

інтелектуальна скарбниця нації

# ВИНАХІДНИК І РАЦІОНАЛІЗАТОР

## «Наука і техніка»

Передплатний індекс **06731**

**№ 2 (114) 2012 р.**



### Читайте в номері:

- VIII Міжнародний Салон винаходів та нових технологій «Новий час»
- Наукові розробки висунуті на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки

**Науково-популярний, науковий журнал  
«Винахідник і раціоналізатор»  
наука і техніка  
№ 2 – 2012 р.**

**Засновник журналу:**  
Українська академія наук

**Видається з 1997 року**

**Зареєстровано:**

Державним комітетом інформаційної політики,  
телебачення та радіомовлення України

**Свідоцтво:**

Серія KB №4278 від 31.07.1997 р.

**Головний редактор:** М.Г. Хомовненко

**Над випуском працювали:** В.М. Нагорна,  
А.О. Оніпко

**Голова редакційної ради:**

О.Ф. Оніпко, доктор технічних наук

**Редакційна рада:**

Андрощук Г.О., к.е.н.; Білоус Г. М., Борисевич В.К.,  
д.т.н.; Булгач В.Л., к.т.н.; Вербицький А.Г., к.т.н.;  
Висоцький Г.В., Гончаренко М.Ф., Давиденко А.А.,  
к.пед.н.; Демчишин А.В., д.т.н.; Єгоров С.О., к.е.н.;  
Корнєєв Д.І., д.т.н.; Коробко Б.П., к.т.н.; Крайнев  
П.П., к.е.н.; Кривуца В.Г., д.т.н.; Лівінський О.М.,  
Маргащук С.В., к.ф.-м.н.; Немчин О.Ф., Нікітченко  
В.В., Орлюк О.П., д.ю.н.; Остроухов В.В., д.ф.н.;  
Пічкур О.В., Синицин А.Г., Ситник М.П. д.т.н.;  
Стогній В.С., к.т.н.; Топчев М.Д.; Федоренко В.Г.,  
д.е.н.; Хмара Л.А., д.т.н.; Цибульов П.М., д.т.н.;  
Черевко О.І., д.е.н.; Черепов С.В., к.ф.-м.н.;  
Якименко Ю.І., д.т.н.

Видається за інформаційної підтримки  
Державної служби інтелектуальної власності,  
ДП «Український інститут промислової власності»

Погляди авторів публікацій не завжди  
збігаються з точкою зору редакції.

Матеріали друкуються мовою оригіналу.

Відповідальність за зміст реклами несе  
рекламодавець.

Незважаючи на те, що в процесі підготовки номера  
використовувалися всі можливості для перевірки  
фактичних даних, що публікуються, редакція не  
несе відповідальності за точність надрукованої  
інформації, а також за можливі наслідки, пов'язані  
з нею.

Матеріали, які надійшли до редакції, не  
повертуються.

Формат 60x84/8.

Ум.-друк.арк 4,6.

Наклад 3 700 прим.

Друкарня ТОВ «ДКС-Центр». Тел.: 467-65-28.

## **ЗМІСТ**

НОВИНИ НАУКИ І ТЕХНІКИ.....	2
VIII МІЖНАРОДНИЙ САЛОН ВИНАХОДІВ ТА НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ «НОВИЙ ЧАС» .....	4
Телевидение – изобретателям .....	7
АПАРАТ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СИНГЛЕТНО-КИСЛОРОДНОЙ СМЕСІ МИТ-С .....	8
H.B. Чухраев	
ХВИЛЬОВА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА .....	10
B.B. Терновой, A.M. Андреев, B.B. Терновой	
ДРУГЕ ЖИТТЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІЦІ! .....	12
КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА И МОДЕРНИЗАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ .....	13
A.V. Кипров	
МЕТОДОЛОГІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗА КРИТЕРІЯМИ МІЦНОСТІ .....	15
C.P. Ігнатович, C.M. Подреза	
СОЛІТОНИ І НЕЛІНІЙНІ ЯВИЩА У ФІЗИЦІ .....	19
L.S. Брижик, P.I. Голод	
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ – СТРАТЕГІЧНИЙ НАПРЯМОК РОЗВИТКУ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ .....	23
A.G. Данилкович, M. B. Новіков	
ПРО М'ЯКУ РЕЧОВИНУ, МЕТОДИ ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ .....	28
I.M. Мриглод, A.D. Трохимчук	
СОВРЕМЕННЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ .....	36
C.P. Можайко, B.A. Коробка	
ПРИБОРКАННЯ ПУЧКІВ ЧАСТИНОК ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ .....	43
V.G. Бар'яхтар, I.M. Неклюдов	
НОВИЙ УКРАЇНСЬКИЙ РАКЕТНИЙ ДВИГУН ДЛЯ ВЕРХНІХ СТУПЕНІВ РАКЕТ-НОСІІВ .....	47
V.G. Переєврзєв, V.I. Конох	
Посміхайтесь!.....	52

## ПРОБЛЕМЫ ПАМЯТИ У ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ

**Ваша память сегодня опять подвела вас? Например, вы безуспешно пытались вспомнить какое-то слово, которое «вертелось «на кончике языка», да? Если это так, не огорчайтесь, вы не одиночки**

Новое исследование, проведённое в University of Michigan, показало, что такая ситуация часто встречается у людей в возрасте 65 – 92 лет. Так, 61% из 105 принимавших участие в обследовании здоровых, высокообразованных пожилых людей сообщили об «авариях» с памятью.

Участники обследования заполняли контрольную таблицу сбоев памяти, имевших место в течение последних 24 часов, а также проходили ряд других тестов. Около половины из них сообщили об ошибках, которые на самом деле могут быть связаны просто с рассеянностью. Например, иногда люди вынуждены перечитывать фразу, потому что забыли её содержание, или забывают, куда они положили какой-нибудь предмет.

Когда люди проходят тестирование в лабораторных условиях и должны полагаться только на собственную память, молодёжь обычно «выглядит» лучше пожилых. Однако, когда аналогичные исследования проводятся в реальных условиях, память пожилых людей зачастую превосходит память молодёжи, особенно в таких ситуациях, как запоминание каких-либо событий или договорённостей, потому что пожилые люди используют памятные «подпорки», такие как календари, записи или будильники.

В ходе стандартных лабораторных тестов, обнаруживались лишь обычные возрастные различия. Люди в возрасте 80 и 90 лет имели худшие показатели, чем 60 – 70-летние. С другой стороны, не было обнаружено никакого среднесуточного возрастания сбоев памяти в зависимости от возраста.

Исследователи предупреждают, что если пожилой человек иногда забывает название предмета, это не означает, что он находится на ранней стадии болезни Альцгеймера или другого вида деменции. Забывчивость присуща всем, нопри определенных типах ошибок памяти важно следить за возрастанием их количества и затем обязательно советоваться с врачом.

## ВСЁ ПРО ХОЛЕСТЕРИН И ЗДОРОВЬЕ

Опубликовано Руководство по Клинической Практике (CPG) для диагностики и лечения гипертриглицеридемии. Как известно, триглицериды – это жиры, чрезмерное содержание которых в крови связано с риском сердечно – сосудистых заболеваний.

Наиболее распространенными причинами вы-

сокого уровня триглицеридов являются избыточный вес, малоподвижный образ жизни, метаболический синдром, сахарный диабет 2-го типа и наследственная различная гиперлипидемия. Все эти показатели создают опасный уровень триглицеридов и являются причиной высокого содержания «плохого» (липопroteины низкой плотности, или ЛПНП) и низкого содержания «хорошего» (липопротеины высокой плотности или ЛПВП) холестерина. Кроме того, очень высокий уровень триглицеридов является фактором риска для панкреатита.

В Руководстве, разработанном The Endocrine Society, представлены рекомендации по диагностике высоких уровней триглицеридов и рекомендации по борьбе с ними.

Согласно Recommendations from the CPG include: рекомендациям Клинической Практики взрослые люди должны обследоваться по поводу гипертриглицеридемии, по крайней мере, каждые пять лет, причём такая диагностика должна быть основана на оценке постоянного уровня триглицеридов, а не только при определении их натощак.

Руководство для пациентов можно найти в Интернете по адресу <http://www.hormone.org/Resources/upload/PG-Hypertriglyceridemia-web.pdf>, где объясняется, как гипертриглицеридемия влияет на организм и обсуждаются варианты лечения.

- Поскольку тяжелая гипертриглицеридемия повышает риск развития панкреатита а мягкая гипертриглицеридемия может быть фактором риска для сердечно-сосудистых заболеваний;;
- Установлено, что любое повышение триглицеридов должны быть оценены на предмет вторичных причин гиперлипидемии, в том числе эндокринные условия и лекарства. Лечение должно быть направлено на такие вторичные причины;
- Пациенты с первичной гипертриглицеридемией должны быть оценены на предмет других сердечно-сосудистых факторов риска, таких как центральное ожирение, артериальная гипертензия, нарушения метаболизма глюкозы и нарушение функции печени;
- Врачи должны оценивать пациентов с первичной гипертриглицеридемией с точки зрения семейной истории дислипидемии и сердечно-сосудистых заболеваний для оценки генетических причин и будущего сердечно-сосудистого риска, а также
- Начальное лечение легкой и умеренной гипертриглицеридемией – это образ жизни терапии, в том числе диетическое консультирование для достижения соответствующих компонент питления, физической активности и программы для достижения снижения веса с избыточной массой тела и ожирением.

## ДИАБЕТИКИ ПРОЩАЮТСЯ С ИГЛОУКАЛЫВАНИЕМ

Укол пальца является неизменной частью повседневной жизни многих больных сахарным диабетом. Сколько человек вздохнуло бы с облегчением, если бы смогли обойтись без этой неприятной процедуры. Исследователи из Fraunhofer Institute for Microelectronic Circuits and Systems (IMS) разработали крошечный чип, который обеспечивает одновременно измерение

и цифровой анализ показателей и передаёт результат на мобильное устройство.

Пациенты с диабетом 1-го типа должны постоянно отслеживать свой уровень сахара, так как их организм не в состоянии производить инсулин, разлагающий глюкозу. Несколько раз в день они должны помещать крошечную каплю крови на тест-полоску, и это единственный способ, с помощью которого они могут определить величину глюкозы в крови, чтобы ввести нужное количество необходимого инсулина. Такое прокалывание не только обременительно: оно способно вызвать воспаление или ороговение кожи, а для чувствительных к боли пациентов эта процедура просто ужасна.

Основой разработки является биосенсорное устройство, которое находится на теле пациента и которое способно непрерывно измерять уровень глюкозы с использованием, помимо крови, тканевой жидкости, такой как пот или слезы. Теперь пациент может обойтись без постоянных уколов. Раньше такие биоэлектрические датчики были слишком большие, неточные и потребляли чересчур много энергии. Биосенсор в nano-форме позволяет обойти эти препятствия.

В основе процесса лежит электрохимическая реакция, которая катализируется ферментом глюкооксидазой, преобразующей глюкозу в перекись водорода ( $H_2O_2$ ) и другие химические вещества, концентрация которых измеряется и используется для расчета уровня глюкозы. Особенностью биосенсора является чип, размером всего  $0,5 \times 2,0$  мм, в котором помещается система диагностики. Он даже имеет встроенный аналоговый цифровой преобразователь, преобразующий электрохимические сигналы в цифровые данные, которые передает через беспроводной интерфейс, например, на мобильный приёмник. Таким образом, содержание глюкозы в буквальном смысле находится на глазах у пациента.

Изготовление чипа экономически эффективно и подходит для массового производства. В дальнейшем, возможно, такой биочип сможет контролировать имплантированный миниатюрный насос, который на основе измеренного показателя глюкозы, будет указывать точное количество вводимого инсулина. Таким образом, больные сахарным диабетом смогут навсегда попрощаться с ненавистной иглой.

### ВИТАМИН D ПЛЮС КАЛЬЦІЙ – РЕЦЕПТ ДОЛГОЛЕТИЯ

Исследование, недавно опубликованное в журнале The Endocrine Society, показывает, что если витамин D принимать вместе с кальцием, то это снижает уровень смертности у пожилых людей, и, следовательно, увеличивает продолжительность их жизни.

В течение последнего десятилетия все более широкое признание с точки зрения улучшения здоровья получает витамин D. Хорошо известно, что добавки кальция в сочетании с витамином D снижают риск переломов.

В настоящем исследовании оценивали смертность среди пациентов, одни из которых принимали только витамин D, а другие – витамин D с кальцием.

Результаты показали снижение смертности у пожилых пациентов, использующих витамин D в сочетании с добавкой с кальцием, но аналогичные результаты не были обнаружены у пациентов, принимавших только витамин D.

Использовались данные более 8000 пациентов, среди которых почти 90% составляли женщины среднего возраста около 70 лет. Трёхлетнее исследование показало, что смертность была сокращена на 9% у пациентов, получавших витамин D совместно с кальцием.

При этом некоторые данные указывают на то, что добавки кальция сами по себе (с витамином D или без него) могут неблагоприятно влиять на сердечно – сосудистые заболевания. Тем не менее, в целом, кальций с витамином D для пожилых пациентов не только не вреден, но и способен оказывать благоприятное влияние на общее состояние здоровья.

### ЛЕКАРСТВА СТАНУТЬ БЕЗОПАСНЕЕ

Для повышения качества лекарственных средств Американская Фармакопейная Конвенция (USP) объявила о выпуске двух новых стандартов, связанных с элементарными примесями: изменения коснулись разделов «Общие главы <232> Примеси элементов – Ограничения и <<233> Примеси элементов – Процедура обнаружения».

Новые стандарты предусматривают способы выявления ряда примесей в лекарственных средствах на основе современных аналитических методов, а также допустимые пределы присутствия этих примесей на основе данных об их токсичности и уровнях воздействия. Новые стандарты вводятся в действие с 1 мая 2014 года. Более подробную информацию об этих требованиях можно найти на сайте <http://www.usp.org/usp-nf/hot-topics/elemental-purities>

Некоммерческая научная организация, USP разрабатывает стандарты для обеспечения подлинности, прочности, качества и чистоты рецептурных и безрецептурных лекарств, которые публикуются в специальных выпусках USP.

FDA – Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США – и другие официальные структуры системы здравоохранения тщательно отслеживают присутствие элементарных примесей в продукции, предназначенному для потребления человеком в течение длительного времени. Примеси могут оказаться в лекарствах из сырья, попасть в их состав случайно или во время технологического процесса получения (например, за счёт оборудования). Элементарные примеси, которые могут присутствовать в лекарствах, это – катализаторы и вредные вещества из окружающей среды, такие как свинец, ртуть, мышьяк и кадмий.

Источник: <http://www.sciteclibrary.ru>

## VIII Міжнародний Салон винаходів та нових технологій «Новий час»

27-29 вересня 2012 року в м. Севастополі відбувся VIII Міжнародний Салон винаходів та нових технологій «Новий час». Салон проходив під лозунгом «Сталий розвиток під час змін». Серед організаторів Салону – Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України; Державна служба інтелектуальної власності України; Севастопольська міська державна адміністрація; Всесвітній форум винахідників та дослідників; Українська академія наук; Журнал «Винахідник і раціоналізатор».

Салон отримав вітальні листи від Прем'єр-Міністра України, міністерств та відомств України. Працювало міжнародне жюрі на чолі з проф. П'єром Ф'юмером – президент Бельгійської Палати винахідів. Почесним президентом VIII Міжнародного Салону винаходів та нових технологій «Новий час» є президент Української академії наук, голова редакційної ради журналу «ВІР» Оніпко Олексій Федорович.

Про кращі винаходи та розробки можете прочитати в цьому і наступних номерах «ВІР».

### Офіційний звіт про проведення VIII Міжнародного Салону винаходів та нових технологій «Новий час»

#### Отчет о проведении VIII Международного салона изобретений и новых технологий «Новое Время»

(Украинский культурно-информационный  
центр, г. Севастополь)  
(27-29 сентября 2012 г.)

Организаторами Салона являлись: Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины, Государственная служба интеллектуальной собственности, ГП «Украинский институт промышленной собственности»; Украинская академия наук (г. Киев), Украинский совет изобретателей и новаторов (г. Киев), Севастопольская городская государственная администрация, Севастопольский городской Совет, КП «Агентство экономического развития г. Севастополя».

Агентство содействия науке и новациям «Новое Время» (г. Севастополь), Научная Школа Причинности: ООО «Центр «Аюмэль» (г. Севастополь), Первый украинский морской институт (г. Севастополь), Украинская ассоциация валеологов (г. Харьков), Украинская ассоциация по биоэтике (г. Киев), Инновационно-педагогическая ассоциация «XXI век: Образование. Наука. Экология» (г. Севастополь), Союз одаренной молодежи Украины (г. Киев), ОО «Клуб коренных киевлян «Вечность» (г. Киев), МОО «Здоровье общества» (г. Киев), Ассоциация «Российский дом международного научно-технического сотрудничества» (г. Москва), Международный инновационный клуб «Архимед» (г. Москва), Всемирный форум изобретателей и исследователей (г. Бухарест). Салон был запланированным проектом Международной федерации ассоциаций изобретателей, поддерживался ней и был рекомендован для участия всем членам Федерации (более 88 стран мира).

В рамках Салона проходили: презентации національних делегацій і інноваційних разрабо-



ток, подводились итоги VII Международного конкурса молодежных инноваций и разработок «Новое Время». Его отборочные туры проходили в странах участниках конкурса, а победители национальных туров приняли участие в работе VII Международного Салона изобретений и новых технологий «Новое Время» в Севастополе.

Во время Салона прошел «круглый» стол, ярмарка разработок и новых технологий в области энергоэффективности и энергосбережения в рамках проекта CIUDAD (проекта ЕС) «Повышение энергоэффективности в муниципалитетах Кишинева и Севастополя на базе позитивного опыта». На ярмарке было представлено более 50 разработок.

С севастопольского Салона началось роуд-шоу Международной федерации ассоциаций изобретателей (IFI): «Законодательство моды в изобретательстве» под лозунгом «Что мы должны изобретать и как мы проявляем новое?». Далее роуд-шоу движется по маршруту: Загреб (Хорватия) – Лагос (Нигерія) – Нюрнберг (Германия) – Куньшань (Китай). Начавшееся в Севастополе активное обсуждение перспектив развития изобретательской деятельности будет

## ВИСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦІЇ

оформлено в виде резолюции на Генеральной ассамблее Федерации во время выставки изобретений в г. Куньшань (Китай) в ноябре этого года.

На Салоне были представлены делегации: Международной федерации ассоциаций изобретателей (в работе Салона участвовали ее Президент д-р Андраш Ведрес (Венгрия) и генеральный директор проф. Адам Рыльский (Польша)), Международного инновационного клуба «Архимед», Всемирного форума исследователей и изобретателей, Бельгийской палаты изобретателей, Ассоциации изобретателей Боснии и Герцоговины, Китайского инновационного и изобретательского общества, Ассоциации польских изобретателей и рационализаторов, Румынского общества изобретателей, Румынского форума изобретателей, Национального института изобретательства (Румыния), Московского отделения, Санкт-Петербургского и Ленинградского областного отделений Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов, Общества изобретателей и рационализаторов Кыргызии, Грузинского клуба изобретателей, Белградской ассоциации изобретателей, Венгерского общества изобретателей, Общества изобретателей Словении, Украинского совета изобретателей и новаторов. Были также представлены изобретатели и инновационные организации из следующих стран: Азербайджан, Алжир, Аргентина, Армения, Грузия, Эстония, Египет, Израиль, Индия, Иран, Испания, Италия, Казахстан, Канада, Кыргызия, Китай, Корея, Литва, Македония, Молдова, Нигерия, Германия, Объединенные Арабские Эмираты, Российская Федерация, Румыния, Словения, США, Турция, Туркменистан, Украина, Франция, Чехия, Швейцария.

Общее количество стран участниц 33.

Салон получил приветственные письма от Министра образования и науки, молодежи и спорта Украины, Министерства культуры Украины, Государственного агентства по энергоэффективности и энергосбережению Украины, Государственной службы интеллектуальной собственности Украины, ГП «Украинский институт промышленной собственности», Севастопольского городского Совета и Севастопольской городской государственной администрации, Министерства образования и науки, молодежи и спорта АРК, городских голов Николаева, Одессы, Ужгорода, Харькова, Черновцов, Черкасс, Ялты, а также Днепропетровской, Житомирской, Ровенской, Херсонской и других областных государственных администраций, Севастопольского регионального центра по инвестициям и развитию.

Работало международное жюри во главе с проф. Пьером Фюмьером (Бельгия) и Национальное жюри во главе с представителем Украины в Европейской ассоциации ТРИЗ Антоном Карловым (Украина). Почетным Президентом Салона является Президент Украинской академии наук проф. Алексей Онищенко, Председателем Наградной комиссии – проф. Василий Гоч (Украина).

Были подведены итоги VII Международного конкурса молодежных инноваций и разработок „Новое Время“ медалями, дипломами и призами Салона награждены – 144 школьников и студентов, молодежных организаций 10 стран мира: Украины, Российской Федерации, Румынии, Молдовы, Ирана,

Польши, Словении, Египта, Боснии и Герцеговины, Тайваня.

Всего жюри было оценено 560 разработок (около 50% из них – зарубежные) на площади 1200 кв. м. Вручено 512 медалей (золотых, серебряных, бронзовых) и 70 дипломов почтения, более 60 призов и других наград Салона.

Количество посетителей – 2700 человек.

### Награждение на Салоне:

Специальный приз Государственной службы интеллектуальной собственности вручен коллективу ГП «Конструкторское бюро «Южное» (г. Днепропетровск) за разработку хирургического комплекса «Плазмамед».

Специальный приз ГП «Украинский институт промышленной собственности» вручен коллективу изобретателей ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» (г. Харьков) Д.В. Стalinскому, А.А. Павленко, В.К. Китченко за разработку газотранспортной системы газотурбинной электростанции комбинированного цикла, работающей на вторичных энергоресурсах.

Было произведено вручение золотых медалей Всемирной организации интеллектуальной собственности: медалью «Лучший изобретатель» награжден проф. В.П. Гоч (г. Севастополь) за комплекс изобретений в области гармонизации функционального состояния человека, медалью «Женщина-изобретатель» награждена проф. М.С. Гончаренко (г. Харьков) за изобретения в области здоровьесберегающих технологий, медалью «Молодой изобретатель – аспирантка С.А. Браженко (г. Полтава) за изобретения в области сельского хозяйства.

На Севастопольском Салоне впервые вручалась медаль Лауреата Международной федерации ассоциаций изобретателей (IFI). Лауреатами стали изобретатели А.Ф. Онищенко, С.Н. Василенко, А.А. Онищенко (г. Киев) за разработку нового типа ветрогенераторов. Золотые медали Федерации были вручены изобретателям из гг. Днепропетровска, Полтавы, а также польским изобретателям. Президент Федерации проф. А. Ведрес вручил изобретателям также знаки отличия Федерации: степени Шевалье – А.Ф. Онищенко, М.С. Гончаренко, В.К. Селищеву; степени Офицер – В.П. Гочу, В.А. Куликовой, Ю.М. Скоморовскому.

Приз Севастопольской городской государственной администрации вручен Ассоциации польских изобретателей и рационализаторов за комплекс разработок (более 40 изобретений) представленных на Салоне.

Приз Севастопольского городского совета вручен Санкт-Петербургскому и Ленинградскому областному отделению Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов за комплекс разработок (более 15 изобретений) представленных на Салоне.

Медалью Института Европейского сообщества по поддержке предпринимательства отмечены В. Чернолес (Российская Федерация), В. Михайленко, А. Костюков (Украина).

Кубки Фарасарайской международной группы изобретателей (Республика Иран) вручены: «Клубу коренных киевлян «Вечность» и изобретателям В. Дяченко, А. Дяченко, А. Коптелову, М. Бондарь (г. Киев) за разработку «Комплекс спектрально-динамический».



Кубками Ассоциации польских изобретателей отмечены работы в области ветроэнергетики под руководством проф. А.Ф. Оникко, разработка В.П. Гоч, В.Л. Кулиниченко, С.Г. Бондаренко, Е.Н. Теличко (Украина) устройство «Циклоазораль» и др. работы, представленные на Салоне.

В ходе работы Салона призы общества тайваньских изобретателей вручил украинским изобретателям Президент общества Коу-Чен Ву. Президентом Общества изобретателей и рационализаторов Республики Кыргызия проф. С. Жекишевой были вручены награды изобретателям и новаторам Украины, Российской Федерации, Польши. Вручались также награды и призы Венгерского общества изобретателей, Белградского общества изобретателей, Технического университета Молдовы, Международного инновационного клуба «Архимед» (г. Москва), Ассоциации «Российский дом международного научно-технического сотрудничества» (г. Москва), Санкт-Петербургского и Ленинградского областного отделений Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов, Фонда фундаментальных исследований (Российская Федерация) и МГУ им. М.В. Ломоносова. Румынские награды были представлены призами Румынского общества изобретателей, Румынского форума изобретателей, Национального института изобретательства Румынии и многими другими. Были вручены кубки Всемирного форума исследователей и изобретателей.

Приз и награды Федерации космонавтики России и кубок НПО «Искра» (г. Пермь) вручал ее Вице-президент проф. Ю. Л. Макаревич. Кубок был вручен за комплекс разработок, представленных на Салоне КБ «Южное» им. М.К. Янгеля (г. Днепропетровск). Медалями Федерации были награждены: медалью С. Келдыша – А. Ведрес (Венгрия), медалью В. Терешковой – С. Жекишева (Кыргызия), медалью Ю. Гагарина – К. Антохи (Румыния).

В ходе Салона прошло награждение призами победителей VII Международного конкурса детских и молодежных инноваций и разработок «Новое Время»:

1. Призом «Молодой изобретатель» награждены А.Р. Авдеев, В.Ю. Титов (г. Санкт-Петербург) за разработку бортовой декаметровой антенны подвижного объекта;

2. Призом «Новые технологии» – студенты Лунгхва университета науки и технологий (Тайвань) Дж.-Л. Ли, Т.-Л. Сунг, Дж.-Х. Ие, Й.-Дж. Зенг за разработку в области новых материалов;

3. Призом «Социальные технологии» – К.О. Кувивник (г. Киев) за разработку технологии интереса к учебе.

#### ОФІЦІЙНІ ПРИЗЫ САЛОНА:

1. Приз «Инновации в туризме» вручен представителям Севастопольского филиала Саратовского государственного социально-экономического университета И. А. Шевчук и Л.Е. Шевчук за комплекс разработок в области организации туристической деятельности.

2. Приз «Энергоэффективность» вручен Х.-Х. Янг (Тайвань) за разработку морского приливного генератора.

3. Призом «Морские технологии» отмечено изобретение молодых запорожских изобретателей В.В. Тернового, А.М. Андреева, В.В. Тернового, И.В. Ольховика, Е.И. Умерова (Украина) «Волновая энергетическая установка»

4. Приз «Культурные инновации» вручен Д.И. Зезюлину и А.Д. Зезюлиной (Российская Федерация) за разработку проекта цветодинамических картин.

5. Приз «IT-технологии» вручен В.С. Авраменко, А.В. Кий, А.В. Козленко, Я.М. Копчак (г. Санкт-Петербург) за разработку способа защиты компьютерных сетей от несанкционированного сканирования и блокирования сетевых служб.

6. Призом Лучший товарный знак награждена торговая марка «Анмакс» (Украина).

7. Призом прессы отмечены Д. Слис, Е. Неверова-Дзюпак (Польша) за разработку технологий сепарации дождевых осадков.

8. Призом «Симпатия посетителей» отмечены С.-Т. Ших, П.-Ю. Чен (Тайвань) за разработку способа нахождения биологически активных точек и воздействия на них

9. Призом «Социальная технология» награждены Н.П. Будко, П.А. Будко, А.М. Винограденко, Г.П. Дорошенко, В.В. Минеев (Российская Федерация) за разработку «Способ распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой и устройство для его осуществления».

10. Приз «Молодежная инициатива» вручен тайваньским изобретателям Т.-Х. Лин, И.-Ш. Джунг, Ш.-Ш. Лин (Тайвань) за разработку нового поколения мобильных электронных контроллеров.

11. Приз «Женщина-изобретатель» вручен И. Большаковой (Украина) за уникальные разработки в области измерений квазистационарного магнитного поля.

