

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

<i>Чейлях А.П., Куцомеля Ю.Ю., Федун В.И., Рябикина М.А.</i> Структура и свойства стали 40Х после импульсно-плазменной обработки с использованием титанового электрода .....	79
<i>Ткаченко Ф.К., Рябикина М.А., Ткаченко Н.В.</i> Влияние параметров изотермической обработки на структурообразование и свойства стали Х70 .....	85
<i>Чейлях А.П., Караваева Н.Е.</i> Влияние термообработки на структуру, метастабильность аустенита и износостойкость цементованных сталей 12Х2Н4МА и 18Х2Н4МА .....	89
<i>Говорун А.Г., Сельский М.П., Куцый П.В.</i> Определение потерь энергии КТС в условиях неустановившихся режимов движения .....	92
<i>Волков В.П., Комов П.Б., Комов А.Б., Комов Е.А., Комов А.П.</i> Анализ влияния факторов, обеспечивающих техническую исправность транспортных средств на безопасность автомобильного транспорта .....	98
<i>Виноградов С.А., Консуров Н.О., Грицына И.Н.</i> Высокоскоростные струи жидкости как механизм разрушения элементов строительных конструкций при проведении аварийно-спасательных работ .....	103
<i>Липовой В.А.</i> Решение задачи теплообмена при струйной очистке резервуаров от остатков нефтепродуктов .....	107
<i>Лагутин В.Л.</i> Некоторые особенности работы второй ступени рессорного подвешивания несамоходной тележки для транспортировки опасных грузов .....	109
<i>Ларин А.Н., Ларин А.А., Чигрин В.В.</i> Диагностика технического состояния крепления пожарного насоса по спектрам его вибраций .....	112
<i>Савицкий А.</i> Определение прочности изгибаемых железобетонных конструкций пробным нагружением .....	117
<i>Гутаревич Ю.Ф., Грищук И.В., Добровольский А.С., Адров Д.С., Вербовский В.С., Краснокутская З.И.</i> Анализ результатов исследования топливной экономичности и экологических показателей газового двигателя внутреннего сгорания, оснащенного системой предпускового прогрева, в процессе осуществления пуска и прогрева .....	121

## СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Ненов А.Л.</i> Подходы к идентификации и классификации факторов, оказывающих влияние на надежность телекоммуникационной сети .....	128
<i>Польщиков К.А.</i> Обобщенные модели нейро-нечетких систем управления интенсивностью потоков данных в мобильной радиосети .....	133
<i>Маноха Л.Ю., Лиманская Н.В.</i> Управление работой оборудования хлебопекарного производства путем построения оптимального графика планово-профилактических ремонтов .....	137
<i>Грищенко И.В.</i> Повышение живучести инфокоммуникационных сетей путем использования интеллектуальных систем .....	140
<i>Швачич Г.Г., Холод Е.Г.</i> Объектно-ориентированная модель конструирования распределенных баз данных в условиях нечетких множеств .....	143
<i>Чередниченко О.Ю., Янголенко О.В.</i> Модели веб-ориентированного мониторинга для оценивания производительности в сфере высшего образования .....	151
<i>Князева Н.А., Кальченко А.С.</i> Оценка качества услуг связи с позиций удовлетворенности потребителей .....	156

Készült a Rózsadomb Contact Kft nyomdájában.

1022 Budapest, Balogvár u. 1.

[www.rcontact.hu](http://www.rcontact.hu)