12. Главный приз международного жюри вручен Х.-Х. Янг (Тайвань) за метод производства биоразлагающегося упаковочного материала.

По решению организаторов и международного жюри IX Международный салон изобретений и новых технологий «Новое Время» состоится в г. Севастополе 26-28 сентября 2013 г. Данный проект вошел в список официальных международных выставок в Украине. В рамках Салона с 3 октября 2012 г. объявлен VIII Международный конкурс молодежных инноваций и разработок «Новое Время».

## Телевидение – изобретателям

Интервью для ВІР

В поддержку проводимых Президентом Виктором Януковичем реформ Государственный комитет телевидения и радиовещания Украины в 2012 году организовал на базе региональных телекомпаний несколько еженедельных циклов различной направленности. Есть среди них и программа, посвященная вопросам науки, технического прогресса и инноваций. С ее автором Светланой Косиновой корреспондент ВІР встретился на 8-м Международном салоне изобретений и новых технологий «Новое время» в Севастополе.



Светлана Косинова

С.К.: Этот телевизионный проект тоже инновационный: хотя каждый из циклов делается на базе какой-либо региональной телекомпании, при этом он аккумулирует новости из всех областей Украины. И идет он также в эфирах всех государственных компаний.

Журналист-координатор должен наладить прочные связи с коллегами в других регионах и владеть всей информацией о фронте реформ, которые он освещает. Я из Севастополя обязана следить за новостями в мире науки и технического прогресса. Очень благодарна своим коллегам в других городах, которые помогают мне это делать.

– Фронт инноваций – это Ваш выбор?

С.К.: Это предложение Комитета. Когда проводились «кастинг» программ, в нем участвовала и моя передача о разработках нашего технического университета. Видимо, в Киеве оценили мое стремление просто говорить о сложных вещах, и предложили взять на себя координацию в этом направлении. На этом же фронте входит и моя харьковская коллега, ее программа называется «Фабрика идей».

– Научно-популярное направление в сегодняшней журналистике как будто не очень популярно...

– Да, сегодня телезритель привык к шоу, к яркой, быстро меняющейся картинке, и зацепить его внимание сложно. Исследовательские лаборатории он видит главным образом в передачах о качестве продуктов. Но мы стараемся.

Делать еженедельную программу о науке не просто, приходится каждый раз – и очень быстро – осваивать новые и новые темы. Только-только разберешься с добычей газового гидрата, а уже пора переключаться на телекоммуникации, гетеродин и терагерцы. Я гуманитарий, и порой оператор или монтажер по ходу работы проясняет мне физику явлений. Вся наша творческая группа теперь довольно продвинута в вопросах науки: и про бактериальное выщелачивание урана разговор поддержим, и механизм спутниковых исследований хоть ребенку объясним. Главное, конечно, – сделать сложную научную информацию по-

нятной простому зрителю, чтобы он буквально кожей чувствовал, о чем речь.

– С учеными легко находите контакт?

С.К.: Теперь – да, а вначале приходилось слышать разное: мол, вы, журналисты, – люди поверхностные, опять все переврете, вам бы только сенсацию выудить... И это при том, что сами же ученыe жалуются на нехватку внимания со стороны СМИ.

Сейчас проще гораздо, какое-то уважение в научной среде Севастополя наша программа уже заслужила. Конечно, приятно слышать после выхода программы: «Так точно и понятно о нас еще никто не рассказывал!» Случалось сталкиваться и с проявлениями научной ревности: «Почему вы именно в тот университет пришли нанотехнологии снимать, мы тоже их не хуже развиваем!» Хочу сказать, что это большое удовольствие – рассказывать о людях, которые реально что-то делают, более того – творят. Героев, что только говорят, в телевизоре и так не счесть.

– Ваши впечатления от салона?

С.К.: Впечатления замечательные. Как рядовому, но любопытному потребителю, мне крайне интересно видеть представленные изобретения. Как журналист я очень рада установить прямые контакты с исследовательскими структурами. Например, у меня до сих пор не складывалось с репортажами из Львовской политехники и КБ «Южное». Уверена – теперь сложится. Жаль, языковой барьер мешает плотнее пообщаться с зарубежными делегациями. Переводчиков немного, а английский не вполне спасает – тут же языков как во время вавилонского столпотворения!

Тайваньская делегация поразила своей численностью и целеустремленностью. Вот пример того единения, которое должно быть у науки, власти и бизнеса. Так хочется, чтобы сегодняшние украинские изобретения не оставались без внимания и поддержки. К сожалению, очень часто за этот год и я, и коллеги в регионах, которые готовят материалы для «Городского кольца», сталкивались с печальной ситуацией: проект разработан, результаты очевидны, экономическая выгода просчитана – и никакого движения! Периодически даже появляются заинтересованные лица, появляются – и исчезают вопреки законам логики и экономики. Внедрять инновации у нас пока что не очень-то выгодно. Но это отдельный разговор.

И еще одно грустное наблюдение: не все ученыe хотят говорить громко о своих разработках. Они могут очень прибыльно реализовывать их за границей, но развивать их на родине просто боятся. На салоне тоже есть изобретатели, которые отказались давать интервью, сказали: «Есть силы, которые стоят за другие проекты, и мы опасаемся привлекать к себе много внимания.»

– Вы на салоне выделили какой-то проект?

С.К. Да, конечно, и не один. Меня восхищают разработки Львовской политехники и КБ «Южное», но больше всего резонирует то, чем можешь пользоваться сам. Например, автомобильная стоянка роторного типа (думаю, проблема со стоянками – общая для городов), или ветрогенератор, который представлял Алексей Ониппо. Экологичный, автономный и с таким коэффициентом отдачи!

Украинские технологии на службе сохранения здоровья детей

**Аппарат для приготовления синглетно-кислородной смеси МИТ-С**

**Золотая медаль**

Начало нового века в развитии цивилизации – это период больших перемен и создание новых технологий, а начало нового тысячелетия – это эпохальное событие, которое должно задать направления развития общества на следующее тысячелетие.

По данным Министерства здравоохранения Украины количество здоровых детей дошкольного и школьного возраста в нашей стране постоянно уменьшается и составляет сегодня не более 30%. Еще менее перспективная картина у детей выпускных классов – там количество условно здоровых детей не превышает 10%. Примерно такая же ситуация со здоровьем детей и в других странах бывшего СССР (Россия, Казахстан).

По данным медицинской статистики по сравнению с шестидесятыми годами в Украине на 72% выросла заболеваемость детей, в 16 раз снизилось количество здоровых детей, в 3 раза увеличилось количество новообразований, болезней системы кроветворения и органов пищеварения у детей школьного возраста.

Эти и другие статистические данные однозначно свидетельствуют о том, что для воспитания здорового населения нашей страны, необходимо кардинально менять политику государства в отношении сохранения здоровья детей в системе организованного детства (школа и детский сад). Основным приоритетом политики государства в этом направлении должно быть создание на базе детских учреждений:

1) системы мониторинга уровня интеллектуального и физического развития ребенка, его психо-эмоционального состояния и уровня здоровья;

2) системы психо-эмоциональной адаптации и сохранения здоровья детей на базе инновационных разработок ученых нашей страны.

Для решения задачи сохранения здоровья детей и организации лечебно-профилактических мероприятий для детей и взрослых украинскими учеными разработан и запатентован аппарат для приготовления синглетно-кислородной смеси МИТ-С. Получены патенты Украины, России. Аппарат был отмечен золотой медалью Международного салона изобретений и новых технологий «Новое время». Данный аппарат хорошо зарекомендовал себя во многих медицинских и оздоровительных учреждениях Украины, России, Казахстана, Израиля, Германии.

Максимальная эффективность применения синглетно-кислородной смеси была подтверждена при лечении и профилактике заболеваний органов дыхания и пищеварения, эндокринной системы и системы кровообращения. В качестве сопутствующего эффекта применения аппарата МИТ-С, было подтверждено выполнение деинтоксикации организма и выведение глистов, гельминтов и радионуклидов.

Аппарат для приготовления синглетно-кислородной смеси МИТ-С производится в 2 вариантах: для приготовления а) для приготовления синглетно-кислородной пенки и б) синглетно-кислородной ингаляции.

Применение аппарата в профилактических и оздоровительных целях в детских садах и школах доказано снижено заболеваемость детей почти на 30% и дополнительно, что не маловажно, в классах где применялась данная система оздоровления повысились успеваемость детей и снизилось психо-эмоциональная возбудимость детей.

К сожалению, внедрение данного аппарата выполняется только группой энтузиастов врачей, педагогов и родителей, которые хотят, чтобы наши дети выросли здоровыми и умными.

Учитывая высокую эффективность синглетно-кислородной терапии в комплексной программе медицинской реабилитации больных многими социально-значимыми заболеваниями аппарат МИТ-С включен в



а)



б)

Аппарат для приготовления синглетно-кислородной смеси МИТ-С



Демонстрация аппарата МИТ-С в департаменте по управлению детскими садами пров. Фукусима (Япония)

табель медицинского оборудования реабилитационных отделений России и Казахстана.

Научными сотрудниками Академии получен большой опыт применения синглетно-кислородной терапии в комплексной программе реабилитации детей, длительно проживающих на радиоактивно зараженной территории.

С целью поддержания здоровья японских детей проживающих в провинции Фукусима. Аппарат МИТ-С передан департаменту по управлению детскими садами профинции Фукусима. Церемония передачи состоялась во время визита делегации ученых Украинской академии наук во главе с президентом Академии А.Онилко (информация см. ВИР, 2012 №1). В рамках программы украинско-японского научно-технического

сотрудничества в ликвидации последствий техногенной катастрофы на АЭС Фукусима-1.

Аппарат для приготовления синглетно-кислородной смеси МИТ-С в настоящее время производится серийно в Украине и ведутся переговоры об организации производства данного аппарата в Казахстане, России, Германии, Японии и Израиле.

Сегодня основная забота всех нас взрослых должна быть в проявлении максимальной человечности защищить детей, обеспечить их конституционное право на здоровье и полноценную жизнь. Ребенок не может ждать лучших времен. Нам нужно безотлагательно переходить от видимой заботы о детях к реальной и предоставить им возможность быть здоровыми.

Чухраев Н.В., Председатель Ассоциации «Здоровый ребенок», руководитель Центра «МЕДИНТЕХ».



Пребывание украинских ученых в провинции Фукусима. Слева направо: А.Онилко – президент УАН, з-жа Юкио Ишикаева – директор департамента по управлению детскими садами, Н.Чухраев – разработчик аппарата МИТ-С, г-н Хомма Масато – президент компании «Global Energy Trade Co. Ltd», члены японского парламента

Терновой В.В., Андреев А.М., Терновой В.В.

## ХВИЛЬОВА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА

Золота медаль та спеціальний приз журналу «VIP»



**В**провадження альтернативних (поноєлюваних) джерел енергії та енергоефективних технологій є пріоритетним напрямком розв'язання енергетичних та екологічних проблем сьогодення. Одним з таких джерел є хвилі на поверхні водоймищ. Проблема використання енергії хвиль є особливо актуальну для тих країн, які мають відповідні гідроенергетичні ресурси. Наприклад, у Норвегії побудовано 500-кіловатну хвильову енергетичну установку. Простіші пристрой забезпечують енергією бакени і маяки. Україна теж має гідроенергетичні ресурси, адже вона має вихід до Чорного та Азовського морів, а також повноводні річки (Дніпро, Дністер, Дунай, Південний Буг, Десна, Прип'ять тощо).



Рис. 1. Хвилі – невичерпне джерело енергії

Для перетворення енергії хвиль в механічну чи електричну енергію вже існують чимало конструкцій хвильових енергетичних установок. Одним з перспективних варіантів їх використання є автономне енергозабезпечення бакенів (буїв) і маяків, які вказують напрямок руху кораблям. Проте хвильова енергетика розвивається досить повільно через велику кількість технічних проблем, з якими пов'язане перетворення механічної енергії хвиль в електричну, зокрема:

- розосередження енергії на великій поверхні;
- непостійне хвилевідтворення;

• низька швидкість руху хвиль при значній силі їхньої дії;

Разом з цим, існуючі хвильові енергетичні установки мають ряд конструктивних недоліків:

- досить велика матеріаломісткість;
- досить мала плавучість;
- складність механізму утримання системи у вертикальному положенні.

Хвильова енергетична установка, що містить гвинтовий перетворювач енергії, виконаний у вигляді лопатевого гвинта, з'єднаного муфтою з валом та через підвищувальний редуктор з генератором, кожух, плавучість, яка відрізняється тим, що додатково містить штангу, жорстко закріплена до плавучості; шток, шарнірно з'єднаний зі штангою; стойку, в якій у підшипниках установлений вал; кронштейн, який з одного боку прикріплено до штока, а з іншого до стойки; концентратор потоку води з направляючими лопатками, що з'єднаний зі стойкою за допомогою тримачів; причому лопаті лопатевого гвинта є гнучкими та пружними і жорстко закріплені з одного боку на вісях-спицях.

Хвильова енергетична установка містить: лопаті 1, що жорстко закріплені з одного боку на вісях-спицях 2; вал 3; муфту 4; підшипники 5; підвищувальний редуктор 6; генератор 7; кожух 8; стойку 9; штангу 10; шток 11, шарнірно з'єднаний зі штангою 10; кронштейн 12, який з одного боку прикріплено до штока 11, а з іншого до стойки 9; концентратор потоку води 13 з направляючими лопатками 15, що з'єднаний зі стойкою 9 за допомогою тримачів 14; плавучість 16, яку на рис. 2.1 не зображенено.

Лопаті 1, які жорстко закріплені з одного боку на вісях-спицях 2, та муфта 4 утворюють лопатевий гвинт, який з'єднаний з нижнім кінцем валу 3, що встановле-

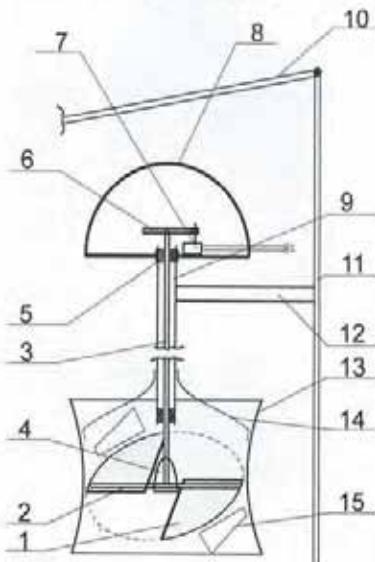


Рис. 2.1. Вигляд збоку хвильової енергетичної установки

ний у підшипниках 5 стойки 9, і є, у свою чергу, складовими частинами гвинтового перетворювача енергії. Лопаті 1 виконані гнучкими та пружними, а кількість лопатей гвинта повинна бути не менше двох.

Підвищувальний редуктор 6 та генератор 7, які розташовані в кожусі 8, утворюють енергетичний блок.

Верхній кінець валу 3 з'єднаний з підвищувальним редуктором 6, який механічно з'єднаний з генератором 7. До генератора 7 підключено електричне навантаження (наприклад, акумулятор, який на рис. 2.1 не зображен). Концентратор потоку води 13 захищає лопатевий гвинт від механічних ушкоджень. Кожух 8 запобігає попаданню вологи та пилу до підвищувального редуктора 6 і генератора 7. Штанга 10 жорстко закріплена до плавучості 16.

Система працює таким чином: При виникненні хвиль на поверхні водоймища плавучість 16 (буй, човен та ін.), яка тримається на поверхні водоймища, здійснює зворотно-поступальний рух. За допомогою штанги 10 цей рух передається шарнірно з'єднаному з нею штоку 11, при цьому разом зворотно-поступального руху штока 11 пропорційний довжині штанги 10. Стойка 9, яка жорстко з'єднана зі штоком 11 за допомогою кронштейна 12, повторює зворотно-поступальний рух штока 11. Цей рух передається валу 3, встановленому у підшипниках 5 стойки 9 і лопатям 1, які мають змогу рухатися мов "риб'ячий хвіст".

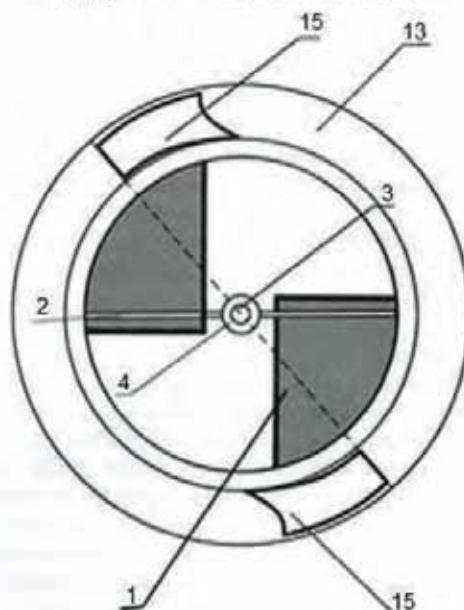


Рис 2.2 Вигляд концентратора потоку води зверху

При підніманні стойки 9 вгору гнучкі та пружні лопаті 1 відхиляються потоком води вниз, що спричиняє обертання лопатевого гвинта. Це обертання передається валу 3 установки. При русі вниз хвильової енергетичної установки гнучкі та пружні лопаті 1 відхиляються додори, при цьому напрямок обертання лопатевого гвинта не змінюється, що обумовлює підвищення ККД установки, у порівнянні з відомими рішеннями. Від валу 3 обертальний рух передається підвищувальному редуктору 6, а від нього, зі збільшеною частотою, – генератору 7 установки. До генератора 7 можна підключити електричне навантаження (наприклад, акумулятор). Також підвищення ККД установки у запропонованому технічному рішенні досягається



Фіг. 3. Малюнок, що пропонує спосіб використання хвильової енергетичної установки на прикладі малих суден (або буйв)

за рахунок введення направляючих лопаток, які закріплені на внутрішній поверхні концентратора потоку води 13. При зворотно-поступальному русі установки направляючі лопатки 14 закручують потік води у бік, що відповідає напрямку обертання гвинта, це призводить до збільшення обертального моменту лопатевого гвинта.

Запропонована хвильова енергетична установка може працювати при мінімальній глибині водоймищ 3м та розвиватиме потужність  $10\text{Bt}\pm1\text{Bt}$  при висоті хвиль приблизно 0,3м.

Як плавучість можна використовувати сигнальні буй, бакени, човни, судна тощо.

Наприклад, запропоновану хвильову енергетичну установку можна використовувати:

- як автономний пристрій для підзарядки акумуляторів;
- як постачальник електроенергії для освітлення буя, бакена (на який закріплена запропонована установка) та ін.



Фіг. 4 Діюча модель

Запропонована хвильова енергетична установка дозволяє перетворювати енергію хвиль водоймищ в електричну енергію з меншим впливом на навколишнє середовище. Має невисоку собівартість, високу надійність, є простою у використанні.



## Друге життя авіаційній техніці!

Сучасний етап вітчизняного повітряного транспорту характеризується вкрай складними умовами експлуатації та ремонту авіаційної техніки. В той же час зростають вимоги щодо забезпечення безпеки, регулярності польотів, зниження витрат часу та коштів на технічне обслуговування та ремонт авіаційної техніки.

Однією з ключових проблем авіації є проблема ресурсу авіаційних конструкцій. Особливої актуальності вона набуває при наявності значного парку старіючої авіаційної техніки. Єдиним засобом залишити продовження експлуатації літаків і авіадвигунів є ефективне їх відновлення та об'єктивний контроль технічного стану при ремонтах та в процесі експлуатації.

При ремонті літаків на сучасному етапі розвитку авіаційної галузі впроваджуються новітні технологічні процеси, високоточне обладнання, використовується значна кількість матеріалів, запасних частин, комплектуючих виробів, технологічної, ремонтної та нормативно-технічної документації.

Тому розробка перспективних технологій відновлення та модернізації авіаційної техніки, у тому числі і інформаційних технологій, а також проведення ремонту авіаційної техніки є надзвичайно актуальними науково-технічними проблемами.

Кореспондент нашого журналу побував на Державному підприємстві «Завод 410 цивільної авіації», що розташоване в м. Києві.

Робота по створенню і впровадженню прогресивних технологій відновлення та модернізації авіаційної техніки в 2012 році висунута на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки.

Потужна виробнича база, сучасне устаткування, передові авіаційні технології, професіоналізм і високий інтелектуальний потенціал працівників, висока якість послуг, що їх надають, дали змогу Державному підприємству «Завод 410 цивільної авіації» зарекомендувати себе як ремонтне авіапідприємство, яке ефективно працює і заслужено займає провідні позиції у сфері ремонту авіатехніки.

Завод розташований на площі 236000 м<sup>2</sup> і займає 170000 м<sup>2</sup> виробничих приміщень. Уже багато років підприємство виконує повний технологічний цикл капітального ремонту літаків Ан-24, 26, 30, 32 і авіаційних двигунів Д-36 серії 1, 1А, 2А для літаків Як-42, Ан-72, 74, ремонт агрегатів авіатехніки, а також роботи, пов'язані з відновленням авіадеталей. Завод здійснює комплекс робіт із продовження ресурсів літаків типу «Ан», потенціал яких, попри «солідний» вік, далеко не вичерпаній. На базі льотно-випробувального експлуатаційного комплексу проводять усі види технічного обслуговування ремонтованої на заводі авіатехніки, а також контрольно-відповідальнє обслуговування (КВО) Ан-72.

Капітальний ремонт кожного з типів повітряних суден не можна класифікувати як щось однотипне. Хоча у них є й спільні ознаки. Кожен літак неповторний, кожен має свою «душу». Літак, який потребує ремонту, проходить діагностування, на підставі якого виконують відповідні роботи і оцінюють технічний стан силових елементів. Знашенні деталі, агрегати і вузли замінюють, а ті, що можна відремонтувати – ремонтують. Проводять необхідну доукомплектацію, після чого літак збирають знову в єдине ціле. Далі спільно з фахівцями Державного підприємства «Антонов» визначають можливість його подальшої експлуатації у рамках терміну мікрремонтного ресурсу.

Про технологічні методи, які використовують на заводі дізнаємося в опублікованих в цьому номері.



**А.В.Кипров,**  
главний технолог

# КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА И МОДЕРНИЗАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Уровень развития авиационной сферы Украины – это свидетельство ее индустриальной мощности. Ремонт и модернизация самолетов серии Ан-32, которые соответствуют требованиям мировых стандартов по техническим характеристикам, надежности, экономичности и т. д. являются существенным прорывом для нашей страны. Наиболее существенным достижением ученых и производственников является разработка новых технологий ремонта авиационной техники.

С течением времени техника изнашивается и морально устаревает, количество самолетов в эксплуатации уменьшается.

В результате анализа литературных источников [1-6] показано, что основным средством, которое должно обеспечивать надежность практических всех воздушных судов, является совершенствование технологий ремонта и модернизации авиационной техники, которое расширяет возможность и универсальность этого класса самолетов.

Модернизация и продление ресурса самолетов серии Ан-32 – яркий показатель надежности и качества продукции отечественной авиапромышленности, а по сути – имиджевая программа, которая подтверждает развитие взаимовыгодного сотрудничества с другими странами.

Мощная производственная база, современное оборудование, передовые авиационные технологии, профессионализм и высокий интеллектуальный потенциал работников, высокое качество услуг, которые предоставляются, дали возможность ГОСУДАРСТВЕННОМУ ПРЕДПРИЯТИЮ «ЗАВОД 410 ГА» зарекомендовать себя как ремонтное авиапредприятие, которое эффективно работает и заслужено занимает ведущие позиции в области ремонта и модернизации авиатехники.

На протяжении многих лет предприятие выполняет полный технологический цикл капитального ремонта самолетов Ан-24, 26, 30, 32 и авиационных двигателей Д-36 серии 1, 1А, 2АК для самолетов Як-42, Ан-72, 74, ремонт агрегатов авиатехники, а также работы связанные с восстановлением авиационных деталей. Практика проведения ремонта и комплекса работ по продлению ресурсов самолетов типа «Ан», показывает что, несмотря на «солидный» возраст самолетов продлить их жизненный цикл есть все потенциальные возможности и они, далеко не исчерпаны. На базе летно-испытательного эксплуатационного комплекса проводят все виды технического обслуживания ремонтированной техники, а также контрольно-восстановительное обслуживание (КВО) Ан-72, контрольно-восстановительные работы (КВР) Ан-74.

На предприятии разработана новая технология ремонта самолетов совместно с учеными Национального авиационного университета. Самолет, который поступает на ремонт, согласно разработанной методики диагностирования, проходит контроль, на основании которого выполняют соответствующие работы и оценивают техническое состояние силовых элементов конструкции самолета. После замены изношенных деталей, агрегатов и узлов проводят необходимую доукомплектацию и совместно со специалистами Госу-

дарственного предприятия «Антонов», определяют возможность его последующей эксплуатации в пределах межремонтного ресурса.

Для выполнения работ по капитальному ремонту, модернизации, переоборудованию и технического обслуживания самолетов типа «Антонов» завод имеет сертификаты международного авиационного комитета, украинских национальных авиационных властей, сертификат соответствия российских авиационных властей.

Система качества на заводе сертифицирована по международным стандартам серии ISO и аэрокосмического комплекса AS/EN. Для обеспечения ремонта военных самолетов предприятие имеет сертификат стандарта НАТО – AQAP 2120 и лицензию Минпромполитики на ремонт военной техники.

Разработан метод интегрированной сквозной подготовки производства и изготовления деталей штампов, основанных на последовательном исполнении действий по формированию заказов, подготовки конструкторско-технологической документации, изготовлению деталей.

Метод заключается в следующем:

- заказ формируется по типоразмерам, что позволяет значительно увеличить количество деталей у партии (10, 50, ..., 100 деталей). Эти партии деталей штамп-заготовок планируются полностью для изготовления каждому работнику. В этом случае подготовительно-заключительное время, которое для отдельной детали может быть больше основного (машинного) времени для партии будет минимальным;

- подготовка конструкторско-технологической документации проводится не для каждой детали, а для типоразмера деталей штампа (штамп-полуфабрикатов), который включает блок (верхняя и нижняя плиты, направляющие колонки, втулки, хвостовик), а также пакет, который в свою очередь имеет формообразующие детали (матрицу, пуссон-матрицу, пуссоны) и сопряженные детали (съемник, выталкивач);

- производство штамп-полуфабриката производится для всей партии типоразмера, а не для каждой детали штампа;

- доработка пакетов штамп-полуфабрикатов, которые входят в соответствующий блок и выполняются на автоматизированном технологическом оборудовании.

Предлагается для начала отдельного производить штамп-заготовки (полуфабрикаты): блоки по типоразмерам и заготовки пакетов в эти блоки, которые не привязаны к конкретной штампируемой детали. Эти комплексы штамп-заготовок (полуфабрикатов) хранятся отдельного до тех пор, пока не будут дорабатываться пакеты для конкретных деталей.

Доработка пакетов в соответствующий блок выполняется с помощью интегрированной системы автоматизированной подготовки производства и изготовления штампов (сквозная автоматизация): от кодирования штампируемой детали – подсистема «Раскрой» – «Конструктор» – «Технолог» – «Оператор» – «Черчение» – «Печать» до выдачи управляющих программ для станков численно-программного управления (ЧПУ) (рис. 1).

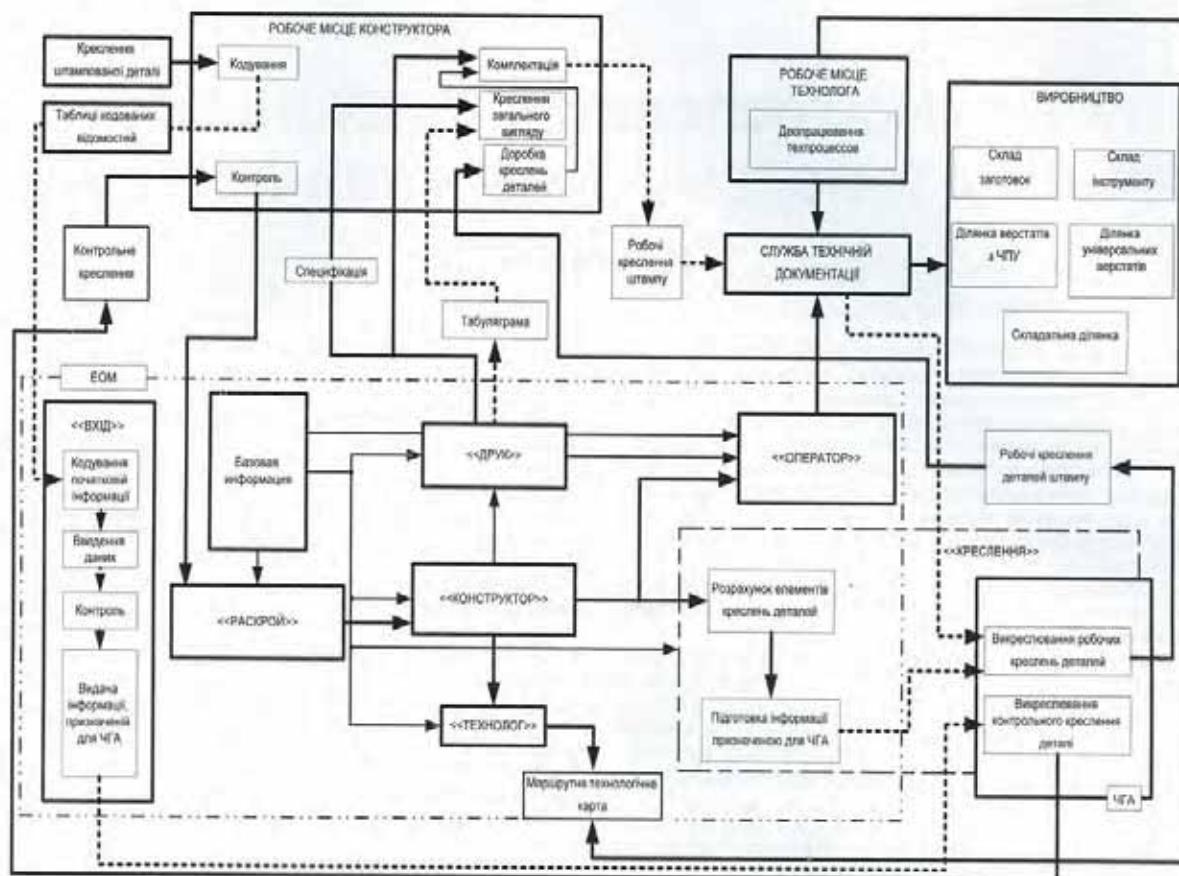


Рис. 1. Интегрированная система автоматизированной подготовки производства и изготовления штампов

Основой автоматизированной системы подготовки производства являются типовые высокоунифицированные конструкции холодно-штамповой остинасти, применение цеховых персональных электронно-вычислительных машин (ПЭОМ), которые управляют станками с ЧПУ.

Подсистема «Оператор» предназначена для формирования управляющих программ производства деталей штампов на станках с ЧПУ. Выходная информация этой подсистемы – номер контура, который обрабатывается, диаметр фрезы, массивы геометрической информации о деталях штампа, режимы резания и координаты.

Предложенный метод позволяет последовательно выполнять следующие основные действия:

- формирование заказов на изготовление штампов по типоразмерам;
- управление подготовкой производства деталей штамп-полуфабрикатов при использовании сквозной компьютерной технологии;
- производство деталей штампов на станках с ЧПУ, которые управляются цеховыми ПЭВМ. При этом значительно сократить трудоемкостные производства штампов за счет комплектации деталей штампов по типоразмерам – таким образом увеличивать парии деталей, которые изготавливаются;
- доработка пакетов штампов в соответствующий блок для штампируемой (заказанной) детали. ■

#### Література

1. Подреза С.М. Предпосылки диверсификации авиаремонтного производства / С.М. Подреза // Транспортный комплекс Украины. Экономика, организация, развитие: Сб. науч. тр. – 2001. – Вип. 9 – 10. – С.-97-106.
2. Подреза С.М. Место авиаремонтного производства в послепродажном обслуживании авиационной техники / С.М. Подреза, А.С. Гурин // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури: Зб. наук. пр. – 2002 – С.18-23.
3. Игнатов В. А., Конохович Г. Ф., Уланский В. В. Принципы построения и эксплуатации систем связи воздушных судов. – Киев: КИИГА, 1988. – 171 с.
4. Квасников В.П. Теорія вимірювання об'єктів із складною просторовою поверхнею // Прогресивні технології та системи машинобудування. Збірник наукових праць Донецького державного технічного університету. Донецьк. ДонДТУ. – 2002. – № 4. – С.19-21.
5. Квасников В.П. Математическая модель измерения объектов со сложной пространственной поверхностью на трехкоординатной информационно-измерительной системе // Вестник Днепропетровского государственного университета. – 2002. - №3. – С.23
6. Квасников В.П. Оптимізація структури вимірювального комплексу механічних величин // Збірник наукових праць Севастопольський державний технічний університет. Серія “Оптимізація виробничих процесів”. – 2003. – Вип 1. – С. 26-29.

С.Р. Ігнатович, д.т.н.  
С.М. Подреза, д.е.н.

# Методологія діагностування та оцінки технічного стану авіаційної техніки за критеріями міцності

Представлено матеріали, які підтверджують перспективність та ефективність застосування методів вібраакустичної діагностики для оцінки стану елементів конструкцій, виготовлених з алюмінієвих сплавів. На основі використання методу вільних коливань було розроблено вимірювальну систему і методику вібраакустичної діагностики тріщиноподібних дефектів елементів конструкцій авіаційної техніки з композитних матеріалів.

Для підвищення ефективності експлуатації авіаційної техніки, підтримки її надійності, забезпечення ресурсу, зменшення витрат на технічне обслуговування і відновлення одним з пріоритетних напрямків є вдосконалення, розроблення та впровадження нових методів і засобів діагностування та контролю технічного стану елементів конструкцій авіаційної техніки. Вирішення проблеми діагностики та контролю є важливим для усього життєвого циклу літального апарату, особливо при виконанні технічного обслуговування та при відновленні.

Більшість з поширеніших на сьогодні методів технічної діагностики є методами неруйнівного контролю, дефектоскопії. Вони використовуються для пошуку та ідентифікації можливих дефектів у об'єктах контролю, а також для прогнозування розвитку пошкодження в майбутньому. Технічна діагностика використовує тільки ті методи та засоби для визначення технічного стану об'єкту, які не призводять до пошкодження та руйнування його елементів.

Вібраційна та вібраакустична діагностика – це напрямки в технічній діагностиці, які використовують в якості діагностичної інформації коливальні процеси: механічні коливання, змінні деформації, акустичні коливання в твердих, рідких та газових середовищах тощо. Ефективність вібраційних та вібраакустичних методів зумовлена такими їх особливостями:

- різноманітність фізичної природи вібраційних і вібраакустичних сигналів та їх висока інформативність;
- широкий частотний діапазон сигналів;
- простота перетворення вібраційних та акустичних сигналів у електричні;
- можливість застосування сучасних методів цифрової обробки діагностичної інформації;
- можливість автоматизації процесів отримання, перетворення, обробки та аналізу діагностичних сигналів.

Одними з найбільш теоретично досліджених та поширеніших на практиці методів вібраційної та вібраакустичної діагностики елементів конструкцій є низькочастотні (0-25 кГц) методи вільних та вимушених коливань, що полягають в збудженні вільно згасаючих чи резонансних вимушених коливань ОК та подальшому аналізі їх параметрів і характеристик. Для діагностики використовуються інтегральні та покальні варіанти методів, за якими аналізуються коливання ОК як єдиного цілого чи окремої його частини.

Експлуатація та випробування літальних апаратів, їх двигунів та систем супроводжуються вимушеними та резонансними коливаннями. Тому більшість несправностей та дефектів в елементах конструкцій ЛА або безпосередньо викликаються коливаннями, або ж знаходять в них своє відображення.

Для авіаційних двигунів (АД) методи вібраційної та вібраакустичної діагностики використовуються для вирішення таких задач:

– оцінка технічного стану двигуна та його елементів, виділення несправностей на початку їх розвитку – на етапі стендових випробувань та в процесі доведення двигуна;

– оцінка вібраційного стану двигуна та його елементів для попередження несправностей, що викликаються коливаннями – на всіх етапах виробництва, технічного обслуговування, відновлювальних випробувань та експлуатації.

В останньому випадку забезпечується оцінка та прогнозування динамічного навантаження конструкції, визначення і оцінка небезпечних дій на елементи конструкції та їх небезпечних коливань, оцінка факторів, що впливають на коливання, оцінка й прогнозування стійкості елементів конструкції двигуна до збуджуваних коливань, розпізнавання вібраційних процесів та ідентифікація двигуна як динамічної системи.

Висока ефективність даних методів діагностики підтверджена їх широким застосуванням для визна-

чення неврівноваженості обертових деталей, дефектів опор роторів, зубчатих передач, насосів, пошкоджені та відриву попаток робочих коліс, зносу елементів конструкцій, підвищених пульсацій тиску в газоповітряному тракті, вібраційного горіння та ін.

Діагностика тріщиноподібних пошкоджень елементів конструкцій на основі методу вільних коливань. Метод вільних коливань (МВК) є ефективним методом вібраційної та віброакустичної діагностики як металевих елементів конструкцій, так і виробів з неметалевих матеріалів з малими модулями Юнга. Для ударного збудження пружин коливань в ОК використовуються такі основні способи: механічний (електромеханічний); п'єзоелектричний; електромагнітно-акустичний; газодинамічний; оптичний. Для прийому пружин коливань використовують п'єзоелектричні приймачі і мікрофони. П'єзоелектричні приймачі контактиують з ОК та сприймають коливання безпосередньо від нього, а в перетворювачах з мікрофонними приймачами пружин коливання об'єкту випромінюють акустичні коливання, які передаються до мікрофону через повітря.

Таким чином, процес вібраційної чи віброакустичної діагностики за МВК являє собою процес отримання інформації про вільні коливання ОК (імпульсний відклика) з подальшою їх обробкою, аналізом та прийняттям рішення про стан ОК.

Для металевих елементів конструкцій АТ найбільш розповсюдженими пошкодженнями є втомні тріщини, корозія, порушення з'єднань, розтріскування внаслідок корозії під напруженням тощо. Для неметалевих елементів конструкцій найчастіше зустрічаються забоїни, розшарування матеріалу та порушення з'єднань. Зазначені пошкодження викликають зміни у вільних коливаннях контролюваного об'єкту, які можна виявити за результатами обробки вимірювальних вібраційних та/або акустичних сигналів [1-7]. Найбільш ефективними для обробки діагностичної інформації та виділення діагностичних ознак дефектів є такі методи:

- спектральний аналіз, що дозволяє встановити змінювання спектральної щільності потужності (СЩП) вільних коливань ОК за наявності втомної тріщини;

- спектральне оцінювання за алгоритмом множинної класифікації сигналів MUSIC (multiple signal classification) з високою роздільною здатністю для спектральної обробки багатоскладових сигналів і виділення вузькосмугових складових на фоні широкосмугового вимірювального шуму;

- метод Проні для оцінювання затухання вузькосмугових інформативних складових вимірювальних сигналів (при апроксимації  $N$  – точкової множини даних  $q$ -членною моделлю комплексних експонент);

- оцінювання відносних безрозмірних характеристик вимірювальних вібраційних (віброакустичних) сигналів (коєфіцієнтів форми, імовірності, імпульсності та фону), які інваріантні до інтенсивності ударного збудження ОК;

- використання спектральних характеристик вищих порядків (біспектри, триспектри) для виділення пов'язаної з пошкодженням нелінійності ОК та зменшення впливу вимірювальних завад на діагностичні ознаки;

- частотно-часовий аналіз на основі перетворень Вінера-Вілля та Чой-Вільямса для часової локалізації спектральних складових вимірювального сигналу;

- масштабно-часовий аналіз на основі Вейвлет-перетворення з можливістю одночасного дослідження швидкоплинних сигналів та аналізу повільних змінювань сигналів, обробки покально та суттєво нестационарних діагностичних сигналів.

В роботі [9] наведено результати експериментальних досліджень МВК для діагностики металевих елементів конструкцій ЛА. Для експериментальних досліджень використовувались контролювані металеві зразки прямокутного перерізу (матеріал Д16, сталь 65Г (ХВГ) і сталь 5) для таких станів: без дефектів; з концентратором дефекту; з втомною тріщиною. Для отримання, перетворення, запису та обробки акустичних коливань, що випромінюються контролюваними зразками при їх ударному збудженні, використана вимірювальна система, до складу якої ввійшли електродинамічний мікрофон МД 52Б-II і персональний комп'ютер з розробленим програмним забезпеченням. Для обробки інформації використано спектральний аналіз (визначалась частота основної гармоніки та відношення значення СЩП основної гармоніки  $S_1$  до значень СЩП вищих парних гармонік (другої  $S_2$  та четвертої  $S_4$ )), а також метод Проні (визначався коєфіцієнт згасання на основній гармоніці  $\alpha_1$ ). Усереднені результати обробки для двох контролюваних зразків наведено в табл. 2.3.

Результати експериментальних досліджень показали, що наявність концентратора дефекту та збільшення тріщини призводять до таких змін у вимірюваних віброакустичних сигналах: зменшується власна частота, з'являються та зростають складові СЩП на вищих парних гармоніках, збільшується коєфіцієнт згасання на основній гармоніці. Все це підтверджує ефективність віброакустичного МВК для діагностики малих втомних тріщин у металевих елементах конструкцій ЛА.

Як відомо, пошкодження, які є на субмікро- та мікроструктурному розмірних рівнях металевих матеріалів (дислокаційні субструктури, вакансії, пори, мікротріщини) об'єктивно призводять до змінювань пружин та не пружин характеристик матеріалів при тривалій дії навантажень.

В роботах [8-10] досліджено можливості МВК для діагностики втомної пошкодження сплаву Д16АТ на стадії структурних змін до формування тріщини міліметрової довжини. Як об'єкти контролю використані плоскі зразки двох видів – без концентратора (корсетного типу) та з концентратором (центральний отвір діаметром 4 мм). Випробування проводились на сервогідравлічні машині з комп'ютерним керуванням Bi-00-202V (розробка фірми BiSS, Бангалор, Індія) з використанням додаткового програмного забезпечення, яке підтримує адаптивний контроль для зменшення похиби при випробуваннях за схемою «м'яке навантаження». Контрольовані зразки піддавались циклічному навантаженню розтягом з частотою 12 Гц, для корсетного зразку максимальне напруження циклу складало 200 МПа, а для зразку з концентратором – 120 МПа. Перед навантаженням та періодично в процесі циклічного наробітку зразки проходили віброакустичний контроль за МВК. Для вимірювальних віброакустичних сигналів визначались відносні безрозмірні характеристики – безрозмірні амплітудні дискримінанти (БАД).

При випробуванні зразку корсетного типу отримано, що значення БАД змінюються при збільшенні чис-

ла циклів навантаження. Відносні залежності середніх значень досліджуваних БАД (по відношенню до їх значень до навантаження) наведено на рис. 1. Всі коефіцієнти значно змінюються на першому етапі навантаження, найбільші змінювання мають коефіцієнти імпульсності і фону. Корсетний зразок не доводився до руйнування, при  $N=2 \times 10^4$  циклів навантаження на поверхні зразку виявлено мікро тріщини. Для цього стану характерним є значне збільшення коефіцієнту імовірності С. Отримані результати дають підставу стверджувати, що зміна коефіцієнтів зумовлена структурними перетвореннями в матеріалі контролюваного об'єкту.

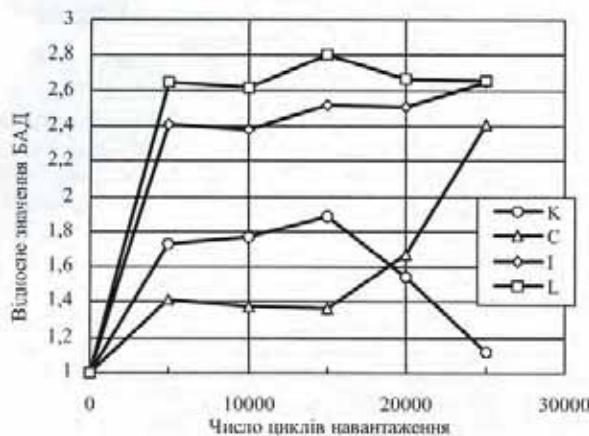


Рис. 1. Графіки залежності відносних значень БАД корсетного зразку від числа циклів навантаження.

Змінювання БАД з числом циклів навантаження для зразку з концентратором в загальному випадку подібні до залежностей, отриманих для імпульсності і фону (рис.2). Перша тріщина з одного боку отвору утворилася при  $N=6,08 \times 10^4$  циклів, а друга, з іншого боку – при  $N=7 \times 10^4$  циклів навантаження.

Представлені результати свідчать про перспективність та ефективність вібраакустичної діагностики для оцінки стану елементів конструкцій з алюмінієвих сплавів при циклічному навантаженні.

На основі використання МВК було розроблено вимірювальну систему і методику вібраакустичної діагностики тріщиноподібних дефектів елементів конструкцій АТ з композитних матеріалів [9, 10].

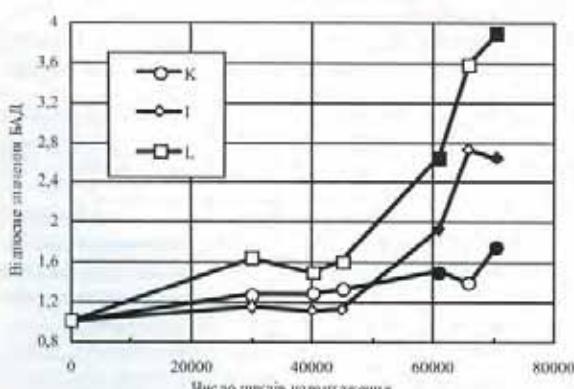


Рис. 2. Графіки залежності відносних значень БАД зразку з концентратором від числа циклів навантаження

У якості ОК використано елементи конструкції змінного профілю з надміцного склопластику, виготовленого на основі склопакету з епоксидно-фенольним наповненням. Експериментальні дослідження проведено для бездефектного стану зразків та при штучному внесенні тріщиноподібних пошкоджень типу розшарування з відносними розмірами від 0,005 до 0,01. Для експериментальних досліджень була розроблена вимірювальна система на основі персонального комп'ютера (ПК) та перетворювача сигналів дефектоскопу ИАД-3. В ПК вбудовано генератор сигналів, з яким пов'язаний перетворювач дефектоскопу, встановлено спеціальне технологічне програмне забезпечення (ПЗ) для збудження в перетворювачі електричних сигналів довільної форми та запису в реальному часі сигналів від п'єзоелектричного приймача вібраакустичних коливань ОК. Приймач встановлювався у довільно вибраних точках поверхні об'єкту, для реєстрації та запису інформації використовувалася звукова карта ПК. Для обробки діагностичної інформації використано ПЗ на основі спектрального та частотно-часового аналізу. На рис. 3 наведено вікно стандартизованого ПЗ, керування процесами запису коливань, їх обробки та візуалізації результатів відбувається в інтерактивному режимі.

У правому нижньому куті відображається часова реалізація вимірюваного сигналу (вільні згасаючі коливання), у лівому нижньому куті – традиційна форма амплітудного спектру коливань. У вікнах верхньої частини представляються результати частотно-часового перетворення, причому у тривимірному поданні (верхній лівий кут) є частина частотно-часового спектру, що характеризує потрапляння ударного пристрою в дефектну область ОК.

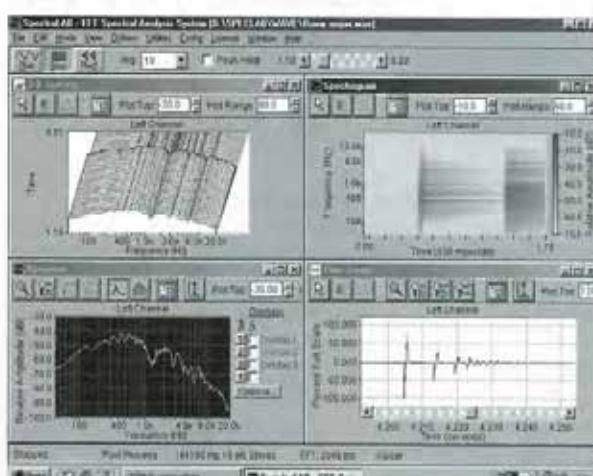
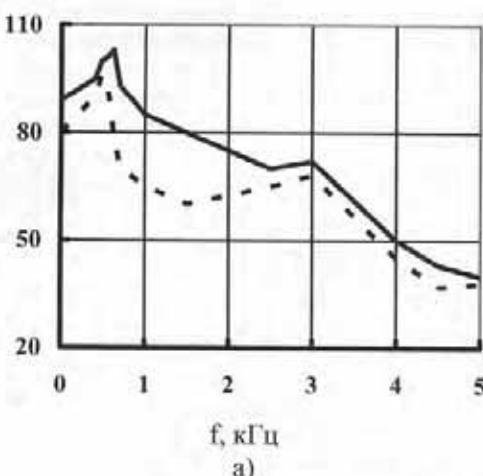


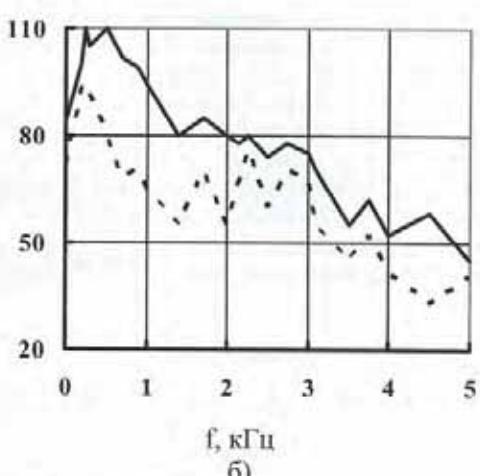
Рис. 3. Вікно стандартизованого програмного забезпечення ПК

Для підвищення ефективності виявлення початкових дефектів розшарування спектральними методами було проведено спектральне оцінювання за алгоритмом множинної класифікації сигналів MUSIC [10]. Цей алгоритм відноситься до класу методів спектральної обробки, що ґрунтуються на аналізі власних значень авто кореляційної матриці  $R_p$ :

$$R_p = \sum_{i=1}^M (\lambda_i + \rho_w) v_i v_i^H + \sum_{i=M+1}^{p+1} \rho_w v_i v_i^H$$

P<sub>MUSIC</sub>(f), дБ

a)

P<sub>MUSIC</sub>(f), дБ

б)

Рис. 4. Спектральні оцінки за методом MUSIC вільних коливань неметалевих зразків без дефекту (суцільні лінії) та з дефектом (пунктирні лінії) для значень розмірності підпростору власних векторів:  
а)  $p=16$ ; б)  $p=64$

де  $\lambda_i$ ,  $v_i$  – відповідно власні значення матриці та власні вектори;  $v_i^H$  – спряженний власний вектор;  $p$  – розмір простору власних векторів;  $M$  – розмір підпростору сигналів (головних власних векторів);  $\rho_w$  – дисперсія адитивного білого шуму.

Інформацію, що знаходитьться в автокореляційній матриці (матриці даних), можна розділити на два підпростори – підпростір сигналу ( $i=1, M$ ) та підпростір шуму ( $i=M+1, p+1$ ). Використання власних векторів підпростору шуму дозволяє отримати спектральні псевдо оцінки вузькосмугових складових сигналу з високою роздільною здатністю:

$$P_{MUSIC}(f) = \left[ e^H(f) \left( \sum_{k=M+1}^p v_k v_k^H \right) e(f) \right]^{-1}$$

де  $e(f)$  – вектор комплексних синусоїд.

Результати спектрального оцінювання вимірюваних вібраакустичних коливань наведено на рис. 4. Для обробки використано вибірку з 2048 точок (період дискретизації  $10^{-4}$  с) зі зважуванням за допомогою вікна Хеммінга, обробку виконано для двох значень розмірності підпростору власних векторів:  $p=16$  і  $p=64$ . Як видно, збільшення розмірності підпростору власних векторів підвищує роздільну здатність спектрального аналізу та підвищує ефективність діагностики.

Представлені матеріали підтверджують ефективність застосування методів вібраакустичної діагностики для оцінки стану елементів конструкцій авіаційних деталей. На основі використання методу вільних коливань розроблено вимірювальну систему і методику вібраакустичної діагностики тріщиноподібних дефектів елементів конструкцій авіаційної техніки з композитних матеріалів.

#### Список літературних джерел

1. Квасников В.П. Автоматичний контроль якості прецизійних авіаційних деталей / В.П. Квасников, Л.М. Покидко // Методи та прилади контролю якості. – 2010. – № 33 – С. 109 – 111.
2. Квасников В.П., Баранов А.Г. Новая методика метрологической аттестации биканальной координатно-измерительной машины // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Хмельницький, 2006. – №1. – С.7.
3. Квасников В.П., Борковская Л.А. Интеллектуальная система контроля геометрических параметров деталей газотурбинных двигателей // Авиационно-космическая техника и технология.- Харків. – 2006. – № 30 /36. – С. 130-133.
4. Квасников В.П., Ильченко В.П. Разработка оптической измерительной системы трехмерного контроля сложных пространственных поверхностей на основе новых компьютерных технологий // Збірка наукових праць Донецького національного технічного університету: серія „Обчислювальна техніка та автоматизація“. - 2006. – Вип. 107. – С. 176-180
5. Бабак В.П. Методология автоматизированного проектирования вимірювальних технічних засобів інтегрального призначення / В.П. Бабак, В.П. Квасников, В.Ю. Ларін // Вісник НАУ. – 2007. – № 3(32). – С. 3-5.
6. Mathematical model of the precise large dimension details measurement on the new information technology basis last line / Borkovskaya, Lubov Alexeevna,(UKR), Kvasnikov, Vladimir Pavlovich, (UKR), Mike's, Josef (CZ) // – APLIMAT 2008.– Faculty of Mechanical Engineering–Slovak University of Technology in Bratislava.–7 р.
7. Квасников В.П. Оптичні датчики вимірювання геометричних розмірів складних просторових поверхонь // Прилади та методи контролю якості. – 2003. – №1. – С. 61-63.
8. Игнатович С.Р., Бурау Н.И., Юцкевич С.С. Выбраакустическая диагностика усталостной поврежденности образцов из алюминиевого сплава / Авиационно-космическая техника и технология: Вип. 9 (45) – Харьков: ХАИ, 2007 – С. 124-128.
9. Игнатович С.Р., Бурау Н.И., Шмаров В.Н., Юцкевич С.С. Методика вибраакустического контроля усталостной поврежденности образцов из алюминиевого сплава // Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики: XV Междунар. конф. Ялта, 8-12 октября, 2007 г. – Киев: УИЦ, 2007 – С. 40-50.
10. Игнатович С.Р., Бурау Н.И., Закиев И.М., Козан А.Д. Выбраакустическая диагностика неметаллических элементов конструкций летательных аппаратов / Авиационно-космическая техника и технология: Вип. 10 (36) – Харьков: ХАИ, 2006 – С. 7-10.

**Л.С. Брижик, доктор фізико-математичних наук  
Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН  
України**

**П.І. Голод, доктор фізико-математичних наук  
Національний університет «Києво-Могилянська академія»**

## СОЛІТОНИ І НЕЛІНІЙНІ ЯВИЩА У ФІЗИЦІ

Дається стислий аналіз нелінійних хвиль та солітонів в різних фізичних системах. Зокрема, описано давидовські солітони в макромолекулярних системах та їх динамічні властивості під дією зовнішніх полів, а також можливі біологічні наслідки такого впливу.

**Ключові слова:** нелінійні хвилі, солітони, електромагнітне поле, самоорганізація

Частіше думай про взаємопов'язаність усього, що є у світі, та про відношення одного до іншого.

Тому що деяким чином усе переплітається одне з іншим і тому усе міле одне іншому. Адже одне іншому співподібне, а це завдяки напруженому руху, единодиханню та єднанню єсства.

(Марк Аврелій Антонін. Роздуми. Шоста книга.  
Переклад з: Марк Аврелій Антонін. Розмислення. Ізд-во  
«Наука», Ленінград, 1985 р., 246 стр., стр. 33)

Пізнати світ в цілому, з урахуванням усіх видимих і невидимих зв'язків та впливів вкрай важко, а здебільшого просто неможливо. Традиційний спосіб пізнання – це розчленування досліджуваного об'єкта чи явища на частини, виокремлення простих фрагментів, які піддаються осмисленню. Для цих простих фрагментів наша уява може запропонувати спрощені моделі поведінки. Ці моделі ми, з деякими незначними поправками, переносимо на систему «в цілому», керуючись принципом адитивності, тобто простого додавання тих чи інших якостей. Наука загалом і фізика зокрема розвивалися шляхом зведення складного до більш простого, виділення із складного явища найхарактерніших і найважливіших його ознак та побудови відносно простої моделі, що задовільно описує їх. Таким чином, наприклад, у фізиці з'явилися поняття ідеального газу, гармонічного осцилятора, поняття «системи» та «термостату» тощо. Через труднощі математичного характеру у більшості задач вважається відхилення системи від її основного стану невеликим, доводиться нехтувати впливом інших ступенів вільності на саму систему, наприклад, вважати, що термостат впливає на систему, але сам при цьому не змінюється, і т. ін. Користуючись гармонічним наближенням або розбиваючи складну систему на підсистеми і нехтуючи взаємодіями між її частинами, ми «лінеаризуємо» задачу. Цей термін відбиває принцип адитивності та принцип подібності виділеного фрагменту до системи в цілому і математично означає, що відповідні рівнян-

ня є лінійними стосовно функцій системи. Для вивчення впливу зовнішніх чинників, інших ступенів вільності чи відхилення системи від гармонічного наближення користуються теорією наближень, яка, при правильно побудованій моделі, дає поправки, що уточнюють характеристики нульового наближення.

Такий підхід виявився досить ефективним не лише у фізичних дослідженнях, а й у філософії пізнання в цілому: світ збирався з окремих невзаємодіючих цеглинок на зразок викладання мозаїки. Але вже у XIX столітті вчені зіштовхнулися з цілою низкою явищ, коли система в цілому має властивості, які не можна вивести, знаючи поведінку її окремих частин. Найперше це стосувалось теорії фазових переходів (зміна агрегатного стану речовини при зміні температури або тиску). Чому такими різними є лід, вода і водяна пара, хоча складаються вони з однакових молекул  $H_2O$ ? Це, як і багато інших явищ, не можна описати в жодному наближенні теорії збурень, а тому довелося принципово переглянути метод «лінеаризації» досліджуваних складних явищ.

В XIX столітті сталася подія, що справила величезний вплив на розвиток фізики у наступному ХХ і нинішньому ХХІ столітті і започаткувала нову епоху дослідження нелінійних явищ. В серпні 1834 році шотландський вчений і інженер Джон Скотт Рассел спостеріг і описав надзвичайне явище: утворення і рух надзвичайно стійкої поодинокої хвилі. Ось як він описав свої враження (див., напр., [1,2]):

«Я спостерігав за рухом баржі, яку швидко волокли вздовж вузького каналу пара коней. Коли баржа раптово зупинилася, вся маса води в каналі завириувала; вода зібралась біля носа баржі, потім раптово відірвала від нього і покотилась вперед з великою швидкістю, набувши вигляду великого усамітненого горба. Округлий, гладкий, чітко окреслений горб води рухався вздовж каналу, не змінюючи форми і не втрачаючи швидкості. Я кинувся за цією хвилею верхи на коні і коли дотягав її, то вона все ще рухалась зі швидкістю біля 8-10 миль на годину, зберігаючи початкову форму. Висота горба поступово зменшувалася і після одної чи двох миль погоні, усамітнена хвиля згубилась у згинаках каналу».

Таку хвилю було запущено у тому ж самому каналі в Единбурзі у 1995 році під час Міжнародної конференції, тільки для її створення було використано моторний човен (див. фото).



Хвилю, яку описав Скотт Рассел, не можна описати простим хвильовим рівнянням, яким досі і цілком успішно описували гармонічні хвилі малої амплітуди на поверхні води (а також гармонічні коливання струни, поширення звуку і т.д.). В 30-х роках ХХ століття з появою перших обчислювальних комп'ютерів американська вчена Марія Цінгу, за пропозицією Фермі, Паста та Улама, на одній з перших обчислювальних машин провела чисельне моделювання системи гармонічних осциляторів зі слабким кубічним ангармонізмом. Виявилось, що в такому ланцюжку не відбувається "термалізація" (прямування до рівноважного розподілу) початкового збурення, а навпаки, виникають стійкі локалізовані моди, подібні до усамітненої хвилі, яку спостерігав Скотт Рассел. Ця задача ввійшла в науку під назвою проблеми Фермі-Паста-Улама (див., напр., [1,2]). Стало зрозумілим, що як раз нелінійність є причиною утворення таких локалізованих станів, які, за пропозицією Забуські та Крускала, набули назви "солітонів" (від англійського *solitary* – одинокий, усамітнений). З часом солітони було знайдено в багатьох інших явищах: в нелінійній оптиці, в магнетиках (доменні граници та магнітні вихори), плазмових системах, у звичайних та надплінних рідинах, в атмосферних явищах, тощо. Яскравим прикладом солітона є цунамі – хвilia, що розповсюджується на сотні кілометрів без дисипації енергії, віддаючи всю енергію «залпом» при руйнуванні на береговій смузі.

Може виникнути питання: чому фізики і математики кинулися досліджувати солітонні явища лише у 60-70

роках минулого століття, тобто майже через 135 років після відкриття Скотта Рассела. Причина цього запізнення зрозуміла – відсутність адекватного математично апарату. Щойно він з'явився, як нові науки – «фізика нелінійних явищ» та «нелінійна математична фізика» почали бурхливо розвиватися. Незважаючи на різномайданчик систем і фізики нелінійних явищ, математичний апарат виявився досить універсальним і в цілому ряді випадків дозволив побудувати точні розв'язки. Як вже зазначалося, ці розв'язки відсутні у відповідних лініаризованих рівняннях і їх не можна побудувати за теорією збурень. Але маючи їх, далі можна застосовувати нелінійну теорію збурень, наприклад, при врахуванні більш складної геометрії системи, при вивчені впливу на солітони зовнішніх полів або їх динамічної стійкості. При цьому стало зрозумілим, що природою стійкості солітонів є баланс між протилежно діючими чинниками: тенденції хвилі до розливання через її дисперсію та тенденції до локалізації (фокусування) через нелінійність.

У цих дослідженнях українська наука виявилася на передньому фронті. В Україні виникло декілька потужних наукових груп, дослідження яких набуло світового визнання. Було отримано не лише суто теоретичні результати, а й знайдено багато практичних застосувань, що сприяло подальшому розвитку фундаментальних досліджень. До цих досліджень доклав зусиль і наш авторський колектив, підсумки результатів яких викладено в нашему циклі робіт «Нелінійні хвилі та солітони у фізиці конденсованих середовищ», висунутому Інститутом магнетизму Національної академії наук України на здобуття державної премії України в галузі науки та техніки у 2012 р. До авторського колективу циклу крім авторів цієї статті входять відомі вчені Є.Д. Білокопос, О.В. Золотарюк, Я.О. Золотарюк, Б.О. Іванов, Ю.С. Ківшар, О.С. Ковалев, О.К. Колежук та В.О. Ямпольський, які представляють декілька наукових закладів України. Цей цикл є міждисциплінарним дослідженням нелінійних явищ у фізичних та біологічних системах. Він підсумовує результати теоретичного вивчення властивостей нелінійних хвиль та солітонів, що має важливі наслідки, відкриваючи нові перспективи застосувань у сучасних технологіях та розширяючи наше знання процесів у живій матерії. На підставі проведених нами досліджень знайдено солітонні розв'язки та встановлено специфічні властивості нелінійних солітон-подібних станів в широкому колі фізичних та біологічних систем, зокрема, в магнетиках, нелінійних оптических системах, низькорозмірних молекулярних ланцюжках, системах з водневими зв'язками та інших, а також вивчено наслідки впливу зовнішніх чинників на солітонні стани. Ці фундаментальні дослідження заклали основи нових наукових напрямів. Зокрема, це магноніка, що базується на застосуванні дискретних мод коливань спінів магнітних наночастинок для створення спін-хвильових пристрій обробки інформації; це фемтомагнетизм, що базується на можливості надшвидкого маніпулювання магнітним моментом малих частинок за допомогою фемтосекундних лазерних імпульсів; це спін-троніка – використання спін-поляризованого струму, що дає можливість використовувати в роботі електронного приладу не лише заряд, але й магнітний момент (спін) електрона. Отримані результати відкривають можливість керування на мікроскопічному рівні процес-

сами транспорти електронів та їх спіновими станами за допомогою зовнішніх статичних та змінних полів, можливість створення керованих струмом пристройів оперативної пам'яті комп'ютерів, а також створення нового типу надвисокочастотних наногенераторів, що є актуальними проблемами мікро- та наноелектроніки та новітніх інформаційних технологій.

З іншого боку, ці фундаментальні дослідження виявилися актуальними для біофізики, медицини та екології. Вони проливають світло на розуміння процесів в живих організмах та встановлюють механізми впливу зовнішніх випромінювань на такі організми. Перш за все це важливо з точки зору обґрутування медичних застосувань низькоінтенсивних електромагнітних стимулів, що широко використовується в сучасній світовій медицині як для профілактики, так і для лікування широкого кола захворювань. Це також обґруntовує необхідність принципово нового підходу до розробки безпечних норм зовнішніх електромагнітних полів, особливо з огляду на резонансний (тобто ефект має місце лише на певних частотах) нетепловий характер їх впливу на живе та синергетизм (тобто неадитивність в силу нелінійності) дії різних компонентів електромагнітного смогу зокрема та різних чинників забруднення оточуючого середовища в цілому.

Саме про біофізичні аспекти наших досліджень ми і розповімо докладніше. Започатковані вони були наприкінці минулого століття пionерськими роботами видатного вченого Олександра Сергійовича Давидова, який на той час очолював Інститут теоретичної фізики Академії наук Української РСР у м. Києві. Він зацікавився проблемою передачі енергії в біологічних системах, труднощі пояснення якої спричинили так звану «кризу біоенергетики», за визнанням загальних зборів Академії Наук Нью Йорку. Основною одиницею енергії в біологічних системах є енергія, що виділяється в результаті кінцевої реакції довгого ланцюжка біохімічних реакцій перетравлення їжі в організмі, а саме реакції гідролізу молекули аденоzинтрифосфату в аденоzинфосфат [3]. Ця енергія лише в 20 разів перевищує енергію теплових коливань атомів при кімнатній температурі. Відомі на той час теорії не могли пояснити ефективність перенесення цього невеликого кванту енергії, що виділяється в одному місці клітини, а використовується у віддаленому місці. Давидов вказав на істотний фактор, а саме, що білкові молекули можуть істотно полегшувати перенесення енергії. Справа в тому, що вони мають періодичну структуру, стабілізовану відносно слабкими водневими зв'язками, а отже, можуть легко деформуватися (зараз є цілий науковий напрям "Фізика м'якої речовини"). При цьому квант енергії накопичується у вигляді збудження хімічного зв'язку між киснем та вуглецем пептидної групи білку, яка складається з атомів водню, азоту, вуглецю та кисню, а це впливає на взаємодію між сусідніми пептидними групами – вони притягаються одна до одної, що і спричинює локальну деформацію білкової молекули. Така деформація є "потенціальною ямою" для самого збудження, притягуючи його. Утворюється зв'язаний стан молекулярного збудження і деформації ланцюжка, що описується нелінійним рівнянням, розв'язком якого є і солітон (див., напр., [4,5]). Саме в такому солітонному стані квант енергії і переноситься на протилежний кінець білка без дисипації енергії. Ці стани

набули назви Давидовських солітонів [5]. Таким чином, Давидов першим в історії науки дослідив в біології явище нелінійності та застосував поняття соліона. Дуже швидко ці революційні ідеї були підхоплені вченими в багатьох країнах та використані до пояснення широкого кола біологічних явищ. 26 грудня цього року світова наукова громадськість відзначатиме 100–річчя від дня народження О.С. Давидова. В жовтні цього року в Інституті теоретичної фізики імені М.М. Боголюбова НАН України з цієї нагоди буде проходити міжнародна конференція, на якій проблеми нелінійної фізики та біофізики будуть основними темами обговорень. А самому Давидовському солітону наступного року виповниться 40 років.

Успіхи нелінійної математичної фізики та теоретичної фізики нелінійних явищ наприкінці минулого століття, а також успішне використання набутих знань при технічному втіленні почали поступово змінювати всю філософію пізнання. Стало зрозумілим, що складні системи можуть принципово відрізнятися від складових простих підсистем, що багато явищ далекі від термодинамічної рівноваги та мають місце саме завдяки відкритості систем (взаємодії з оточенням, обміну з оточенням речовиною, енергією та інформацією), що є великий клас критичних явищ і т. ін. Зрештою, саме життя теж належить до такого класу явищ. Наприкінці 80-х років минулого століття відомий англійський вчений Герберт Фрольіх відвідав Академію наук України за запрошенням О.С. Давидова. Був проведений цілий ряд семінарів і круглий стіл, на яких обговорювалися питання біофізики з точки зору нелінійної квантової фізики. Під час цих обговорень було запропоновано термін «Фізика живого» (англійською мовою 'Physics of Alive' або 'Life sciences'), що відображає принципово новий підхід до вивчення живих організмів як до складних відкритих нелінійних систем, далеких від термодинамічної рівноваги.

В той час, як уся біоенергетика живого забезпечується енергією, виділеною в результаті гідролізу аденоzинтрифосфату, метаболізм живих систем (як тих, що мають органи дихання, так і тих, що мають систему фотосинтезу) базується на окислюально-відновлювальних процесах. Такі процеси супроводжуються виділенням вільних електронів та протонів від одного фермента до іншого, аж до кінцевої реакції зі зв'язуванням електронів з іонами кисню та синтезом молекул води [1]. Знову виникає питання: яким чином електрони проходять велику відстань, долаючи високі енергетичні потенціальні бар'єри? Наступні дослідження показали, що і в цих процесах істотна роль належить макромолекулам. Не лише квант енергії у вигляді молекулярного збудження, а й електрони (або заряди – це можуть бути і протони, і дірки – вакансії в валентній зоні кристалу) теж здатні деформувати молекулярні ланцюжки і утворювати зв'язані з деформацією солітонні стани. Математично такі стани описуються системою двох зв'язаних рівнянь для хвильової функції електрона та деформації ланцюжка, а сама деформація визначається ймовірністю знаходження електрона у відповідному місці. Тобто через молекулярний ланцюжок має місце самовзаємодія, що і призводить до автолокалізації квазічастинки (електрона або кванта молекулярного збудження). Така взаємодія між двома підсистемами – квазічастинкою та мо-

лекулярним ланцюжком – відіграє вирішальну роль у стабілізації квазічастинок і спричинює утворення солітону. Електрон у такому солітонному стані рухається когерентно як нелінійна хвиля вздовж ланцюжка без дисипації енергії.

Іншим важливим наслідком нелінійних мікроскопічних квантovих процесів є їх здатність викликати макроскопічні зміни в системі, тобто має місце конверсія мікропроцесів у макропроцеси. Так, наприклад, локальна деформація, розповідуючись як складова частина солітона, спричиняє коливання бокових груп макромолекул, що зумовлює макроскопічну зміну конформації. Це складає основу механізму взаємозв'язку 'структурно-функція', який надзвичайно важливий в біологічних процесах. Іще разу Давидов розвинув солітонний механізм скорочення м'язів. Наши дослідження показали, що у складних структурах (наприклад, за наявності кількох атомів в елементарній комірці, спіральності, як це має місце у білків та молекул ДНК, та ін.) інтервал параметрів, за яких можуть виникати солітони, суттєво розширяється. Понад те, може існувати декілька типів солітонних станів, так що енергія основного стану може бути набагато нижчою за енергію солітона у простому ланцюжку. Так, наприклад, нами показано, що час життя солітона з найнижчою енергією в альфі-спіральній білковій молекулі на декілька порядків перевищує час життя солітона в лінійному ланцюжку, що й пояснює експериментальні дані, отримані для ряду споріднених білкових структур.

Виявилось також, що солітони мають власну динамічну резонансну частоту по відношенню до зовнішнього електромагнітного поля, стосовно якої виділяються низькочастотний, високочастотний та резонансний режими впливу таких полів. Під дією періодичного поля солітон зазнає періодичних коливань з частотою поля; він залишається стійким як у низькочастотному, так і у високочастотному полі, а його динамічна маса є немонотонною функцією частоти. Такі коливання солітона та зміна його динамічної маси відображаються на окислювально-відновлювальних процесах (адже ці солітони утворені електронами, що виділяються та переносяться під час цих процесів), тобто впливають на метаболізм організму. Коли частота зовнішнього поля збігається з динамічною резонансною частотою солітона, він інтенсивно поглинає енергію поля та швидко «розвалюється» і переходить у незв'язаний стан вільного електрона, випромінюючи інтенсивно звукові хвилі. Це зумовлює резонансний (нетепловий) вплив слабких полів на транспорт електросолітонів, а отже, на метаболізм живих організмів. Варто відзначити, що ця властивість солітонів принципово відрізняє їх від вільних електронів, у яких такої динамічної резонансної частоти стосовно періодичного поля немає.

Отже, вивчення впливу електромагнітного поля на солітони вказує на можливість лікувального ефекту резонансних частот слабкої інтенсивності. І тут слід відзначити особливий аспект такої терапії – слабкість дії зовнішнього стимулу: слабкий зовнішній вплив не сприймається організмом як насилия ззовні, а тому не викликає реакції відчуждення, стану оголошення війни, він не має шкідливих наслідків. В той же час, цей ефект суттєво залежить від правильного вибору частоти. Адже на інших резонансних частотах випромінювання може викликати негативні наслідки. При-

чому знову ж таки мова йде про поля слабкої інтенсивності. Крім того, має місце кумулятивний ефект та синергетичність різних чинників. Це нові дослідження і треба докласти ще багато зусиль, щоб точно встановити біологічні наслідки впливу різних частот на різні організми та на різні процеси в живому. Але вже зараз очевидна необхідність принципової зміни підходу до визначення безпечних норм зовнішнього електромагнітного випромінювання.

Іншою принциповою властивістю електросолітонів є їх здатність випромінювати власне електромагнітне поле. Рух солітона у ланцюжку з вузла на вузол с рухом у періодичному потенціалі, а тому електросолітон рухається не рівномірно, а періодично прискорюється та сповільнюється. За законами електродинаміки таким рук зарядженої частинки супроводжується випромінюванням електромагнітного поля. Понад те виявляється, що це поле має дві складові – власне «польову» та радіаційну, що повільно спадає з відстанню. Радіаційна складова випромінювання – це набір гармонік, з частотою основної гармоніки, пропорційною середній швидкості електросолітона. Таким чином, власне електромагнітне випромінювання є функціонально (інакше кажучи, фізіологічно) залежним. Воно синхронізує процеси транспорту електронів: електросолітони, обмінюючись цим випромінюванням, впливають один на інший і починають рухатися з однаковими швидкостями, що й означає само-індуковану синхронізацію окислювально-відновлювальних процесів та метаболізму в цілому. Окрім того, у системі встановлюється когерентність, оскільки рухаючись з однаковими швидкостями, солітони випромінюють і власне випромінювання з однаковими частотами (в унісон, когерентно). Внаслідок такої когерентності випромінювання стає макроскопічним, адже його інтенсивність тепер пропорційна квадрату числа електросолітонів, а не просто їх числу, а воно визначається інтенсивністю метаболізму організму. Таким чином, завдяки власному електромагнітному випромінюванню в системі встановлюється далекодія, а саме поле відіграє контрольну функцію в організмі і є чинником самоорганізації. Отже, завдяки взаємов'язаності матерії та поля (взаємодії між електронною та пружною підсистемами) у складній нелінійній системі внаслідок короткосяжких (локальних) біохімічних процесів може виникати далекодія (далекосяжність) та встановлюватися когерентність. Це в свою чергу приводить до зростання складності системи, в ній утворюється ієархія структур та процесів, що забезпечує її динамічну стійкість. Так виникає порядок та самоорганізація на рівні окремих макромолекул, клітин, органів, організмів, екосистем і т. д. Лише за наявності такої далекодії можливе встановлення порядку на макрорівні та функціонування складної системи в умовах постійно змінних хімічних, фізичних та інформаційних умов як в системі, так і в оточенні. Життя можна порівняти з полум'ям, що постійно змінюється, а необхідними умовами життями є різноманіття його форм та складності. Так, як поява у дзиги обертального моменту надає їй динамічної стійкості, так відкритість, тобто обмін речовиною, енергією та інформацією з оточенням, та різноманітність форм забезпечують розвиток усього живого.

Отже, стає зрозумілою взаємопов'язаність процесів різного рівня та непоказаність їх наслідків на рівні

складної системи. Наприклад, давно відомий «кемпірично» факт впливу сонячної активності на процеси в живому. Один з механізмів такого впливу запропонований нами і базується він саме на дослідженнях впливу не лише регулярного, а і шуму електромагнітного випромінювання на динамічні властивості солітонів. А такий взаємозв'язок процесів та явищ досить універсальний, і стосується він і процесів як окремо в «некій матерії», і в економіці, і в суспільстві, так і між ними. Таким чином формується новий світогляд та нова філософія пізнання. В її основі – принцип відкритості системи, взаємозв'язаність та взаємовплив “всього з усім”, включно з людиною-спостерігачем. “Псевдооб'єктивізм” класичної фізики, який стверджує, що явища в природі відбуваються незалежно від спостерігача, відходить у минуле. Будь-яке спостереження, а тим паче спостереження цілеспрямоване, яке ми називаємо “фізичним експериментом”, впливає на

досліджуваний об'єкт і змінює його. Фактор людини, мислячої істоти, стає вирішальним при формуванні цілісної картини Світу бодови. Наша місія – бути не тільки свідками, але й творцями всесвітньої еволюції – висока місія, що накладає на кожну людину зокрема і на суспільство в цілому відповідальність за нашу діяльність тут на Землі, бо це визначає майбутнє Всесвіту.

#### Література

- [1] Dauxois T, Peyrard M. Physics of Solitons. – Cambridge, Cambridge University Press, 2006.
- [2] Филиппов А. Т., Многоликий солитон, – М.; Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.-224 с.
- [3] Ленинджер А.. Основы биохимии (1-3 том). М. Мир, 1985..
- [4] Давидов А.С. Солитоны в Молекулярных Системах. – Киев, Наукова Думка, 1984.
- [5] Scott A.C. Davydov's soliton. Phys. Rep. 217, 1-67 (1992).



**А. Г. Данилкович**

доктор технічних наук, професор

**М. В. Новіков**

академік НАН України

## Інноваційні технології – стратегічний напрямок розвитку легкої промисловості

Встановлено закономірності колоїдно-хімічних процесів при формуванні структури колагену дерми на різних стадіях переробки шкур тварин.

Розроблено ресурсозбережні та екологічно орієнтовані технології виготовлення шкіряних і хутрових матеріалів та виробів з утилізацією відходів цих виробництв. Розроблені інноваційні технології реалізовані на промислових підприємствах України і Молдови.

Енергозбереження і екологічна безпека промислового виробництва основні проблеми, що мають враховуватись при створенні нових ефективних технологій, які по суті визначають сучасний економічний і соціальний стан країни [1-3]. Робота колективу авторів Гаркавенко С. С., Грищенко І. М., Данилкович А.Г., Касьян Е.Є., Коновал В.П., Плаван В.П., Скиба М.Є., Жигоцький О.Г., Ліщук В.І. «Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів» [4] відповідає цим базовим засадам. До неї залучені результати дослідження останніх років, виконані вченими з Київського національного університету технологій та дизайну, Хмельницького національного університету, Інституту проблем матеріалознавства імені І. М. Францевича НАН України, публічного національного товариства «Чинбар». В їх основі лежить досвід досліджень та розробок технологій переробки натуральної шкіряної і хутрової сировини у висо-

коякісні функціональні матеріали. Викладені у роботі технології відмочувально-зальні, дубильні, рідинного і фінішного оздоблення матеріалів та формування виробів охоплюють всі основні стадії переробки колаген-кератинової сировини (рис. 1).

Як відомо процес переробки нестандартної сировини є багатостадійним із використанням великої кількості хімічних реагентів і матеріалів. Вони потрібні для стабільних та тривалих за часом структурних перетворень колагену і кератину. Колоїдно-хімічні і теплофізичні процеси, які відбуваються при взаємодії біополімерів з хімічними реагентами потребують оптимізації та постійного контролю на якість виконання і екологічну безпечність. Для підвищення ефективності оптимізації автори розробили методику математичного планування і аналітичного моделювання всіх основних технологічних процесів переробки натуральної сировини.

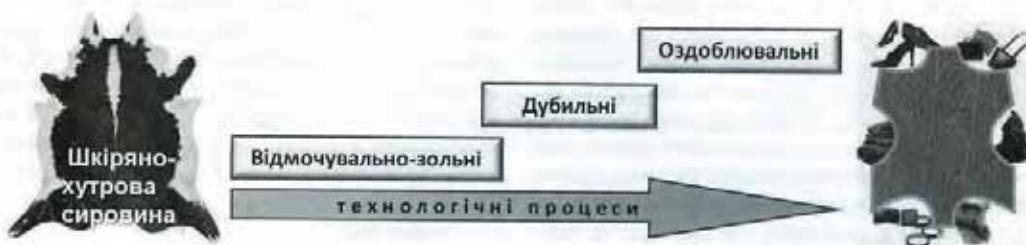


Рис. 1. Загальна схема переробки шкіряної і хутрової сировини у вироби

На початку переробки шкіряної сировини з використанням розробленої структурно-технологічної моделі шкур тварин [5], отримані при дослідженнях їх взаємодії з лужними реагентами, встановлені нові особливості механізмів масообміну в системі сировина-технологічний розчин [6]. Виявлені закономірності дифузії технологічних розчинів реагентів у структуру шкіри і зворотної дифузії глобулярних білків та інших неколагенових компонентів дерми. Встановлений вплив її параметрів на формування якісної волокнистої структури полуфабрикату, пори якої заповнені технологічним розчином. На цій стадії шкіряна сировина звільняється від волоссяного покриву, який утилізується.

На основі оптимізації досліджених масообмінних процесів розроблено низку ресурсозбережливих, екологічно орієнтованих відмочувально-зольних технологій обробки шкіряної сировини. Зокрема, технологія одностадійного зоління сировини великої рогатої худоби [7, 8] завдяки комплексної оптимізації параметрів процесів підвищується якість напівління порівняно з раніше застосовуваною технологією. Це забезпечує зменшення витрат хімічних матеріалів у 2,0-2,2 рази, в тому числі екологічно шкідливих до 3,1 рази, води до 2,2 раз, скорочення тривалості обробки у 2,3 рази та забезпечує збільшення виходу площини шкіри на 2,4-2,7%, що при великих об'ємах виробництва суттєво впливає на зниження собівартості продукції.

На рис. 2 наведені характеристики технології двостадійного зневолошування-зоління з утилізацією волосу [9-11]. В ній передбачається використання ферментних, амінних препаратів, терпеною емульсії. Це забезпечує скорочення витрат хімічних матеріалів у 1,9-2,1 рази, екологічно шкідливих матеріалів II класу небезпеки у 3 рази, води у 2,2-2,4 рази, тривалості об-

робки у 2,1-2,3 рази, споживання електричної енергії у 1,8-2,0 рази, однак при цьому економія сировини досягає 4,7 %. Екологічно більш перспективною виявилась запропонована технологія з використанням терпеною емульсії [11], що не потребує застосування матеріалів II класу небезпеки. Технології двостадійного зневолошування-зоління, які були розроблені авторами та застосовані також дали можливість зменшити вміст екологічно шкідливих продуктів деструкції кератину у відпрацьованих розчинах у 35-38 раз. Реалізація технології двостадійного зневолошування-зоління з утилізацією волосу стала можливою завдяки конструкції промислового виробництва підприємства «Чинбар» і впровадженню нових рухомих апаратів спеціальної конструкції. Технологічний контроль і продукція цього виробництва були сертифіковані за міжнародним стандартом ISO 9001:2008 «Системи управління якістю. Вимоги» і ДСТУ ISO 14001:2006 «Системи екологічного керування», що забезпечило підвищення конкурентоздатності продукції на внутрішньому і зовнішньому ринках.

В процесі хімічного структурування і стабілізації дерми напівління відбувається дифузія молекул структуруючих агентів – дубильних речовин у міжмакромолекулярні й міжмакромолекулярні проміжки колагену дерми з частковим заміщенням технологічного розчину за їх взаємодії з функціональними групами поліпептидних ланцюгів. Вивчення особливостей взаємодії хімічних реагентів органічної і неорганічної природи з колагеном дерми дало можливість встановити загальні закономірності процесу хромового і комбінованого дублення шкіряного і хутрового напівління. Проведені дослідження дозволили встановити механізм перетворення аніонних гідроксосульфатох

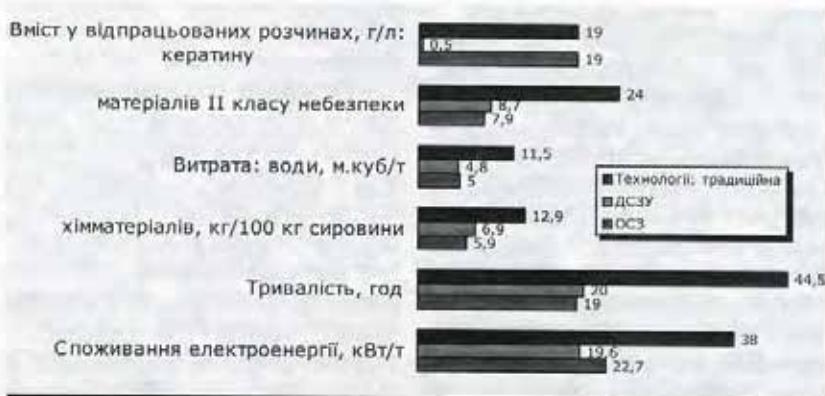


Рис. 2. Переваги розроблених технологій зоління

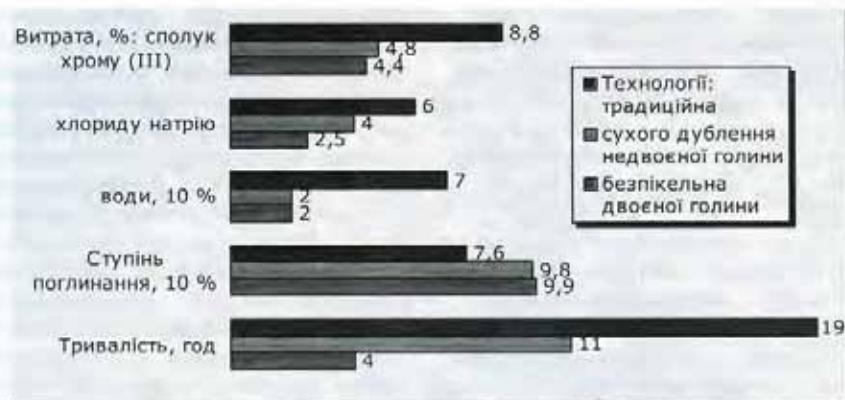


Рис. 3. Переваги розроблених технологій хромового дублення

ромових комплексів у катіонну форму. Визначена будова та кількісна оцінка структуруючої активності залежно від технологічних умов обробки.

В результаті проведених досліджень розроблена технологія аніонно-катіонного сухого дублення напівфабрикату товщиною понад 2,8 мм [12], що передбачає використання електролітостікої емульсії з метою блокування іонізованих карбоксильних груп колагену для забезпечення рівномірної дифузії сполук хрому. Ця технологія дала можливість скоротити витрати хромового дубителя у 1,7-1,9 рази, хлориду натрію у 1,4-1,6 рази, води до 3,5 раз. При цьому ступінь поглинання сполук хрому зріс до 24 %, а їх вміст у відпрацьованих розчинах зменшився у 10-12 раз при скороченні тривалості обробки напівфабрикату у 1,6-1,8 раз.

Розроблена нова технологія безпікельного аніонно-катіонного дублення напівфабрикату товщиною до 2,8 мм [13, 14], що виключає його кислотно-сольову обробку, характеризується скороченням витрат хромового дубителя, хлориду натрію і води відповідно до 2,0; 2,4 і 3,5 раз. За вмістом сполук хрому у відпрацьованих розчинах і тривалістю обробки ця технологія порівняно з попередньою (рис. 3) відрізняється зменшеним вмістом сполук хрому у відпрацьованому розчині до 2 раз та скороченням тривалості дублення напівфабрикату до 2,7 раз, що обумовлено, насамперед, зниженням товщини напівфабрикату та особливостями технологічної обробки.

Використання аніонної початкової форми сполук хрому (III) у хутровому виробництві дало можливість розробити інноваційні технології дублення хутрових шкур з виключенням з технологічного циклу обробки проміжних стадій додублювання і оздоблювання перед фарбування напівфабрикату кислотними азобарвниками. Реалізація цих технологій забезпечила скорочення витрат хромового дубителя у 2-3 рази, жирових речовин у 2,0-2,5 рази та збільшення виходу площин на 5,4-6,6 % і значне скороченні тривалості обробки залежно від товщини і виду сировини.

Для розробки технологій виробництва шкірних і хутрових матеріалів спеціального призначення проводились дослідження процесів структурування напівфабрикату з використанням комплексу дубителів органічної і мінеральної природи. В результаті квантово-хімічних досліджень будови структуруючими реагентами [15], їх взаємодії з функціональними групами колагену з врахуванням хімічної архітектури молекул дубителів і особливостей багаторівневої структури

колагену дерми розроблені технології комбінованого дублення шкіряного і хутрового напівфабрикату з підвищеною гідротермічною стійкістю шкірної тканини хутрових овчин без використання сполук хрому [16]. Зокрема, технологія отримання шкір стійких до старіння [17, 18] з напівфабрикату шкур овець і великої рогатої худоби, що передбачає використання сполук фосфору, алюмінію і танідів, забезпечує формування шкір з підвищеною на 30-40 % стійкістю до лужно-сольових обробок. Отримані матеріали використовуються, зокрема, для виготовлення ортопедичних виробів та відновлення об'єктів історичної і культурної спадщини.

Розроблена технологія дублення хутрових овчин з використанням альдегіду, сполук кремнію, алюмінію і танідів забезпечує виготовлення напівфабрикату з підвищеною гідротермічною стійкістю на 40 °С порівняно з типовою технологією та підвищеною стійкістю до дії лужних реагентів. Такі овчини рекомендовані для виробів медичного призначення, наприклад, підстілок для лежачих хворих. Відсутність сполук хрому у комбінованих технологіях дублення шкіряного і хутрового напівфабрикату суттєво зменшує вміст екологічно шкідливих речовин у промислових стоках, що спрощує їх очистку і переробку та розширяє їх можливість повторного використання.

Отже, розроблені технології дублення шкіряного і хутрового напівфабрикату характеризуються суттєвим скороченням витрат хімічних матеріалів, особливо екологічно шкідливих, тривалості технологічної обробки і зменшенням енергетичних затрат. Причому для виготовлення виробів широкого вжитку з підвищеними фізико-механічними і споживчими властивостями найбільш перспективними є технології хромового дублення з мінімальною витратою сполук хрому, в той час як для матеріалів спеціального, зокрема медичного призначення, доцільно використовувати технології органічно-мінерального дублення без сполук хрому.

Авторами комплексної роботи запропоновано на фінішних стадіях обробки шкіряного напівфабрикату для запобігання втрати площині матеріалу внаслідок усадочних деформацій проводити спеціальні процеси його наповнення-живлення та нанесення полімерного покриття. Дослідження взаємодії композицій акрилових дисперсій, модифікованих алклікарбоксилатоноламінами [19], і азобарвників, стабілізованих титанілоксаловою кислотою [20], гідрофобізуючих композицій на основі алкенмалеїнатів [21] з колагеном дерми дало можливість встановити закономірності

додаткової стабілізації структури матеріалу. Отримані результати стали основою вдосконалення технологій наповнення-фарбування-жирування шкіряного напівфабрикату [22-24]. Такі процеси забезпечують підвищений вихід готової шкіри до 4,7 % тавищу її сортність. При цьому досягається рівномірне забарвлення поверхні матеріалу і зменшення витрат полімерної композиції на 30-40 %.

Оптимізація технології виготовлення гідрофобних хромових шкір [25, 26] забезпечила отримання матеріалів з додатковим комплексом високих санітарно-гігієнічних і теплофізичних характеристик для виготовлення взуття і одягу спеціального призначення придатних для експлуатації в екстремальних умовах.

В процесі розробки технологій оздоблення шкір з полімерним покриттям автори використали синтезовані структурно забарвлени поліуретани і поліакрилоуретани [27]. В результаті проведених досліджень обґрунтована структурна будова поліуретанбарвників, встановлені закономірності їх синтезу, отримані дисперсії і розчини на їх основі та встановлені можливий механізм взаємодії полімерних покріттів з напівфабрикатом дерми.

Процес взаємодії комплексів поліуретанбарвника і поліакрило-уретанбарвника з колагеном шкіряного матеріалу супроводжується утворенням хімічних, хемосорбційних, водневих і фізичних зв'язків за участю карбоксильних і пептидних груп та вуглеводневих радикалів макромолекул блополімеру.

За результатами проведених досліджень розроблені процеси обґрунтовано віднесені до інноваційних технологій оздоблення хромових шкір для верху взуття. Кінцева за процесом технологія лакового оздоблення шкіри [28] з використанням розчинів полімербарвників дозволила суттєво спростити процес формування композиційного покріття на шкірі, зменшивши витрати екологічно шкідливих органічних розчинників та отримати лакові шкіри з підвищеною адгезійною міцністю покріття до шкіри на 45-80 % і вищими санітарно-гігієнічними показниками у 1,5-1,7 рази. Запропонована технологія тонкошарового анілінового покріття [29] передбачає використання дисперсій поліуретанбарвників і поліакрилоуретанбарвників. Доведено практично, що отримані матеріали мають підвищенні показники адгезійної міцності покріття до сухої і мокрої шкіри відповідно на 45-50 і 35-42 % та еластичності до 20 %. Технологія багатошарового оздоблення шкіри емульсійним покріттям [30] дала змогу зменшити витрати матеріалів у 1,7-3,6 рази при скороченні тривалості процесу на 25-30 % та отримувати шкіри сучасного асортименту.

Отже, розроблений весь комплекс взаємопов'язаних технологій виготовлення шкіряних матеріалів масового і спеціального призначення характеризується високим рівнем ресурсозбереження та екологічної безпеки і цілком може бути визначений як інноваційний.

Підвищення економіко-екологічного рівня розроблених технологій виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів обумовлено ефективним використанням науково обґрунтованих технологій утилізації і переробки вторинних ресурсів цих виробництв у композиційні матеріали [31]. Ефективність розроблених технологій переробки шкіряної, взуттєвої, шкір-

галантерейної обрізі ґрунтуються на запропонованій гідродинамічній моделі руйнування волокнистої структури матеріалів за кавітаційним механізмом [32], використанням спеціально сконструйованого технологічного обладнання, оптимізації режимів переробки відходів у матеріали для деталей взуттєвого призначення.

Кількісна оцінка економіко-екологічної ефективності розроблених технологій визначалась комплексними показниками, які включають ресурсосміність технології, клас небезпеки використаних хімічних реагентів, їх вміст у відпрацьованих розчинах та якість отриманих матеріалів. Зокрема, при проведенні відмочувально-зольних процесів обробки шкіряної сировини, коли використовуються великі об'єми лужних реагентів, у тому числі екологічно шкідливі, комплексні економічний та екологічний показники двостадійної відмочувально-зольної технології порівняно з раніше існуючою складають відповідно 0,553 і 0,293, тобто інноваційна технологія за економічним і екологічним показниками є ефективнішою у 1,8 і 3,4 рази відповідно. Так, на обробку 1 т сировини за типовою технологією передбачається витрата екологічно шкідливих матеріалів 110 кг, тоді як за розробленою – 54 кг. Розроблена методика визначення основних показників новітніх технологій може бути використана для розрахунку економіко-екологічної ефективності виробничих процесів легкої та інших галузей промисловості.

Таким чином, висунуті гіпотези і концепції щодо хімічної активності колагену і кератину в процесах їх взаємодії з хімічними реагентами різної природи доведені результатами досліджень кінетики і механізмів модельованих систем біополімер-технологічний розчин при обробці шкіряної і хутрової сировини та встановлені колоїдно-хімічні закономірності процесів на різних стадіях переробки шкур тварин у матеріали. На основі встановлених закономірностей структурних перетворень колагену і формування пористої волокнистої структури колагену дерми та колоїдно-хімічних процесів на різних стадіях переробки шкур тварин розроблені наукові основи технологій виготовлення шкіряних і хутрових матеріалів і виробів. Розроблено інноваційні ресурсозбережні і екологічно орієнтовані технології відмочувально-зольних, дубильних, наповнювально-жирувальних процесів, рідинного і фінішного оздоблення з використанням багаторічної оптимізації, які забезпечують суттєве скорочення витрат хімічних реагентів, особливо екологічно шкідливих, залишкової їх концентрації у промислових стоках та тривалості технологічних обробок. Отримані за розробленими технологіями шкіряні та хутрові матеріали відзначаються високими фізико-хімічними характеристиками і використовуються для виготовлення виробів масового і спеціального призначення.

За результатами проведених фундаментальних і прикладних досліджень опубліковано 561 наукову роботу і отримано 105 авторських свідоцтв ще в СРСР і нових патентів України, Росії, Японії, Англії, Чехії, з яких 34 упроваджені у промислове виробництво. Розроблені інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів впроваджені на промислових підприємствах України: ПАТ «Чинбар» м. Києва, «ШП «Світанок» м. Львів, ЗАТ «ВОЗКО» м. Вознесенськ Миколаївської області, «Хутрофірма «Тисмениця» Івано-Франківської області, ТОВ «Зенкіс» м. Києва,

ПП «Сокольський І. В.» м. Києва, ТОВ «Еліта Стиль» м. Києва, ВАТ «Взутекс» м. Хмельницький, ВАТ «Прогрес» м. Дніпропетровськ, ТОВ «Гулівер» м. Хмельницький, АТ «Mioara» м. Бельц (Молдова) та інших.

При цьому було вироблено 5,29 млрд. кв. дм шкір широкого асортименту, 116,7 млн. кв. дм хутрових шкур з економічним ефектом 193,0 млн. грн. і відверненим екологічним збитком тільки по підприємствам «Чинбар», «ШП «Світанок» і «Хутрофірма «Тисмениця» за період 2000-2011 рр. становить 161,0 млн. грн. Враховуючи достатньо високий економіко-екологічний рівень розроблених технологій виробництва шкіряних і хутрових матеріалів, вони можуть бути рекомендовані для широкого промислового впровадження.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку промисловості України на період до 2017 року». – Режим доступу : [zakon.rada.gov.ua/laws/show/947-2008-p](http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/947-2008-p)
2. Закон України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року». – Режим доступу : [zakon.rada.gov.ua/go/2818-17](http://zakon.rada.gov.ua/go/2818-17)
3. Закон України «Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року». – Режим доступу : [zakon.rada.gov.ua/go/4836-17](http://zakon.rada.gov.ua/go/4836-17)
4. Екологічно орієнтовані технології виробництва шкіряних та хутрових матеріалів для створення конкурентоспроможних товарів : монографія.
- Ч. I : Екологічно орієнтовані технології виробництва шкіряних та хутрових матеріалів / А. Г. Данилкович, В. І. Ліщук, В. П. Плаван, Е. Є. Касьян, О. Г. Жигоцький ; за ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2011. – 437, [3] с.
- Ч. II : Теоретичні та практичні аспекти створення конкурентоспроможних виробів взуттєвої та шкіргалантерейної галузі. – К. : Фенікс, 2011. – 294, [2] с.
5. Ліщук В. І. Структурно-технологічна модель волокнистої будови дермі шкір тварин / В. І. Ліщук, В. В. Кострицький, А. Г. Данилкович // Вісник КНУТД. – 2009. – № 5. – С. 180-185.
6. Ліщук В. І. Дифузійна теорія масообміну у виробництві шкіри. Моделювання процесу зоління шкіряної сировини / В. І. Ліщук, В. В. Кострицький, А. Г. Данилкович // Вісник КНУТД. – 2010. – № 1. – С. 201-209.
7. А.с. № 1396610. Способ обробки кожевенного сырья / Олейник Н. Н., Пономарев С. Г., Журавский В. А., Ліщук В. І. [и др.] ; заявл. 22.07.86 ; зарегістр. 15.01.88.
8. А.с. № 1583445. Способ выработки кож / Олейник Н. Н., Журавский В. А., Ліщук В. І. [и др.] ; заявл. 11.03.88 ; опубл. 07.08.90, Бюл. № 39.
9. Пат. на КМ 11907 Україна. Способ зневолошування-зоління шкіряної сировини / Ліщук В. І., Данилкович А. Г. ; заявл. 07.07.05 ; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1.
10. Пат. на КМ 12056 Україна. Препаратор для обробки шкіряної та хутрової сировини / Ліщук В. І., Бехарський В. І., Данилкович А. Г. ; заявл. 26.07.05 ; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1.
11. Пат. на КМ 12055 Україна. Способ зневолошування шкіряної сировини / Ліщук В. І., Данилкович А. Г., Жигоцький О. Г. ; заявл. 26.07.05 ; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1.
12. Данилкович А. Г. Розробка технології сухого дублення недвоеної голини та її багатокритеріальна оптимізація / А. Г. Данилкович, А. Г. Петрансь // Вісник Державної акад. легкої пром-ті України. – 1999. – № 3. – С. 170-173.
13. Пат. № 36805A Україна. Способ дублення хутрових шкур / Данилкович А. Г., Сідляр Ю. Р. ; заявл. 10.02.2000; опубл. 16.04.01, Бюл. № 3.
14. Пат. № 36806 A Україна. Способ обробки хутрових шкур / Данилкович А. Г., Сідляр Ю. Р. ; заявл. 10.02.2000; опубл. 16.04.01, Бюл. № 3.
15. Plavan V. The Quantum-Chemical Modelling Application for Investigation of Sumsac Chemical Structure and Properties / V. Plavan, A. Katahinsky, V. Barsukov // Proceedings of the 3rd International conference on advanced materials and systems, (Bucharest, Romania, 16th-18th Sept. 2010) / National R&D Institute for Textile & Leather, Division Leather& Footwear Research Institute. – Bucharest : ICPI, 2010. – р. 107-112.
16. Пат. України на корисну модель № 43803, МПК С 14 С 3/00. Способ обробки овчини / Плаван В. П., Данилкович А. Г. ; заявник і патентовласник Київський національний університет технологій і дизайну ; № u200902546 ; заявл. 23.03.2009 ; опубл. 28.08.2009, Бюл. № 16.
17. Пат. № 92259 Україна. МПК7 С 14 С 3/00. Способ обробки шкіри / Плаван В. П., Данилкович А. Г. ; заявник і патентовласник Київський національний університет технологій і дизайну ; № a200902548 ; заявл. 23.03.2009 ; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.
18. Пат.на винахід № 97525 Україна. МПК7 C14C 1/00, С 14 С 3/00. Способ обробки шкіри / Плаван В. П., Данилкович А. Г., Ліщук В. І. ; заявник і патентовласник Київський національний університет технологій і дизайну. – № a200913487 ; заявл. 24.12.2009 ; опубл. 27.02.2012. Бюл. № 4.
19. Kasyan E. E. Modification of polyacrylates with alkylcarboxyethanolamines / E. E. Kasyan, A. G. Danilovich, A.A. Tsimbalenko // International Polymer Science and Technology – 1988. – Vol. 15. – № 4. – Р. 33-34.
20. Взаємодействие анионных азокрасителей с коллагеном в присутствии соединений титана / [Данилкович А. Г., Жигоцький А. Г., Горбачов А. А., Аверкова В. И.] // Украинский химический журнал. – 1998. – № 11. – С. 40-45.
21. Данилкович А. Г. Проблема поліпшення гідрофобних властивостей ворсового шкіряного і хутрового матеріалів / А. Г. Данилкович, Н. Б. Хлебникова, В. І. Ліщук // Легка промисловість. – 2011. – № 3. – С. 27-29.
22. А.с. № 1307859. Состав для пропитки кожи / Данилкович А. Г., Касьян Э. Е., Бехарский В. И., Шкарандя И. Т., Ліщук В. І. [и др.] ; заявл. 19.02.85 ; зарегістр. 03.01.87.
23. А.с. № 1233485. Состав пропитывающего грунта для кожи / Данилкович А. Г., Касьян Э. Е., Бехарский В. И., Шкарандя И. Т., Ліщук В. І. [и др.] ; заявл. 06.07.84 ; зарегіст. 22.01.86.
24. Пат. № 30967 А Україна. Способ фарбування шкір / Данилкович А. Г. ; заявл. 24.06.98 ; опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7.
25. Пат. на КМ № 38472 Україна. Композиція для гідрофобізації ворсової шкіри, хутрового велюру, шубної овчини і виробів з них / [Данилкович А. Г., Хлебникова Н. Б., Мокроусова О. Р., Петко К. І. ] ; заявл. 08.08.08 ; опубл. 12.01.09, Бюл. № 1.
26. Данилкович А. Г. Оптимизация композиции для гидрофобизации эластичных материалов / А. Г. Данилкович, Н. В. Омельченко, А. М. Шахновский // Вісник ХНУ, 2012, № 1, с. 74-78.
27. Пат. 69804 А Україна. Способ отримання забарвлених поліуретану / Касьян Е. Є., Данилкович А. Г. ; заявл. 08.12.03 ; опубл. 15.09.04, Бюл. № 9.
28. Пат. на КМ № 6438 Україна. Способ оздоблювання натуральної шкіри / [Касьян Е. Є., Мостова А. В., Данилкович А. Г., Ліщук В. І.] ; заявл. 12.08.04 ; опубл. 16.05.05, Бюл. № 5.
29. Пат. на КМ № 19244 Україна. Способ анілінового оброблення натуральної шкіри / [Касьян Е. Є., Сміла А. В., Данилкович А. Г., Ліщук В. І.] ; заявл. 19.05.06 ; опубл. 15.12.06, Бюл. № 12.
30. Пат. на КМ № 18631 Україна. Способ оздоблювання натуральної шкіри / Касьян Е. Є., Сміла А. В., Данилкович А. Г. ; заявл. 19.05.06 ; опубл. 15.11.06, Бюл. № 11.
31. Skyba Mykola. The Change of Leather Features under the Influence of ForceField / Mykola Skyba // The Eleventh World Congress in Mechanism and Machine Science. – China, Feb. 15, 2004. – Р. 376-380.
32. М. Є. Скиба. Обладнання для переробки відходів / М. Є. Скиба. – Хмельницький : [ПП Ковалський], 2004. – 124 с.

**I.М. Мриглод, академік НАН України,  
доктор фізико-математичних наук**

**А.Д. Трохимчук, доктор фізико-математичних наук  
Інститут фізики конденсованих систем НАН України**

## **ПРО М'ЯКУ РЕЧОВИНУ, МЕТОДИ ЙІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ**

Стаття знайомить читача з фізикою м'якої речовини – одним з найдинамічніших напрямків досліджень у сучасній фізиці, що охоплює нині широке коло проблем та об'єктів, які відносяться також і до тематики деяких суміжних наук, зокрема хімії, біології, інженерії та матеріалознавства. Приведено коротку характеристику м'якої речовини, обговорено її особливості та методи дослідження. Детальніше розглянуто окремі приклади отриманих результатів, що цікаві з огляду на можливості їх практичних використань. В основі цієї статті лежать оригінальні результати, які увійшли до циклу робіт, що висунутий на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки за 2012 рік.

**Ключові слова:** м'яка речовина, мікроскопічний опис, статистична фізика, конденсовані системи, самоорганізація

### **Що таке м'яка речовина?**

Ще зі шкільних підручників ми знаємо, що є три основні агрегатні стани речовини – твердий, рідкий та газоподібний. Проте дуже часто виникають ситуації, коли на практиці спостерігаються стани, які не вкладаються у таку, як виявляється, сильно спрощену класифікацію. За прикладами не треба далеко ходити. У тих же шкільних підручниках класичним прикладом трьох основних станів речовини виступає усім добре відома вода, яка при нагріванні переходить у пару, а при охолодженні – перетворюється у лід. Але всім добре відомо, що вода також може перебувати у вигляді снігу, або ж, наприклад, туману. Подібні приклади «некласичних» форм існування конденсованої речовини, окрім води, можна навести і для багатьох інших субстанцій. Що ж собою являють такі стани і як їх класифікувати?

Одна із можливих відповідей на це питання передбачає, що вся конденсована речовина може бути розділена на тверdotільні системи і м'яку речовину. Отже, сніг та туман є прикладами агрегатних станів, які в сучасній фізиці відносяться до м'якої речовини або м'якої матерії. Сам термін "м'яка речовина" виник понад 30 років тому в групі майбутнього Нобелівського лауреата, іноземного члена НАН України, нині вже покійного французького фізика П'єра-Жіля де Жена (1932-2007). Де Жен був яскравим представником так званого феноменологічного підходу у дослідженнях кон-

денсованої матерії, зокрема рідинних кристалів, полімерів, біологічних об'єктів і гранулярної матерії, і одним із перших зауважив, що у цілком різних на перший погляд системах є певні спільні риси. Вважалося, що м'яка речовина включає в себе все різноманіття агрегатних станів, які можуть змінюватися в результаті невзначних зовнішніх впливів або ж теплових флуктуацій. З часом термін "м'яка речовина" увійшов у широкий вжиток, а відповідний напрямок наукових досліджень зайняв важоме місце у сучасній фізиці.

Як слідує з наведеного вище прикладу з водою, м'яка речовина – це природний стан конденсованої матерії, існування якого не пов'язано з появою самого терміну. У вузькому колі фізиків, аби якось виділити нестандартність об'єктів, які зараз асоціюються з м'якою речовиною, їх називали ще складними плинами, характерною особливістю яких є наявність частинок або ж структур мезоскопічних розмірів. Тут мова іде, насамперед, про полімерні розплави, розчини поліелектролітів, рідинні кристали, колоїдні та міцелярні системи, ліни, мікроемульсії, тощо. Окрім них, до м'якої речовини відносяться також гелі, мембрани, аморфні, силучі, гранулярні, склоподібні та композитні матеріали, метаматеріали і пористі середовища. Таким чином, поняття "м'яка речовина" охоплює практично усі матеріали повсякденного життя, включаючи продукти харчування, фармацевтичні, косметичні та миючі засоби, гумову, пластмасову та паперову продукцію, тканини, нафту, жири, а також велике розмаїт-

тія біологічних об'єктів – мембрани, іонні канали, білки, ДНК структури тощо. У цій статті серед об'єктів м'якої речовини найчастіше будуть згадуватися водні розчини електролітів, полімери та полімерні розплави, поліелектроліти, колоїдні дисперсії, та рідинні кристали.

## Особливості дослідження м'якої речовини

Досліджуючи конденсовану матерію – незалежно від того чи це тверде тіло чи м'яка речовина – фізики-теоретики перш за все зіштовхуються з проблемою опису системи багатьох частинок. Проте, на відміну від кристалічних тіл, опис м'якої речовини ускладнюється ще і тим, що частинки м'якої речовини не є структурно впорядкованими на далеких відстанях. Про такі системи прийнято говорити, що в них відсутній дальний порядок. Разом з цим, у м'якій речовині спостерігається характерне впорядкування на коротких відстанях – так званий близький порядок.

Іншою особливістю м'якої речовини є структурна складність. З однієї сторони, ця особливість є обумовлена багатокомпонентністю м'якої речовини як на мікрокопічному, так і на мезоскопічному рівнях. Типово у м'якій речовині завжди можна виділити частинки найменшого розміру, які формують середовище для структурних утворень суттєво більших розмірів. Наприклад, якщо мова іде про електролітичне середовище, то тут є молекули розчинника (як правило води) та іони електроліту. Мезоскопічними утвореннями можуть бути макромолекулярні комплекси у вигляді міцел, крапель, тощо, або ж дисперговані колоїдні частинки.

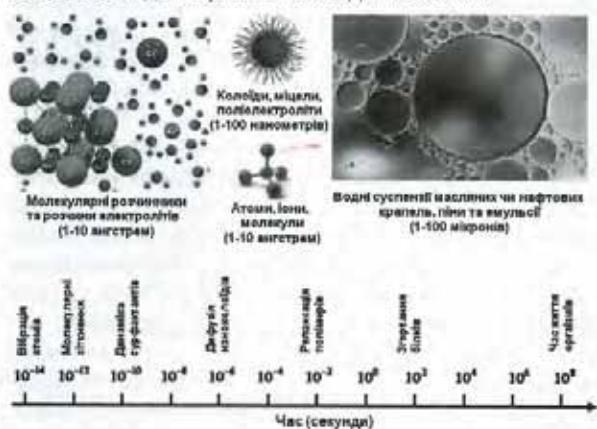


Рис. 1. Просторова і часова багатомасштабність та структурна складність м'якої речовини

Окрім цього, в процесі динамічної еволюції у м'якій речовині можуть формуватися мезоскопічні структурні комплекси, які зберігають свою стійкість впродовж певного проміжку часу. Якщо час існування таких структурних комплексів співмірний, або ж перевищує інші характерні часи у системі, то такі локальні утворення можуть суттєвим чином впливати на властивості системи в цілому. При цьому, якщо у випадку молекул, атомів чи іонів, утворення яких відбувається за законами квантової механіки, що забезпечує в кінцевому підсумку їх унікальність (розмір, електричний заряд, поляризованість чи дипольний момент, тощо), то для утворень мезоскопічних розмірів існує довільність, відома як явище полідисперсності, коли індивідуальні

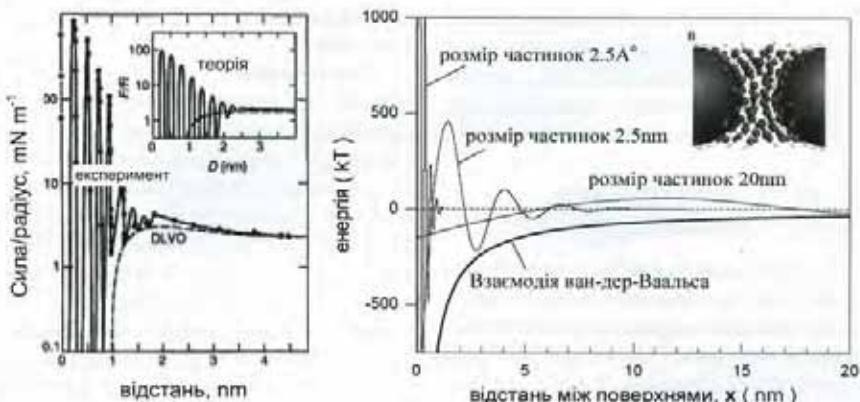
характеристики не є фіксованими, а змінюються у певних межах.

Таким чином, з точки зору дослідника, м'яка речовина є невпорядкованою, багатокомпонентною, полідисперсною системою, у якій кожна із складових компонент характеризується своїми просторовими та часовими масштабами. З огляду лише на лінійні розміри, у м'якій речовині можна виділити такі типові просторові масштаби: (i) молекулярний (до 10 Å), пов'язаний з описом молекул, атомів та іонів; (ii) субмікронний або нанометровий (від 1nm до 100nm), який стосується колоїдних частинок, міцел, тощо; (iii) мезоскопічний (від 1мкм до 100 мкм), що є характерним для крапель, газових бульбашок, включені в емульсіях та пінах; а також (iv) макроскопічний, яким характеризується об'єкт в цілому.

Проте чи не найтипівішою рисою м'якої речовини, яка зрештою і спонукала де Жена розглядати її як окремий стан конденсованої матерії, виступає чутливість до зовнішніх чинників. Саме у розумінні механізмів чутливості приховані ключі до багатьох практичних застосувань м'якої речовини. Особливість теоретичного опису високочутливих систем обумовлена, насамперед, необхідністю врахування притаманних їм сильних кореляційних ефектів, що визначають колективний характер поведінки складових цих систем. При цьому різні мезо- чи макростани речовини розділяються невзначними енергетичними бар'єрами і перехід між ними може порівняно легко стимулюватися, наприклад, флуктуаційними ефектами чи дією зовнішніх полів. Такі процеси особливо яскраво проявляються уже на рівні локального структуроутворення, а також поблизу міжфазних границь чи поверхонь.

З іншої сторони, багатомасштабність, яка властива об'єктам м'якої речовини, створює значні проблеми при моделюванні, особливо, коли виникає потреба включити до розгляду одразу всі компоненти системи. Один із способів подолання цих труднощі передбачає розвиток певної ієрархії взаємодоповнюючих методів і підходів, які використовуються після поетапного «огрублення» системи. При цьому, на першому етапі можуть послідовно виключатися ті ступені вільності (чи змінні), які відповідають за поведінку частинок найменших розмірів із найшвидшою динамікою. У такий спосіб приходимо до концепції ефективних взаємодій для частинок більших розмірів. Загалом, ефективні взаємодії у м'якій речовині мають різне походження, але найчастіше вони є наслідком саме просторової багатомасштабності, коли підсистема з дрібнішим масштабом відіграє роль середовища та індукує взаємодії між частинками у підсистемі з крупнішим просторовим масштабом. Як наслідок, радіус ефективних взаємодій у м'якій речовині може змінюватися у широкому діапазоні, змінюючи при цьому і весь спектр її фізичних властивостей.

Яскравим прикладом ефективних взаємодій є взаємодії, що виникають між двома поверхнями, які занурені в молекулярний чи електролітичний розчин. Такі взаємодії виникають, зокрема, у колоїдних дисперсіях і описувалися раніше в рамках класичної феноменологічної теорії ДЛВО. Проте, прогрес, досягнутий в останні два десятиліття у розвитку вимірювань та вимірювальної техніки (апарати поверхневих сил – Surface Force Apparatus, електронні мікроскопи, лазерні утри-



**Рис. 2.** Ліворуч: Експериментально вимірюна сила між поверхнями двох сфероциліндрів у розчині електроліту [Israelachvili, Intermolecular and surface forces, Academic Press: New York, 1991]. Праворуч: Теоретичні розрахунки [10] енергії ефективної взаємодії між двома макроповерхнями, які знаходяться у середовищах, утворених сферичними частинками різних діаметрів: 2.5 Å, 2.5 нм та 20 нм. Діаметр частинок 2.5 Å є співідноні з діаметром молекул води

мувачі та ін.), переконливо засвідчили, що теорія ДЛВО має суттєві обмеження щодо її застосування. Зокрема, на коротких відстанях між поверхнями, як показали експериментальні вимірювання взаємодії між двома розміщеними навхрест сфероциліндрами, сила має яскраво виражений осциляційний характер (рисунок 2, ліворуч). Період осциляцій корелює із розмірами найдрібніших частинок середовища (молекул води у випадку, що на рисунку 2), засвідчуючи цим важливість факту дискретності структури молекулярного середовища та вказуючи на необхідність її врахування у теорії. Для прикладу, теорія ДЛВО, результати якої також приведено на рисунку 2, не враховує мікроскопічної структури середовища. Як результат, поведінка кривої профілю сили є якісно іншою, монотонною і без осциляцій.

Очевидно, що кожна із перерахованих вище осо-  
бливостей м'якої речовини вимагає розвитку адекватного теоретичного апарату для дослідження. Необхідність врахування усіх цих особливостей у їх сукупності значно сповільнює становлення теорії м'якої речовини, яка почала інтенсивно розвиватися лише наприкінці ХХ століття, коли, для прикладу, теорія твердого тіла стала уже добре працюючим інструментарієм. На порядку денному постало питання розробки принципово нових методів і підходів, які б враховували осо-  
бливості м'якої речовини і, водночас, базувалися на мікроскопічному рівні опису.

### Розвиток мікроскопічного підходу

Мікроскопічний підхід у теорії м'якої речовини передбачає, що її властивості визначаються на основі первинної інформації про частинки, які утворюють систему, та про взаємодії між ними. Так, у випадку води, це може бути інформація про окрему молекулу води та про енергію міжмолекулярних взаємодій. Якщо ж, для прикладу, мова іде про опис супензії колоїдних частинок у водному розчині електроліту, то до уваги береться ще й інформація про іони електроліту та колоїдну частинку, а також усі можливі міжчастинкові взаємодії у такій системі. На відміну від феноменологічного підходу, в якому середовище характеризується усеред-

неними макроскопічними параметрами (в'язкість, ді-  
електрична проникність, тощо), мікроскопічний підхід дозволяє з єдиних позицій досліджувати весь спектр об'єктів та властивостей м'якої речовини.

Як з огляду на історичну ретроспективу, так і концептуально, в основу мікроскопічного підходу, який розвивався в контексті цієї роботи, покладено метод колективних змінних [1]. Цей метод був запропонований в роботах академіка Юхновського наприкінці 50-х – початку 60-х років минулого століття. Зі створенням методу колективних змінних була принципово розв'язана одна з центральних задач статистичної фізики взаємодіючих частинок – проблема одночасного та рівноправного врахування взаємодії між частинками на коротких і далеких відстанях. При цьому, опис системи проводиться у розширеному фазовому просторі, який складається як з індивідуальних координат частинок, так і з колективних змінних, у ролі яких виступають флюктуаційні хвилі густини певної характеристики системи. В залежності від конкретної задачі такими колективними змінними можуть бути густини числа частинок, електричного заряду, спінового моменту, тощо. Суттєвим моментом є те, що взаємодії на коротких відстанях описуються у просторі індивідуальних координат, а колективні змінні використовуються для врахування далекосяжних взаємодій.

У роботах, які входять до циклу, метод колективних змінних було узагальнено та адаптовано на випадок багатокомпонентних сумішей і систем із замороженим безладом, а також квантових систем [2]. Для розв'язання проблем, де важливим є врахування деталей внутрішньої структури молекул, було розвинуто атом-атомний підхід [3]. В цілому ж, метод колективних змінних відкрив широкі можливості для використання функціональних підходів у статистичній теорії м'якої речовини. Концепція колективних змінних має низку принципових переваг і дозволяє, зокрема, враховувати багаточастинкові взаємодії. Природний розвиток ції концепції отримала при формулюванні методу узагальнених колективних мод [4], що розглядається нині як один із найперспективніших підходів при вивчені динамічних властивостей м'якої речовини.

Особливо переконливо переваги мікроскопічного підходу в цілому та методу колективних змінних зокрема, проявилися при дослідження розчинів і розплавів електролітів [5], полімерних розплавів [6], колоїдних дисперсій [7], вивчені критичних явищ у м'якій речовині та дослідження її фазової поведінки [2,8]. Завдяки явному врахуванню взаємодії іонів з молекулами, теорія дозволила описати ефекти іонної сольватації та дослідити їх роль у термодинамічних, кінетичних та структурних властивостях розчинів електролітів [9]. Запропонована теорія є застосовною в усьому інтервалі іонних концентрацій, температур і тисків, дозволяє описувати властивості та явища, які обумовлені як дискретною природою середовища, так і впливом зовнішніх полів.

В рамках узагальнення мікроскопічного підходу було побудовано молекулярну теорію гідратацийних взаємодій, що виникають між колоїдними частинками в електролітичних розчинах [10]. Отримано аналітичні вирази для енергії гідратацийних взаємодій і показано, що такі взаємодії є короткосяжними, охоплюючи відстані до п'яти молекулярних діаметрів. Зокрема, якщо уважно подивитися на криву на рисунку 2, праворуч, яка отримана для частинок з розмірами 2.5 Å, то легко побачити, що цей результат якісно відтворює експериментальні дані, приведені на цьому ж рисунку 2, ліворуч. Ця теорія досі залишається ексклюзивною для пояснення та трактування експериментів по вимірюванню поверхневих сил у молекулярних, супрамолекулярних та колоїдних середовищах.

На рівні «огрубленого» опису було розвинуто низку інших методів, перевагами яких є можливість проводити глибокий теоретичний аналіз процесів та механізмів, що визначають ключові фізичні властивості м'якої речовини. Зокрема, розвинуто теорію розрахунку ефективних взаємодій між колоїдними частинками, що знаходяться в рідинному кристалі, і відкрито новий пружно-капілярний механізм взаємодії [11]. В рамках синергетичної теорії вдалося описати явище геляції, що проявляється в аномальному рості пружного модуля у полімерах [12]. Розвинуто польовий підхід для опису конформаційних властивостей макромолекул складної топології у розчиннику, проаналізовано універсальні властивості полімерних макромолекул у пористому середовищі та передбачено появу анізотропії при їх скручуванні [13].

Роль своєрідного містка, що зв'язує теорії різних рівнів ієрархії, почав відігравати в останні два десятиліття комп'ютерний експеримент. Розглядаючи комп'ютерне моделювання як самостійний інструментарій для дослідження, слід особливо наголосити на перспективах комбінованого підходу, коли нові теоретичні методи розвиваються у комп'ютерно-адаптованій формі, а комп'ютерний експеримент дає можливість уточнити (або ж, в окремих випадках, прямо розрахувати) параметри, які розглядаються як первинні у теорії вищого рівня ієрархії. Особливо актуальністю такий напрямок досліджень набирає саме при дослідженнях м'якої речовини, де співіснування суттєво відмінних масштабів не дозволяє із високою точністю досліджувати одночасно повільні і швидкі процеси та ефекти локальної перебудови і змін на рівні макромасштабів. Тому велика увага в циклі робіт приділялася, з одного боку, розвитку і знаходженню ефективних алгоритмів

для опису багатомасштабних систем [14], а з іншого – розвитку теорій у комп'ютерно-адаптованій формі [15]. Прикладом такої теорії є метод узагальнених колективних мод [4], що дозволяє на основі інформації про статичні характеристики, отримувані з комп'ютерного експерименту, вивчати складну динамічну поведінку досліджуваної системи як на малих, так і на великих просторових та часових масштабах.

Загалом, в рамках даного циклу робіт розроблено і апробовано понад десять оригінальних методів теоретичних досліджень, які дозволяють адекватно враховувати усі специфічні особливості м'якої речовини. Всі ці методи, концептуально доповнюючи один одного, і були покладені в основу мікроскопічного підходу у фізиці м'якої речовини, запропонованого авторами циклу. На цій основі було створено теорії для опису окремих класів м'якої речовини, зокрема таких як розплави та розчини електролітів, асоціативні пліни, ізотропні та анізотропні колоїдні дисперсії. Деякі приклади результатів, отриманих для цих систем, розглядаються далі.

### Деякі результати та можливості їх практичних застосувань

На основі оригінальних методів, про які йшлося вище, було проведено комплекс досліджень для низки об'єктів та явищ у м'якій речовині. Вивчалися структурні, теплофізичні, поверхневі, діелектричні і магнітні властивості, досліджувалася критична поведінка, розраховувалися фазові діаграми, функції відгуку та коефіцієнти переносу. Далі зупинимося трохи детальніше на деяких з отриманих результатів, які на наш погляд представляють інтерес як з точки зору фундаментального розуміння, так і з огляду на перспективи їх потенційного практичного застосування.

Асоціативні пліни. Широкий клас об'єктів м'якої речовини охоплюють системи, у яких формуються доволі стійкі просторові комплекси – асоціати, які можуть впливати на властивості таких систем. Для дослідження асоціативних плінів було розвинуто багатогустинний формалізм [16], у рамках якого вивчалася роль димерних, полімерних та сіткоутворюючих кластерів. В результаті вдалося описати цілий ряд особливостей, що стосуються, зокрема: аномальної поведінки води [17]; впливу білків на властивості міцел та розчиненню молекул цитохрому в обернених водних міцелях [18]; трактуванню експериментальних вимірювань осмотичних коефіцієнтів та електро-проводності розчинів електролітів у слабополярних розчинниках [5].

Запропонована теорія асоціативних ефектів дозволила зрозуміти механізми впливу електролітів на реакції внутрімолекулярного електронного переносу в слабополярних розчинниках [5]. Було, показано, що утворення специфічних іонних пар між зарядженими донором, або акцептором молекули і відповідним контролером, спричиняє зменшення на кілька порядків коефіцієнта електронного переносу в області малих іонних концентрацій. На рисунку 3, ліворуч, приведено порівняння теоретичних і експериментальних даних для коефіцієнта електронного переносу.

На основі уявлень про іонну димеризацію запропоновано також пояснення аномальної поведінки ємності подвійного електричного шару при низьких

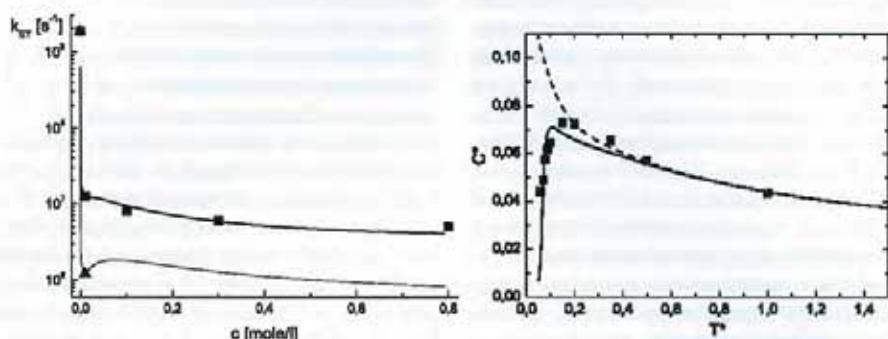


Рис. 3. Ліворуч: Коефіцієнт електронного переносу в С-1,4 у тетрагідрофурані, як функція концентрації солей тетрафеніл бурану [5]. Експериментальні дані для ТФБ-На і ТФБ-ТБА (тетраутіл аміону) взято з роботи Piotr Wark, Miller, J. Phys. Chem. 97, 13052 (1993). Праворуч: Залежність ємності подвійного електричного шару від температури [5]. Для порівняння приведено дані комп'ютерного моделювання, взяті з роботи Henderson, J. Mol. Liq., 92, 29 (2001). Пунктирна лінія відображає залежність, отриману без врахування ефектів іонної асоціації.

температурах. І чи низьких значеннях діелектричної сприйнятливості розчину [5]. В границі малих іонних концентрацій теорія дає коректну залежність ємності (рисунок 3, праворуч) як при високих, так і при низьких температурах. При високих температурах  $T$  відтворюється класична  $\sim T^{-1/2}$  поведінка ємності, тоді як при низьких температурах константа асоціації стає безмежно великою, внаслідок чого ємність прямує до нуля, змінюючи нахил температурної залежності. Саме така поведінка спостерігається як експериментально, так і в комп'ютерному моделюванні.

падку сферичних колоїдних частинок отримано прості аналітичні вирази для розрахунку енергії структурних взаємодій та розклинюючого тиску між поверхнями [7]. Ці дві величини мають безпосереднє відношення до лабораторних досліджень і є важливими з точки зору численних практичних застосувань.

Особливу роль у колоїдних дисперсіях відіграє просторове обмеження у вигляді клину, яке досить часто зустрічається на практиці. Для прикладу, типова клиновидна геометрія виникає у випадку сферичної краплі в окрілі плоскої поверхні (рисунок 4,

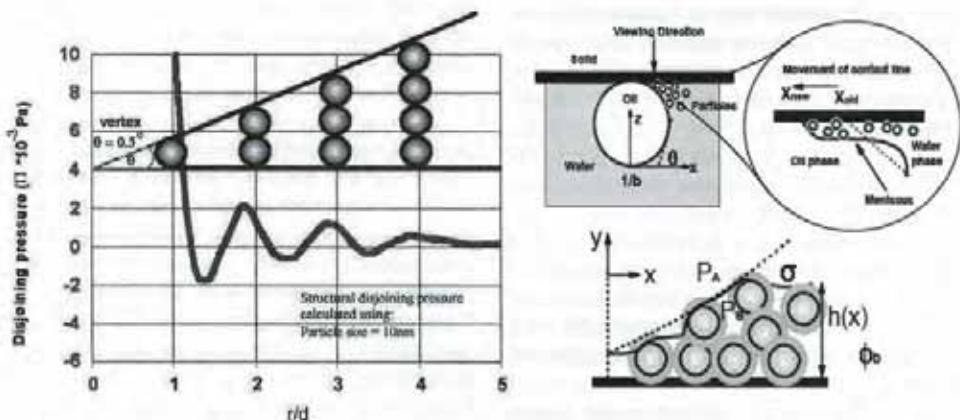


Рис. 4. Ліворуч: Шарування колоїдних частинок в умовах клиновидної щілини. Праворуч: Застосування розклинюючого структурного тиску до механізму поширення нанорідин.

Колоїдні дисперсії. Колоїдні дисперсії належать до об'єктів м'якої речовини, які чи не найчастіше зустрічаються в природних умовах, а також є важливим інградієнтом для низки практичних застосувань. Типовою рисою колоїдних дисперсій є, зокрема, пошарова структуризація частинок поблизу поверхонь. Така структуризація приводить до виникнення ефективних структурних взаємодій між поверхнями. Важливим є той факт, що ці взаємодії на деяких відстанях є притягальними, а на інших – відштовхувальними, залежно від розміру колоїдних частинок [7].

У циклі робіт запропоновано метод розрахунку структурних взаємодій у колоїдних дисперсіях і проведено детальні дослідження для кількох систем. У ви-

праворуч). Зауважимо, що існує принципова відмінність пошарової структуризації колоїдних частинок у щілині, утвореній паралельними та похилими поверхнями. Якщо у першому випадку число шарів колоїдних частинок вздовж щілини є всюди однаковим і визначається відстанню між поверхнями, то у випадку похилих поверхонь число шарів вздовж щілини змінюється і визначається відстанню до початку клину (рисунок 4, ліворуч). Саме ця обставина є визначальною для виникнення осциляцій у структурному розклинюючому тиску вздовж щілини, як це схематично показано на рисунку 4. При цьому, оскільки інтенсивність осциляцій густини числа колоїдних частинок у шарах зростає по мірі наближення до

вершини клину, то і осциляції енергії та розклинючого тиску будуть вести себе відповідним чином.

Цей результат пояснює механізм поширення наноколоїдних плівок вздовж твердих поверхні. В основі запропонованого механізму [19] є вклад від структурного розклинючого тиску при розрахунку профілю меніска краплини (наприклад, жиру або нафти), яка перебуваючи у рідинному середовищі, знаходитьться у контакті з твердою поверхнею. На рисунку 5 приведено дві криві, які описують форму меніска нафтової краплини біля скляної поверхні. Одна з них розрахована для випадку середовища без частинок, а друга отримана після додавання до середовища наночастинок. Така характерна зміна профілю меніска означає, що індукований наночастинками структурний розклинючий тиск приводить до проникнення (тобто, поширення) наноколоїдного розчину у простір між скляною поверхнею та краплиною нафти.

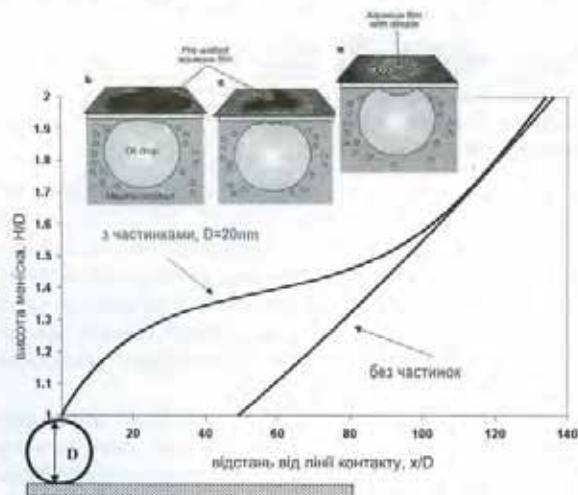


Рис. 5. Вплив структурного розклинючого тиску на профіль меніска нафтової краплини [19]. Вставка вгорі взята зі статті Wasan & Nikolov, Nature, 423, 156 (2003) і демонструє проникнення наноплівки у простір між склом та краплиною. Краплина тримається поверхні завдяки дії сил притягання Ван дер Ваальса, які зменшуються по мірі віддалення краплини від поверхні. Товщина наноплівки з співмірною з розмірами частинок Підібравши відповідний розмір колоїдних частинок можна стимулювати відрив краплини від поверхні.

При відсутності частинок у середовищі, краплина знаходитьться у контакті з поверхнею під дією сил притягання Ван-дер-Ваальса. Після додавання частинок, ентропійні сили спрямовують частинки в область клиновидної щілини, утвореної краплиною та твердою поверхнею (контакт трьох фаз – наноплівка/нафта/тверде тіло). Структурний розклинючий тиск, який виникає в умовах клиновидної щілини, забезпечує поширення частинок у простір між краплиною та склом, утворюючи плівку товщиною трохи більше розміру частинок. Якщо розміри цих частинок підібрати належним чином, то такий ефект спричинить відрив краплини від поверхні через те, що товщина утвореної плівки (а відповідно, і відстань між твердою поверхнею і краплиною) буде більшою за радіус сил притягання, які утримували краплину у контакті з поверхнею. Цей приклад є досить показовим. Він ілюструє як мікроколоїдні мо-

делювання відкриває нові можливості для практичних застосувань м'якої речовини.

Колоїди в рідинних кристалах. Рідинні кристали є ще одним яскравим прикладом м'якої речовини. Сам факт їх існування обумовлений, насамперед, ентропійними ефектами, що визначаються конкуренцією трансляційних та обертальних рухів молекул середовища. Складовими елементами нематичного рідинного кристалу є видовжені молекули, орієнтовані переважно в одному напрямі, що визначає так званий директор. Ситуація з подібною до руху сірників у коробці, який є сильно обмеженим навіть при невеликій кількості сірників. Подібна картина спостерігається і для видовжених молекул, які при збільшенні їх густини отримують значно більше можливостей для трансляційного руху, якщо вони орієнтовані вздовж спільногого напрямку. Тому основною характерною особливістю молекулярної організації нематичного рідинного кристалу є дальній орієнтаційний порядок довгих молекулярних осей. Фізичні властивості рідинних кристалів надзвичайно чутливі до зовнішніх чинників (температури, електричного та магнітного полів, а також механічної дії) і можуть суттєво змінюватися при наявності, зокрема, макроскопічних домішок, тобто колоїдних частинок.

Нематичні колоїди принципово відрізняються від колоїдів на основі ізотропних рідин, оскільки ефективні взаємодії між частинками стають анізотропними і далекосяжними. Дослідження нематичних колоїдів розпочалися лише в останні десятиліття і значні успіхи у цьому напрямку зумовлені вкладом саме українських вчених. Так, у роботах циклу, вперше взаємодія між колоїдними частинками була чітко пов'язана із спотворенням поля директора навколо колоїдів [20]. Було передбачено, що далеко-сяжна анізотропна взаємодія обумовлює нетривіальну поведінку в системі багатьох частинок, що проявляється у формуванні складних структур.

Для ілюстрації, на рисунку 6 приведено експериментально виявлені впорядковані структури у бінарній суміші колоїдних частинок із дипольною та квадрупольною симетріями [21]. Різні типи впорядкування виникають тому, що залежно від локальної конфігурації директора навколо частинок, взаємодія має характерні області як притягання, так і відштовхування. Знання про такі взаємодії дозволяє синтезувати довільний, наперед заданий тип впорядкування у системі. Ця обставина, у поєднанні із унікальними оптичними властивостями рідинних кристалів, дозволяє прогнозу-

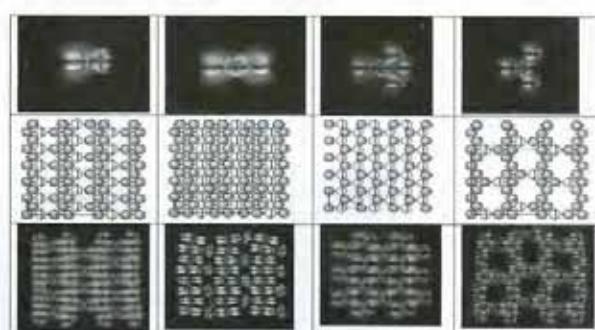
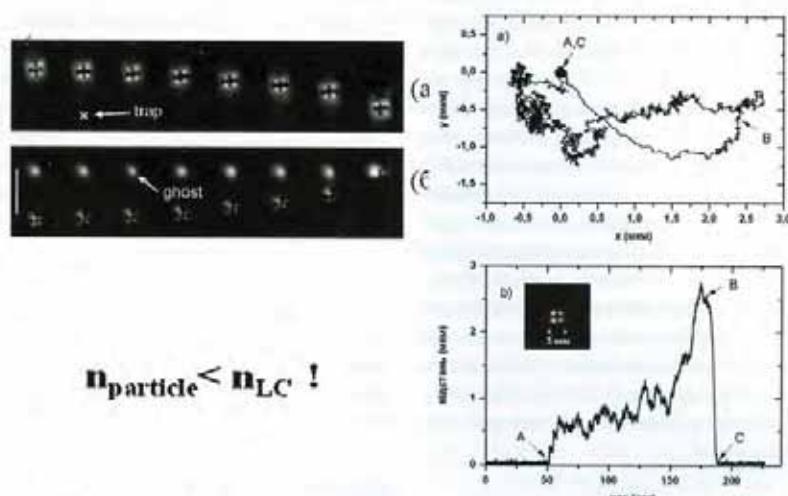


Рис. 6. Бінарні колоїдні гратки, утворені колоїдними частинками з дипольною та квадрупольною симетріями [21].



**Рис. 7.** Ліворуч: Послідовність мікрофотографій, які демонструють процес притягання частинки до локально викривленого поля директора. Шкала відповідає 10 мкм. Праворуч: Оптичне захоплення колоїдних частинок в рідинному кристалі. Вгорі приведена траєкторія частинки у площині комірки, а внизу показано відстань між частинкою і фокусом лазера.

вавти використання нематичних колоїдів вже у найближчій перспективі.

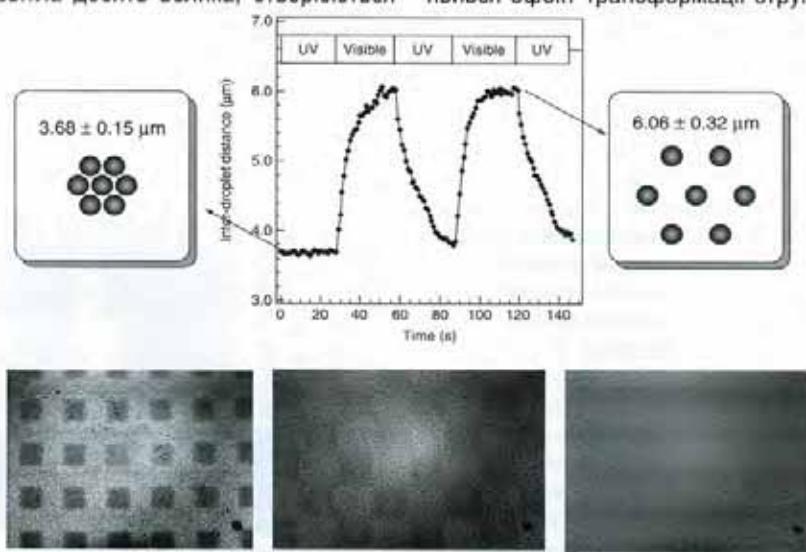
Ще один прикладний аспект полягає у тому, що малі прозорі частинки, підвішені у нематичному кристалі, можуть бути захоплені та керовані інтенсивним лазерним променем. У роботі [22] вперше описано механізм такого захоплення і показано, що він працює навіть тоді, коли показник заломлення у колоїдних частинках є меншим за показник заломлення середовища (у класичних схемах "оптичного лінзета" ситуація є зворотньою).

На рисунку 7 приведено траєкторію частинки у площині комірки та зміну відстані між частинкою і фокусом лазера. Світло вимикається в момент часу А і вимикається в момент часу В. Специфіка такого захоплення полягає у тому, що у фокусі лазерного променя, де інтенсивність світла досить велика, створюються

оптично-індуковані викривлення поля директора, які відіграють роль "частинки-привіда", що у свою чергу починає взаємодіяти з реальною колоїдною частинкою за рахунок пружних сил. При цьому сила захоплення є порівняно слабкою (у кілька разів слабшою за силу захоплення кварцових частинок у воді), але все ще достатньою для маніпулювання частинками і утворення штучних структур.

На завершенні розглянемо вплив на впорядкування у нематичних колоїдах зовнішніх електрических та магнітних полів, який виявлено експериментально і пояснено теоретично. Почнемо з того, що на експерименті було виявлено перетворення гексагональної структури в систему ланцюжків під дією магнітно або електричного поля, прикладеного вздовж структури.

Надзвичайно цікавим з прикладної точки зору виявився ефект трансформації структури, під дією світ-



**Рис. 8.** Трансформація структур, що утворені колоїдними частинками під дією світла.

ла. Якщо в рідинний кристал додати оптично активні добавки, які при дії світла можуть змінювати свій конформаційний стан, змінюючи тим самим поверхневий натяг і пружні константи рідинного кристалу, то стає можливим впливати на стalu гратки сформованої структури. Рисунок 8 ілюструє ефект зміни сталої гратки гексагональної структури. Показано, що при допомозі відповідної маски можна записати довільне зображення. У розвиток цього напрямку досліджень створено фотонні кристали з двома та трьома забороненими зонами в пропусканні електромагнітного випромінювання у мікрохвильовому діапазоні, що не вдавалося зробити досі при використанні традиційних матеріалів.

### Замість висновків

Цикл робіт "Теорія м'якої речовини: розвиток методів і їх застосування", який висунутий на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки за 2012 рік і якому присвячена ця стаття, включає в себе 120 наукових праць, серед яких 7 монографій, 8 розділів у колективних монографіях, 8 оглядових статей, а також регулярні статті в наукових періодичних виданнях, які були відібрані із близько 800, опублікованих авторами циклу. Зрозуміло, що викласти у журнальній статті результати такої об'ємної роботи надзвичайно важко і скоріш за все неможливо. Тому, ми ставили перед собою за мету максимально доступно і популярно познайомити читачів часопису "Винахідник і раціоналізатор" лише з деякими засадничими ідеями та окремими результатами цього циклу робіт. При цьому хотілося також привернути увагу читача до такого нового напрямку досліджень, яким є м'яка речовина, ознайомити із самим поняттям м'якої речовини та типовими об'єктами, які сюди відносяться, розповісти про характерні особливості та проблеми, які постають при вивченні м'якої речовини. Особливо нам хотілося б наголосити на тому, що дослідження м'якої речовини – це яскравий приклад міждисциплінарного наукового напрямку, який знаходиться на стику фізики, хімії, біології, інженерії, матеріалознавства та деяких інших суміжних наук. Розвиток цього напрямку став можливим лише на основі розв'язання низки принципових фундаментальних проблем, що відкрили шлях до розуміння глибинних механізмів явищ і процесів, притаманних м'якій речовині. З іншого боку, в наш прагматичний час усіх хвилює проблема практичного використання знань, добутих фундаментальною наукою. Тому, заключна частина статті містить кілька прикладів отриманих результатів, які на нашу думку можуть викликати зацікавлення читачів.

І на завершення відмітимо, що важливим підсумком багаторічних досліджень авторів циклу стало і те, що нині в Україні фізика м'якої речовини активно розвивається. У травні 2000 року з ініціативи Інституту фізики конденсованих систем при Відділенні фізики і астрономії НАН України створено Наукову раду з проблемами "Фізика м'якої речовини", яка покликана координувати зусилля українських дослідників у цій галузі. Проводяться щорічні наради з проблем фізики м'якої речовини, що мають на меті ознайомлення із найважливішими результатами теоретичних та експериментальних досліджень з фізики рідин, рідинних кристалів, колоїдних, макромолекулярних та біологічних систем,

що отримуються в Україні. Свідченням міжнародного визнання вкладу українських вчених у цій ділянці наукового пізнання є міжнародні конференції з тематики м'якої речовини, які регулярно проводяться в нашій країні і на які з'їжджаються науковці з усього світу.

### Література

- Юхновский И.Р., Головко М.Ф. Статистическая теория классических равновесных систем. Кіїв, Наукова Думка, 1980. – 372 с.
- Юхновский И.Р. Фазовые переходы второго рода. Метод колективных переменных. Кіїв, Наукова Думка, 1985. – 252 с.
- Kalyuzhnyi Y.V., Cummings P.T. Equations of state from analytically solvable integral equation approximations. – In: Equations of State for Fluids and Fluid Mixtures, IUPAC, Elsevier – 2000, Chapter 6, p. 169–253
- Mryglod I.M., Omelyan I.P., Molecular Physics, 92, 913 (1997); Mryglod I.M. Condensed Matter Physics, 16, 753 (1998).
- Henderson D., Holovko M., Trokhymchuk A., Ionic soft matter: Modern trends in theory and applications. Springer, 2005. – NATO Science Series II, Vol. 206.
- von Ferber C., Holovatch Yu., Physical Review E, 56, 6370 (1997); Kalyuzhnyi Y., Lin C.T., Stell G., Journal of Chemical Physics, 106, 1940 (1997).
- Wasan D.T., Nikolov A., Henderson D., Trokhymchuk A., Confinement-induced structural forces in colloidal systems. – In: Encyclopedia of surface and colloid science. Marcel Dekker Inc., 2002, p. 1181.
- Holovatch Yu., Blavats'ka V., Dudka M., International Journal of Modern Physics, 16, 4027 (2002).
- Golovko M.F., Yukhnovsky I.R. Approaches to the many-body theory of dense ion-dipole plasma. Application to ionic solvation. Chemical Physics of Solvation, Part. A. Amsterdam: Elsevier, 1985, p. 207; Tokarchuk M.V., Omelyan I.P., Kobryn O.E., Physical Review E, 62, 8021 (2000).
- Henderson D., Trokhymchuk A., Wasan D. Structure and layering of fluids in thin films. – In: Emulsions: Structure, Stability and Interactions. Elsevier, 2004, p. 259.
- Nazarenko V., Nych A.B., Lev B.I., Physical Review Letters, 87, 075504 (2001).
- Olemskoi A.I., Theory of structure transformations in non-equilibrium condensed matter. Science Publishers, Inc., 1999. – 285 p.
- Olemskoi A.I., Savelyev A., Physics Reports, 416, 145 (2005).
- Omelyan I., Mryglod I., Folk R. Comp. Phys. Communication, 151, 272 (2003); Physical Review E, 66, 026701:1–21 (2002); Physical Review Letters, 86, 898 (2001).
- Mryglod I.M., Omelyan I.P. Molecular Physics, 92, 913 (1997); Trokhymchuk A., Alejandre J., Journal of Chemical Physics, 111, 8510 (1999).
- Kalyuzhnyi Y.V., Stell G. Molecular Physics, 78, 1247 (1993); Kalyuzhnyi Yu.V., Holovko M.F., Molecular Physics, 80, 1165 (1993).
- Urbic T., Vlachy V., Kalyuzhnyi Y., Southall N.T., Dill K.A., Journal of Chemical Physics, 112, 2843 (2000).
- Cassin G., Duda Y., Holovko M., Badiali J.P., Pilati M.P., Journal Chemical Physics, 107, 2683 (1997).
- Chengara A., Nikolov A.D., Wasan D.T., Trokhymchuk A., Henderson D., Journal of Colloid & Interface Science, 280, 192 (2004).
- Lev B.I., Tomchuk P.M., Physical Review E, 59, 591 (1999).
- Ognista U., Nych A., Nazarenko V., Musevic I., Skarabol M., Ravnik M., Zumer S., Poberaj I., Babic D., Physical Review Letters, 100, 217803 (2008).
- Musevic I., Shkarabol M., Babic D., Osterman N., Poberaj I., Nazarenko V., Nych A., Physical Review Letters, 93, 187801 (2004).

Є.Р. Можейко,  
Б.А. Коробка, техн.директор ПАТ «КВБЗ»

## СОВРЕМЕННЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

### Тележки для грузовых вагонов нового поколения

Создание новых тележек и вагонов нового поколения вызвано необходимостью повышения надежности и эффективности с одновременным уменьшением расходов на эксплуатацию современного подвижного состава, поэтому к работе по его созданию активно привлеклись Научно-исследовательские институты совместно с ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» и Государственной администрацией железнодорожного транспорта Украины. Кроме того, учитывая активные работы по созданию аналогичного подвижного состава в других странах, одной из основных целей, которая преследовалась при создании тележек и вагонов нового поколения, было обеспечение независимости в производстве грузовых вагонов и их ремонте от иностранных производителей грузовых вагонов.

К началу опытно-конструкторских работ был проведен комплекс научно-технических исследований, связанных с изучением конструкций многих модификаций ходовых частей, которые изготавливаются в России, США, Китае, сравнением их технических характеристик, изучением технологии производства и специфических технологических процессов.

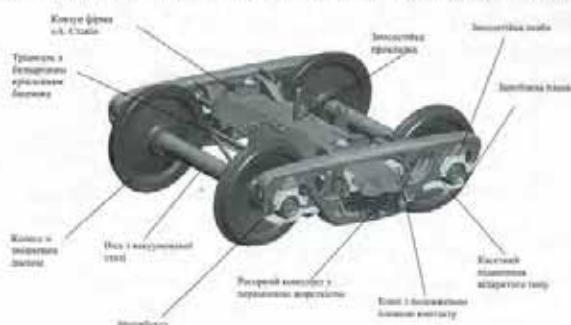
В соответствии с техническими требованиями к подвижному составу нового поколения на Крюковском вагоностроительном заводе была создана отечественная перспективная тележка модели 18-7020 (рис. 1).



Малюнок 1 – Візок моделі 18-7020 з навантаженням від колісної пари на рейки 23,5 тс

Тележка модели 18-7020 отличается следующими конструктивными особенностями (рис. 2):

1. Надressорная балка (рис. 3) и боковая рама (рис. 4) имеют усиленные конструктивные элементы. На надressорной балке расположены унифицированные горизонтальные площадки под постановку скользунов, которые позволяют устанавливать как жесткие скользуны с зазором, так и упругие или упруго-катко-



Малюнок 2 – Вузли візка моделі 18-7020



Малюнок 3 – Надressорна балка з пружно-катковими ковзунами візка моделі 18-7020



Малюнок 4 – Бокова рама із зносостійкими планками візка моделі 18-7020

Таблиця 1. Сравнительные характеристики тележек моделей 18-100 и 18-7020

Наименование показателя	Тележка модели	
	18-100	18-7020
1. Максимальная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, тс	23,5	23,5
2. Конструкционная скорость, км/ч	120	120
3. Масса тележки, т, не более	4,9	4,9
4. База (расстояние между осями колесных пар), мм	1850	1850
5. Расстояние между осями скользунов, мм	1524	1524
6. Тип скользунов	Жесткие скользуны с зазором. Значительные износи, перевалка кузова, нуждается в ремонте при ДР и КР.	Упругие, упруго-катковые скользуны постоянного контакта или жесткие скользуны с зазором. Ориентировочный срок службы скользунов постоянного контакта – 1 млн.км.
7. Тип гасителя колебаний	Клиновой гаситель. Срок службы – 100-200 тыс. км	Фрикционный гаситель колебаний с клином из высокопрочного чугуна и износостойкой полимерной накладкой. Срок службы клина – 1 млн. км
8. Боковая рама с фрикционной планкой, толщиной, мм	6	15,2
9. Рессорное подвешивание	Линейное	Нелинейное
10. Статический прогиб: – под тарой, мм – под брутто, мм	8...9 до 50	Не менее 14 не менее 64
11. Расстояние от уровня головок рельсов до уровня опорной поверхности под пятникового места в свободном состоянии, мм	806 <sup>+12</sup> / <sub>-21</sub>	814 <sup>+12</sup> / <sub>-21</sub>
12. Под пятниковый узел: – диаметр, мм – глубина, мм	300 30	300 30
13. Опорение боковой рамы на буксовый узел колесной пары	Жесткое на буксу	Жесткое на адаптер с износостойкой скобой
14. Способ изготовления рам боковых и балок надрессорных	Литьем	Литьем
15. Ремонтопригодность изношенных частей	Возобновление изношенных поверхностей наплавкой и станочная обработка опорных поверхностей	Замена изношенных накладок в опорных узлах. Ликвидация деповского ремонта по парям трения тележки
16. Конструкция оси	По ГОСТ 22780	По ГОСТ 22780
17. Подшипник: – тип – количество в буксовом узле, шт. – габаритные размеры, мм – тип нагрузки – метод посадки на ось	Однорядный цилиндровый  2  130x250x80 корпус буксы горячая	Двурядный конический кассетный 1 130x230x150 или 130x250x160 адаптер или корпус буксы прессовая (холодная)
18. Конструкция триангуляции тормозной рычажной передачи	С резьбовым креплением башмака	Усиленный триангуль с барабановым креплением башмака (штифтовым)



**Малюнок 5 – Рознесені елементи буксового вузла колісної пари візка моделі 18-7020**

вые скользуны постоянного контакта разных типов в зависимости от типа вагона. Кроме того, нижний пояс надрессорной балки усилен двумя продольными ребрами. На внутренней челюсти буксового отверстия отлит кронштейн для крепления планки, которая предотвращает выпадение колесной пары при поддомкрачивании тележки. Тележка имеет также усиленную боковую раму.

2. Использованы колеса повышенной твердости 320...360 НВ (по Бринелю), с улучшенными механическими свойствами, разработанным в Украине профилем обода ИТМ-73, с поверхностями дисков, подвергнутыми дробеструйному упрочнению. Применение таких колес позволяет за счет уменьшения количества обточек увеличить срок службы колесной пары.

3. В буксовых узлах (рис. 5) применены кассетные конические подшипники TBU130x230x150 с адаптером, который дает возможность снизить трудоемкость монтажа буксового узла и затраты на техническое обслуживание колесной пары (гарантийный срок на подшипники – 8 лет или 800 тыс. км), тем самым уменьшить затраты на промежуточные и деповские ремонты.

4. Рессорное подвешивание включает 2 рессорных комплекта и имеет нелинейную жесткость. Разработанная конструкция рессорного подвешивания обеспечивает прогиб под тарой 18 мм и под брутто 64 мм, что приводит к улучшению ходовых качеств вагона как в порожнем, так и в нагруженном состояниях, уменьшению влияния на колесо. Фрикционный гаситель колебаний – это клин из высокопрочного чугуна и износостойкой полимерной накладки на наклонной поверхности (срок службы клина – 1 млн. км).

5. Тормозная рычажная передача, которая оборудована устройством параллельного отвода колодок и имеет безрезьбовое крепление башмаков, увеличи-

вает надежность крепления башмаков на триангули (рис. 6) и упрощает процесс обслуживания тормозной рычажной передачи.

### Преимущества тележки модели 18-7020

Вышеназванные конструктивные особенности тележек дают следующие преимущества:

- уменьшение рамных сил (на прямых и кривых  $R>800\text{m}$  – в 1,5...2 раза);
- возможность движения с конструкционной скоростью (120 км/ч) без ограничения в порожнем режиме;
- уменьшена до 2 раз величина «забегания» боковых рам;
- значительно уменьшено влияние на верхнее строение колеи (рельсы и элементы стрелочных переводов) в горизонтальной плоскости;
- ожидаемое снижение затрат на тягу поездов и уменьшение износов рельсов и гребней колес за счет уменьшения в 2...3 раза углов «набегания» колесных пар и уменьшения интенсивности «виляния» тележки.

Тележка мод. 18-7020 защищена патентом на изобретение № 77193 «Двовісний візок залізничного вантажного вагона».

### Полувагон модели 12-7023-01

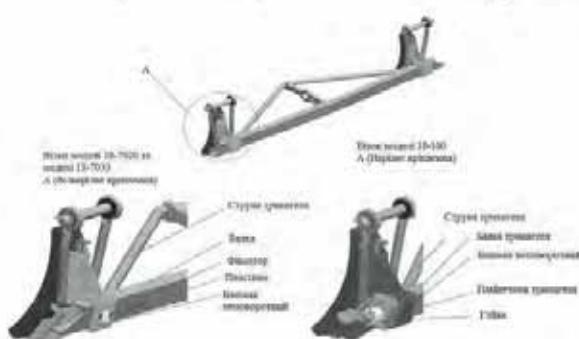
Тележка модели 18-7020 прошла полный комплекс испытаний в составе полувагона модели 12-7023-01 (рис. 7), который соответствует по своим техническим характеристикам требованиям к перспективному грузовому подвижному составу.

Кузов полуваагона модели 12-7023-01 имеет следующие особенности:

- каркас боковых и торцевых стен выполнен из горячекатаных профилей, изготовленных из низколегированных сталей классом прочности 375-390;
- хребтовая балка изготавливается из зетового профиля с классом прочности не менее 390;
- автосцепные устройства включают в себя автосцепки с наплавкой тяговых поверхностей малого и большого зубьев и запирающей поверхности замка в среде аргона. Твердость поверхностей после наплавки НВ 400-500. Поглощающие аппараты повышенной энергоемкости не ниже класса Т1.

**Таблица 2 – Сравнительные характеристики полуваагонов моделей 12-7023-01 и 12-783**

Наименование параметра:	Полувагон модели	
	12-783	12-7023-01
1 Грузоподъемность, т	70,0	70,5
2 Масса тары, т	23,5±0,5	23,0±0,5
3 Объем кузова, м <sup>3</sup>	78,0	83,0
4 Конструкционная скорость, км/ч	120	120
5 Габарит по ГОСТ 9838-83	1-8М	1-8М
6 Длина:		
– по оси сцепления автосцепок, мм	13920	13920
– по концевым балкам, мм	12700	12700
7 База полуваагона, мм	8650	8650
8 Высота от уровня головки рельса до верхней обвязки, мм	3478	3610
9 Ширина полуваагона максимальная, мм	3224	3212



**Малюнок 6 – Елементи триангуля**

10	Внутренние размеры кузова: – длина по верхним обвязкам в свету, мм – ширина по верхним обвязкам в свету, мм – высота, мм	12690 2990 2045	12690 2990 2167
11	Модель тележки по ГОСТ 9246	18-100	18-7020
12	Максимальная расчетная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, кН (тс)	230,5 (23,5)	230,5 (23,5)
13	Срок службы, лет	22	32
14	Коэффициент материлоемкости (отношение массы тары к грузоподъемности)	0,336	0,322

### Преимущества полувагона модели 12-7023-01

Экономический эффект от эксплуатации полувагона модели 12-7023-01 на тележках мод. 18-7020 нового поколения в среднем на один вагон составляет ориентировочно 1 726 \$ в год, и получается за счет:

- увеличения межремонтных пробегов с 210 тыс. км до 500 тыс. км, в том числе по обточке колес. Снижение среднегодовых затрат на ремонт и обслуживание вагонов в 3,5 раза;
- сокращение затрат на тягу поездов в связи с уменьшением коэффициента трения и сопротивления движению поезда до 10%;

– увеличение дохода от грузовых перевозок за счет увеличения грузоподъемности поезда;  
– уменьшение эксплуатационных затрат на тягу поездов за счет снижения тары вагона.

Таким образом, оптимальная конструкция полувагона и тележки, использование в конструкции полувагона высококачественных узлов и деталей, которые изготовлены на ПАТ «КВБЗ» и предприятиях-поставщиках, свидетельствуют о высокой надежности полувагонов.

В настоящее время на железных дорогах Украины эксплуатируется порядка 1000 шт. полувагонов модели 12-7023-01 на тележках модели 18-7020, при этом отказов полувагонов, которые нуждаются в отцепке во внеплановый ремонт, не зафиксировано.

В процессе эксплуатационных испытаний проводились плановые комиссионные осмотры технического состояния полувагонов с замером величин износов элементов вагонов, в том числе с подъемкой вагонов. Результаты измерений величин износов подвергались статической обработке с целью получения прогнозных показателей эксплуатационных износов полувагонов и тележек.

Все измеренные во время комиссионных обзоров размеры изношенных деталей обрабатывались ме-

Таблица 2 – Сравнительные характеристики полувагонов моделей 12-7023 и 12-7039

	Наименование показателя	Полувагоны модели	
		12-7023	12-7039
1	Грузоподъемность, т	70,3	75,5
2	Масса тары, т	23,2±0,5	24,0±0,5
3	Объем кузова, м <sup>3</sup>	90,0	90,0
4	Конструкционная скорость, км/ч	120	120
5	Габарит по ГОСТ 9838-83	1-ВМ	1-ВМ
6	Длина: – по осм сцепления автосцепок, мм – по концевым балкам, мм	13920 12700	13920 12700
7	База полувагона, мм	8650	8650
8	Высота от уровня головки рельса до верхней обвязки, мм	3784	3784
9	Ширина полувагона максимальная, мм	3212	3212
10	Внутренние размеры кузова: – длина по верхним обвязкам в свету, мм – ширина по верхним обвязкам в свету, мм – высота, мм	12478 2964 2362	12478 2964 2362
11	Модель тележки по ГОСТ 9246	18-100	18-7033
12	Максимальная расчетная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, кН (тс)	230,5 (23,5)	245,0 (25,0)
13	Срок службы, лет	22	32
14	Коэффициент металлоемкости (отношение массы тары к грузоподъемности)	0,33	0,318

Таблица 3 – Интенсивность износов и прогнозные пробеги

Изношенная деталь вагона	Интенсивность износа, мм/10 тыс.км пробега	Нормативный допустимый размер детали (износ), мм	Прогнозный пробег вагона	
			До появления первых предельно изношенных деталей, тыс.км	К нормативному износу деталей в 50% вагонов, тыс.км
1 Гребень колеса	0,29> 0,22	25	168,5	285,3
2 Прокат по кругу катания	< 0,1	(6)	Не ограничивается	Не ограничивается
3 Надбуксовий зазор	0,75	от 7 до 1	1460	1670
4 Челюстной зазор	0,079	от 5 до 20	400	2500
5 Завышение клиньев	0,134	> 0	140	705
6 Выступление башмака скользунов	0,19	от 21 до 14	120	365
7 Диаметр под пятника	0,308	308	170	>500
8 Диаметр пятника	0,076	294	252	745
9 Ударно тяговые поверхности автосцепки	0,17	25 (экспертная оценка)	480	1450



Малюнок 7. Піввагон моделі 12-7023-01



Малюнок 8. Піввагон моделі 12-7039.

тодами математической статистики специалистами ДНУЖТа. На основе обработки данных, полученных в ходе пробега вагонов до 250 тыс. км, получены результаты интенсивности износов на 10 тыс. км пробега и прогнозные показатели пробега вагонов, которые представлены в таблице 3.

Как видно из таблицы, применение в конструкции тележки модели 18-7020 термообработанных колес повышенной твердости, а также профиля ИТМ-73 позволили снизить интенсивность износа гребня колеса приблизительно в 3,3 раза: с 0,98>0,86 мм/10 тыс.км в тележке модели 18-100 с типовыми колесами до 0,29>0,22 мм/10 тыс.км в тележке модели 18-7020. А также примененные конструктивные решения обеспечивают плановый межремонтный пробег не менее 500 тыс. км, а по отдельным узлам вагона он составляет более 1 млн. км.

За период испытаний отказов вагонов, нуждающихся в отцепке в текущий ремонт, не зафиксировано.

Результаты работы по созданию полувагона модели 12-7023-01 и тележки модели 18-7020 были представлены на рассмотрение Комиссии Совета по железнодорожному транспорту полномочных специалистов вагонного хозяйства железнодорожных администраций государств-участников СНГ, Латвийской Республики, Литовской Республики, Эстонской Республики, и на заседании Комиссии Совета, которое состоялось 24-26 июня в 2008 г. в городе Худжанд, высоко оценены представителями железнодорожных администраций. В результате получено разрешение с 1 сентября 2008 года на курсирование полувагонов модели 12-7023-01 на тележках модели 18-7020 в межгосударственном сообщении.

Таким образом, решена важная народнохозяйственная проблема – создание отечественных тележек нового поколения, что позволяет ускорить замену изношенного парка грузовых вагонов, повысить его производительность, снизить затраты на обслуживание и ремонт. Одновременно это позволит сэкономить значительные валютные средства и поддержать отечественных производителей.

### Полувагон моделі 12-7039

Полувагон модели 12-7039 (рис. 8) прошел полный комплекс предварительных испытаний на тележках с максимальной расчетной статической нагрузкой от колесной пары на рельсы 25,0 тс. Данный полувагон по своим техническим характеристикам отвечает требованиям к перспективному подвижному составу.

Кузов полуваагона модели 12-7039 имеет следующие конструктивные особенности:

- каркас боковых и торцевых стен выполнен из горячекатанных и гнутых профилей, изготовленных из низколегированных сталей классом прочности 375-390;
- горизонтальные пояски торцевых стен выполнены из гнутых профилей, что позволило снизить массу без ухудшения прочностных характеристик;
- хребтовая балка изготавливается из зетового профиля с классом прочности не менее 390;
- автосцепные устройства включают в себя головы автосцепок с наплавкой тяговых поверхностей малого и большого зубьев и запирающей поверхности замка в среде аргона. Твердость поверхностей после наплавки НВ 400-500. Поглощающие аппараты повышенной энергоемкости класса Т1.

### Преимущества полуваагона модели 12-7039

Экономический эффект от эксплуатации полуваагона модели 12-7039 получается за счет:

- увеличения межремонтных пробегов с 210 тыс. км до 500 тыс. км, в том числе по обточке колес. Снижение среднегодовых затрат на ремонт и обслуживание вагонов в 3,5 раза;
- сокращение затрат на тягу поездов в связи с уменьшением коэффициента трения и сопротивления движению поезда до 10%;
- увеличение прибыли от грузовых перевозок за счет увеличения грузоподъемности поезда.

Таким образом, оптимальная конструкция полуваагона и тележки, использование в их конструкции узлов, деталей и комплектующих, к качеству изготовления которых предъявляются повышенные требования, свидетельствуют о высокой надежности полуваагонов.

### Вагон-платформа моделі 13-7024 для перевозки контейнеров

Интенсивное развитие контейнерных перевозок, вызванное созданием международных транспортных коридоров с увеличением перевозок грузов в контейнерах, привело к необходимости разработки специализированных платформ, максимально полно удовлетворяющих потребностям перевозчика по грузоподъемности и типу перевозимых контейнеров. Такая ситуация привела к созданию целой гаммы платформ, при проектировании которых производитель пытался



Малюнок 9. Платформа моделі 13-7024

обеспечить минимальную массу тары вагона с целью достижения максимальной грузоподъемности.

С учетом допустимой осевой нагрузки 23,5 т, оптимальными параметрами такого вагона являются – грузоподъемность 72 т, масса тары вагона 22 т. Это обусловлено максимально возможной массой брутто 20-футового контейнера – 24 т, 40-футового контейнера – 35 т.

Исходя из условий обеспечения прочности вагона в соответствии с требованиями «Норм» (1996р.), осуществить это крайне сложно, и возможно лишь при металлоконструкции рамы, максимально эффективно воспринимающей продольные и вертикальные нагрузки при эксплуатации, а также использования высокопрочных сталей с классом прочности не ниже 450.

На сегодняшний день предложения вагоностроительных предприятий на рынке платформ для перевозки двух 40-футовых контейнеров, с учетом обеспечения максимальной грузоподъемности имеют такой вид:

Наименование производителя	Модель	Грузо- подъемность, т	Масса тары вагона, т
КВСЗ (г. Кременчуг, Украина)	13-7024	71,2	22,8
Азовмаш (г. Мариуполь, Украина)	13-1796	69,0	25,0
Алтайвагон (г. Ново-алтайск, Россия)	13-2118	69,0	25,0
Рухиммаш (г. Рузаевка, Россия)	13-1281	69,0	25,0
Трансмаш (г. Энгельс, Россия)	13-9751	69,0	25,0
Днепровагонмаш (г. Днепродзержинск, Украина)	23-469-07	69,0	25,0
Абаканвагонмаш (г. Абакан, Россия)	13-9009	60,0	33,5

Как видно из представленной таблицы, наиболее полно отвечает требованиям организации эффективных перевозок грузов в 40-футовых и 20-футовых контейнерах платформа модели 13-7024 (рис. 9) производства ПАО «КВСЗ».

Достичь таких высоких технических характеристик ПАО «КВСЗ» удалось за счет:

- использования в конструкции платформы высокопрочной стали с классом прочности не ниже 450;
- изготовления всех несущих элементов конструкции, кроме консольной хребтовой балки, из сварных профилей оптимальной геометрии;
- изготовления платформы без хребтовой балки в среднем сечении вагона;
- геометрии боковых балок, которая обеспечивает в загруженном состоянии вагона совпадение линии



Малюнок 10. Вагон моделі 19-7016

действия продольных сил с прямолинейной нейтральной осью боковых несущих балок, что позволило практически исключить напряжения изгиба от действия продольных сжимающих и растягивающих усилий;

– использования конструкции разнесенных по высоте поперечных балок, уменьшающих влияние скручивающих напряжений на общее напряженное состояние конструкции;

– эффективной конструкции узла перераспределения продольных усилий от хребтовой балки к боковым несущим элементам;

– использования раздельной тормозной системы для каждой тележки вагона, что позволило уменьшить общую массу рычажной тормозной передачи, при одновременном повышении надежности работы тормозов за счет обеспечения более равномерного нажатия тормозных колодок на колеса.

В ходе полномасштабных предварительных, приемочных и сертификационных испытаний, выполненных Государственным Украинским НИИ вагоностроения, который является испытательным центром Регистра Сертификации на Федеральном железнодорожном транспорте России, подтверждены высокие ходовые, тормозные и прочностные характеристики вагона-платформы модели 13-7024. Платформа принята межведомственной комиссией к серийному производству и сертифицирована в СС ФЖТ РФ.

На сегодняшний день на железных дорогах стран СНГ и Балтии успешно эксплуатируются более 1500 шт. платформ мод. 13-7024, изготовленных на ПАО «КВСЗ».

На базе данного вагона также создана платформа модели 13-7024-01 на тележках модели 18-7020.

Патент на промышленный образец № 17453, Украина «Вагон-платформа для перевозки контейнеров».

### Перспективные направления в создании бункерных вагонов для перевозки сыпучих грузов

ПАО «КВСЗ» создан типоразмерный ряд и начат серийный выпуск семейства крытых вагонов-хопперов для сыпучих грузов. Эти вагоны с современным дизайном кузова каплевидной формы, без хребтовой балки, с раздельным торможением каждой тележки. Вагоны предназначены для перевозки широкой номенклатуры сыпучих грузов, в том числе минеральных удобрений, зерна, цемента и др. и отличаются своими техническими параметрами (объемом кузова, базой, типами разгрузочных устройств).



Малюнок 11. Вагон моделі 19-7017

Вагоны бункерного типа созданы ПАО «КВСЗ» по принципу модульной сборки, имеют высокие прочностные характеристики, ходовые, тормозные, эксплуатационные характеристики, которые подтверждены полным комплексом предварительных, приемочных и сертификационных испытаний. Кроме того, конструкция кузова позволяет безболезненно перейти на максимальную статическую нагрузку на ось 25 тс.

В 2004 г. на серийное производство была поставлена первая модель из семейства вагонов – 19-7016 (рис. 10), предназначенная для перевозки легковесных грузов, в основном зерна, с насыпной плотностью до  $0,8 \text{ т}/\text{м}^3$ , с гравитационной разгрузкой в межрельсовое пространство через шиберные разгрузочные устройства, грузоподъемностью 70,2 т и объемом кузова  $108\text{m}^3$ .

В настоящее время поставлена на серийное производство еще одна модель вагона-хоппера – 19-7016-01 на тележках модели 18-7020.

Следующим шагом стала постановка на серийное производство вагонов моделей 19-7017 и 19-7017-01 (рис. 11) для перевозки минеральных удобрений. Объемы их кузовов соответственно равны  $91 \text{ m}^3$  и  $87 \text{ m}^3$ , грузоподъемность – 71,0 т. Отличие двух моделей заключается также в конструкции разгрузочных устройств – шиберного с передвижной заслонкой, и рычажного – с прислонными крышками.

В последние годы модельный ряд вагонов-хопперов был пополнен моделями 19-7017-02 (вагон для глинозема) -03, -04 (для зерна), а также моделями 19-7017-05, 19-7017-06 (вагоны для минудобрений и зерна с объемом кузова  $96 \text{ m}^3$ ).

В 2011 г. поставлены на серийное производство вагоны для зерна моделей 19-7053-01 и 19-7053-02 с объемом кузова  $116 \text{ m}^3$ . В настоящее время завод изготавливает вагоны мод. 19-7053-02 для Латвийских ж.д.

В перспективе ПАО «КВСЗ» планирует выпуск новой модели вагона для сыпучих грузов с повышенной грузоподъемностью, увеличенным объемом кузова, максимальной расчетной статической нагрузкой от колесной пары на рельсы 25 тс и увеличенным межремонтным пробегом до 4-х лет (500 тыс. км). На данный момент уже разработана конструкция вагона для зерна модели 19-7053 с осевой нагрузкой 25 тс, с повышенной до 75,5 т грузоподъемностью и увеличенным до  $116 \text{ m}^3$  объемом кузова, испытания которого запланированы в текущем году.

При разработке новых бункерных вагонов специалистами ПАО «КВСЗ» были тщательным образом изу-

чены проблемы существующих конструкций, найдены пути повышения работоспособности в эксплуатации, которая в значительной степени зависит от примененных конструктивных решений.

Так, в конструкции вагонов-хопперов Крюковских вагоностроителей исключены такие недостатки, присущие аналогичным вагонам предприятий-конкурентов, как:

- сложность конструкции разгрузочных устройств, увеличенное количество шарнирных соединений, которое вызывает большую вероятность потери работоспособности из-за изменения геометрических размеров, особенно в агрессивной среде, а также неудобство при обслуживании и эксплуатации;

- вероятность возникновения щелевой коррозии между каркасными элементами конструкции (стойками, дугами крыши) и обшивкой кузова;

- наличие элементов конструкции в виде «полок», гофров, хребтовой балки, которая препятствует высыпанию груза.

Крытые хопперы производства ПАО «КВСЗ» имеют гладкие внутренние поверхности без углов и выступлений, которые могли бы затруднить разгрузку продукта. Кроме того, конструктивное решение, принятое для кузовов вагонов этого типа, повышает качество нанесения внутреннего покрытия, сокращает объем сварочных работ.

За счет более эффективного использования подвагонного пространства получен сниженный центр тяжести загруженного вагона, повышен его устойчивость при движении и уменьшено динамическое воздействие на колею.

Перевозимые грузы должны быть защищены не только от атмосферных осадков, но и от контакта с металлическими внутренними поверхностями вагона. Поэтому, кроме перечисленных особенностей конструкции вагонов-хопперов для сыпучих грузов, при их производстве используются такие известные сегодня технические решения, как применение облицовок из тонколистовой нержавеющей стали на заслонке шибера, коррозионностойкие защитные покрытия, которые наносятся методом напыления на предварительно подготовленную поверхность. Перечисленные выше конструктивные особенности кузова вагона обеспечивают высокое качество и стойкость внутреннего защитного покрытия, технологичность его нанесения и ремонта в эксплуатации.

В конструкции вагонов применена разделная тормозная система каждой тележки, которая обеспечивает равномерное нажатие тормозных колодок на колеса при разных режимах торможения, что снижает возможность образования дефектов на поверхности качения колес и увеличивает пробег вагона между обточками колес и срок службы колесных пар.

Кроме вышесказанного, можно с уверенностью отметить, что оптимальное соотношение между объемом кузовов и грузоподъемностью вагонов-хопперов производства ПАО «КВСЗ» позволяет достичь высокого экономического эффекта в эксплуатации при перевозке разнообразных сыпучих грузов.

**В.Г. Бар'яхтар,** академік НАН України, д.ф.-м.н., професор,  
директор Інститута магнетизму НАН України

**I.M. Неклюдов,** академік НАН України, д.ф.-м.н., професор,  
генеральний директор Національного наукового центру  
«Харківський фізико-технічний інститут» НАН України

## ПРИБОРКАННЯ ПУЧКІВ ЧАСТИНОК ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ

Стисло викладено зміст циклу наукових праць «Динаміка пучків частинок високих енергій у кристалічних структурах, керування параметрами пучків та властивостями гамма-випромінення» авторів: А.М. Довбні, В.Б. Ганенка, А.А. Гриненка, В.Й. Касілова, Г.Д. Коваленка, М.І. Маслова, В.Л. Мороховського, В.І. Трутня, С.П. Фоміна і Б.І. Шраменка, висунутого Національним науковим центром «Харківський фізико-технічний інститут» на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки 2012 року. Дано загальна характеристика отриманих результатів та оцінка їх значення для фундаментальної та прикладної фізики.

**Ключові слова:** динаміка пучків заряджених частинок, високі енергії, електрон, позитрон, кристал, каналювання, гамма-випромінювання

Серед робіт, які висунуті в цьому році на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки, особливе місце займає цикл досліджень харківських фізиків з Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ ХФТІ), присвячений вивченням електродинамічних процесів при взаємодії пучків заряджених частинок високих енергій з кристалами. Особливість цього циклу робіт полягає перш за все в природному поєднанні глибокої фундаментальної та актуальної прикладної фізики, теорії та експерименту, історичних досягнень вітчизняної науки і техніки та найсучасніших результатів, отриманих у провідних світових наукових центрах, таких як CERN (Європейський Центр Ядерних Досліджень, Женева, Швейцарія), SLAC (Стенфордський Центр Лінійних Прискорювачів, США), ІФВЕ (Інститут Фізики Високих Енергій, Протвіно, Росія) та інших.

А почалося все, як це нерідко буває, з одного парадоксального експериментального результату, отриманого більше 40 років тому назад на найпотужнішому на той час у Європі (другому у світі) лінійному прискорювачі електронів ЛПЕ-2 ГeВ ХФТІ. Розроблений фахівцями ХФТІ, споруджений при сприянні провідних наукових інститутів та підприємств Радянського Союзу, цей прискорювач (Рис. 1) на довгі роки став одним з найдосконаліших інструментів для досліджень мікро-світу, завдяки якому було отримано чимало наукових результатів світового рівня.

Одним з таких результатів було відкриття у 1971 році явища каналювання релятивістських позитронів у монокристалах, яке було здійснено на тільки що ство-

реному позитронному каналі ЛПЕ-2 ГeВ. Інтрига полягала в тому, що отримані експериментальні дані по гальмівному випромінюванню позитронів у монокристалах кремнію при падінні пучка позитронів вздовж кристалографічних площин або осей принципово суперечили передбаченням існуючої на той час теорії корелентного гальмівного випромінювання у кристалах. Тому спочатку ці результати сприймалися колегами велими критично. Знадобилося кілька років наполегливої праці, додаткових вимірювань і перевірок за допомогою різноманітних оригінальних експериментальних методик, підключення провідних теоретиків інституту: Олександра Ілліча Ахієзера, Петра Івановича Фоміна і ще зовсім молодого дипломника харківського фізтеху, а нині директора Інституту теоретичної фізики імені О.І. Ахієзера ННЦ ХФТІ, академіка НАН України Миколи Федоровича Шульги – перш, ніж стало ясно, що йдеться про нове фізичне явище – гамма-випромінювання при каналюванні релятивістських позитронів у кристалах.

Головною ознакою цього явища була принципова відмінність при випромінюванні електронів і позитронів у орієнтованому кристалі, яка обумовлена, як з'ясувалось згодом, кореляціями при послідовних зіткненнях швидких частинок з атомами кристалічної гратки. Ці кореляції є причиною досить складної динаміки пучка заряджених частинок у полі кристалічної гратки: різні фракції пучка водночас можуть перебувати в різних режимах руху в кристалі: фінітний (каналювання) або інфінітний (надбар'єрний), регулярний або хаотичний, що суттєво впливає на вторинні електро-



Рис. 1. Загальний вигляд кілостронного залу прискорювача ЛПЕ - 2 ГeВ.

динамічні процеси, такі як багатократне розсіяння, іонізаційні втрати енергії, гальмівне випромінювання, електроядерні реакції та інші.

Подальший розвиток цих досліджень в ХФІ та в інших наукових центрах привів до формування нового напрямку в електродинаміці високих енергій у речовині, і, насамперед, у кристалах та інших регулярних структурах, таких як нанотрубки, фуллерити і тому подібне. Цей напрямок характеризується суттевим впливом динаміки частинок у кристалічних структурах на супроводжувальні електродинамічні процеси, а також зростанням ефективної константи зв'язку при взаємодії швидких заряджених частинок з атомами кристалу, що призводить до значного посилення (або пригнічення) виходу тих чи інших процесів. Результати проведених досліджень відкрили нові можливості в створенні інтенсивних пучків рентгенівського і гамма-випромінення та керуванні параметрами пучків заряджених частинок високих і надвисоких енергій за допомогою кристалів.

У радянські часи ці роботи велися в рамках цільової програми створення джерела інтенсивного гамма-випромінення для потреб зміцнення обороноздатності СРСР. Важливість задачі та значні ресурси, що виділялись для її вирішення, сприяли тому, що у відносно короткий термін в ХФІ була створена відповідна матеріальна база та проведено цілу низку комплексних досліджень динаміки пучків релятивістських частинок у монокристалах та її впливу на властивості гамма-випромінення. Після розпаду Радянського Союзу спрямованість цих досліджень була суттєво розширенна та переорієнтована на цивільні програми, з'явились також можливості широкої міжнародної співпраці в цій галузі.

Зараз цей напрямок продовжує активно розвиватися в багатьох наукових центрах, де є прискорювачі заряджених частинок, таких як CERN (Швейцарія), SLAC (США), ІФВЕ (Росія), KEK (Японія) та багатьох інших, приносячи все нові та нові важливі результати як фундаментального, так і прикладного характеру. Харківські вчені, які були пionерами в цій галузі досліджень, і сьогодні займають провідні позиції в світі, незважаючи на те, що роботи на ЛПЕ-2 ГeВ були зупинені майже 20 років назад із-за нестачі фінансування, і тепер експерименти доводиться ставити за кордоном, працюючи у складі різних міжнародних колаборацій.

Одним з яскравих результатів, що має фундаментальне значення для фізики взаємодії частинок високих енергій з речовиною, є відкриття передбаченого в ХФІ ефекту пригнічення гальмівного випромінювання ультрарелятивістських електронів і позитронів у тонкому шарі речовини та розробка відповідної кількісної теорії в роботах М.Ф. Шульги та С.П. Фоміна. Цей ефект, разом з ефектом Ландау–Померанчука–Мігдала, є проявом суттевого впливу багатократного розсіяння на процес випромінювання, що призводить до радикальних відмінностей радіаційних втрат частинок у речовині у порівнянні з результатами загальновизнаної теорії гальмівного випромінювання Бете–Гайтлера. Необхідність урахування цих ефектів при розробках прискорювачів і детекторів часток надвисоких енергій стала причиною проведення спеціальних експериментальних досліджень в SLAC і CERN. Після серії експериментів NA63, проведених в CERN в 2005-2010 роках на пучках електронів і позитронів з енергією до 300 ГeВ, і успішного підтвердження передбачень теорії, ефект пригнічення гальмівного випромінювання у тонкому шарі речовини в світовій науковій літературі одержав назву ефекту Терновського–Шульги–Фоміна

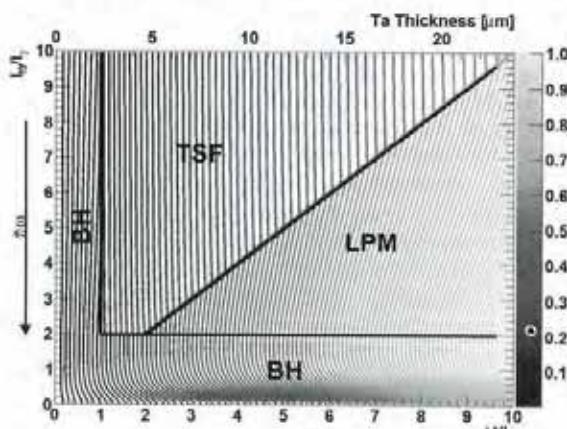


Рис. 2. Області застосування теорії Бете-Гайтлера (BH), Ландау-Померанчука-Мігдала (LPM) і Терновського-Шульги-Фоміна (TSF) на діаграмі залежності спектральної щільності випромінювання ультра-релативістських електронів від товщини мішенні. (Рисунок з дисертації Х. Томсена, одного з учасників експерименту NA63 CERN)

(дивись, наприклад, статтю H. Thomsen et al., Phys. Rev. D, 81 (2010) 052003).

На Рис. 2 представлена області застосування традиційної теорії гальмівного випромінювання Бете-Гайтлера (BH), відомого ефекту Ландау-Померанчука-Мігдала (LPM) та передбаченого у ХФТ ефекту Терновського-Шульги-Фоміна (TSF).

Цей рисунок показує, що при високих енергіях загальновідома теорія гальмівного випромінювання Бете-Гайтлера має досить обмежену область застосування, в той час як останні два ефекти поділяють між собою основну площину фазового простору на Рис. 2. Загальнофізична релативістська суть цих ефектів, яка пов'язана з особливістю розвитку процесу випромінювання в просторі та часі, вказує на те, що вони повинні мати свої аналоги також і у квантовій хромодинаміці при взаємодії кварків і глюонів. Це додає важомості цьому дійсно фундаментальному результату, і дає надію, що можливо ці ефекти незабаром будуть виявлені також і при вивченні властивостей кварк-глюонної плазми на Великому Адронному Колайдері (LHC) в CERN за допомогою величезного детектора ALICE, в створенні якого, до речі, приймала участі і група харківських фізиків під керівництвом М.І. Маслова, одного з авторів висунутого циклу робіт.

Важливим внеском в теорію і практику керування параметрами пучків прискорених частинок стало теоретичне передбачення можливості відхилення пучків заряджених часток високих енергій за допомогою зігнутого кристала на основі механізму стохастичного розсіяння частинок ланцюжками атомів кристалу, що було зроблено в роботах А.А. Гриненка та М.Ф. Шульги. Існування цього ефекту було нещодавно експериментально підтверджено на прискорювачі SPS CERN (дивись Рис. 3), після чого цей механізм отримав назву механізму Гриненка-Шульги.

Використання зігнутих кристалів товщиною декілька сантиметрів замість надпотужних електромагнітів розміром в десятки метрів для відхилення пучків заряджених частинок надвисоких енергій має революційне значення в техніці прискорювачів. Так, на прискорювачах ІФВЕ (Протвіно, Росія), ФерміЛаб (Ботавія, США),

CERN (Женева, Швейцарія) зігнуті кристали (механізм планарного каналювання позитивно заряджених частинок) вже використовуються для повільного виведу пучків з циклічних прискорювачів, очистки гало пучків і навіть для вимірювання магнітних моментів короткоживучих елементарних частинок. Застосування механізму Гриненка-Шульги, який є ефективним для відхилення не тільки позитивно, але й негативно заряджених частинок, суттєво розширяє коло задач з використанням зігнутих кристалів і зараз впроваджується на прискорювачах ІФВЕ та CERN, в тому числі, для очистки гало пучка Великого Адронного Колайдера (LHC, CERN) при суттєвому збільшенні його світимості, що планується здійснити найближчим часом.

Окрім вже згаданих, авторами циклу було відкрито цілу низку нових орієнтаційних ефектів у кристалах, серед яких: анігіляційне випромінювання каналізованих позитронів, когерентне багатократне розсіяння швидких заряджених частинок на ланцюжках атомів прямого та зігнутого кристалу, гальмівне випромінювання каналізованих і надбар'єрних електронів і позитронів у кристалах та інші. Більшість з цих ефектів вже знайшли та продовжують знаходити практичне застосування в різноманітних пристроях, як для фізики високих енергій, так і для суттєво технічних потреб. Деякі теоретичні розробки, такі як використання вуглецевих нанотрубок для керування пучками частинок високих енергій, ще чекають своєї практичної реалізації за умов технологічної спроможності створення жмутів нанотрубок макроскопічних поперечних та поздовжніх розмірів.

Серед прикладів практичного використання здобутих у циклі робіт результатів треба відзначити розробку джерела гамма-випромінення з унікальними параметрами, а саме: висока інтенсивність, вузькоспрямованість, квазімонохроматичність та високий ступінь поляризації. Таке джерело має широке коло можливих застосувань від медицини і техніки, до прискорювачів частинок високих енергій.

Одним з найважливіших прикладних результатів, проведених в рамках даного циклу досліджень, є також розробка позитронного джерела на основі кристалічного конвертора для майбутнього Міжнародного Лінійного електрон-позитронного Колайдера (ILC), який приде на заміну LHC (CERN) і стане наступним найпотужнішим інструментом для фізики високих енергій після завершення досліджень на LHC. Ці роботи, що

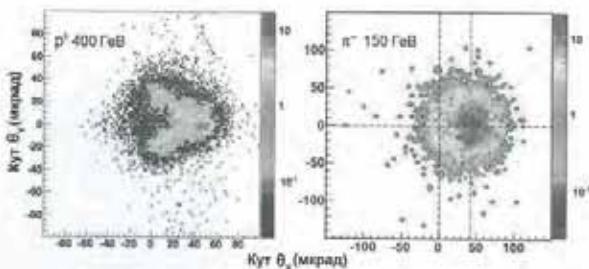


Рис. 3. Відхилення зігнутим кристалом пучків:  
(a) протонів з енергією 400 ГeВ,  
(b) р-мезонів з енергією 150 ГeВ на прискорювачі SPS CERN [W.Scandale et al., Phys. Rev. Lett. 101 (2008) 164801; Phys. Lett. B 680 (2009) 301]. Первинний напрямок пучка відповідає  $\theta_x = \theta_y = 0$ .

проводяться в рамках широкої міжнародної колаборації CERN за участю авторів циклу, за визнанням одного з керівників цього проекту професора Ксав'єра Артура (Ліон, Франція), суттєво спираються на результати досліджень харківської групи щодо основних механізмів випромінювання в орієнтованих кристалах та оптимізації параметрів кристалічного конвертора, отриманих у ХФТІ протягом кількох десятирич.

Про широке міжнародне визнання загального внеску харківської групи в розвиток цього напрямку свідчить велика кількість відгуків та листів підтримки, щодо висунення циклу робіт, від керівників та учасників різних міжнародних колаборацій із CERN, Франції, Італії, Росії, США, Німеччини, Данії, Швеції. Про це свідчить також присвоєння імен харківських фізиків, авторів циклу, відкритим в цих експериментах ефектам.

Запорукою успіху даного циклу робіт був постійний тісний зв'язок технологів, експериментаторів і теоретиків, що є характерною рисою організації наукових досліджень у ХФТІ з моменту його заснування.

Однією з найважливіших невід'ємних складових даного циклу робіт був постійний удосконалення експериментальної бази ННЦ ХФТІ, і, у першу чергу, створення пучків електронів і позитронів високих енергій з прецизійними параметрами по інтенсивності, монохроматичності та кутової розбіжності, без чого проведення експериментальних досліджень по цьому напрямку було б неможливим. Для забезпечення необхідних параметрів пучків групою фахівців під керівництвом члена-кореспондента НАН України А.М. Довбні було проведено низку фундаментальних досліджень і розробок нових прискорювальних систем і пристройів, чим зроблено значний внесок у розвиток теорії і техніки прискорювачів електронів високих енергій. Економічний ефект від впровадження цих розробок складає понад 76 млн. грн.

Завдяки пionерським експериментальним та теоретичним роботам, а також визначному вкладу в подальший розвиток цього напрямку, харківська школа фізики взаємодії частинок високих енергій з речовиною, засновниками якої є академіки НАН України О.І. Ахієзер

та М.Ф. Шульга, на протязі десятирич займає провідне місце в світі в цій галузі фізики. Про це свідчить велика кількість публікацій в провідних наукових журналах, чисельні запрошення авторів циклу для участі в міжнародних конференціях та проектах, а також для участі у постановці та проведенні експериментів на прискорювачах часток високих енергій у провідних світових центрах, таких як CERN (Женева, Швейцарія), SLAC (Стенфорд, США), IFBE (Протвіно, Росія), OIЯД (Дубна, Росія), S-DALINAC (Дармштадт, Німеччина), LAL (Орсе, Франція), INFN (Фраскаті, Італія), MAX-Lab (Лунд, Швеція) та інших.

За матеріалами циклу робіт опубліковано монографію у видавництві Cambridge Scientific Publishers (UK, 2005), 2 монографічні огляди, 10 оглядів у наукових журналах та збірках статей, 159 оригінальних статей у провідних вітчизняних та зарубіжних наукових журналах, отримано 12 авторських свідоцтв.

Отримані авторами циклу результати не просто відповідають вищому світовому рівню робіт в галузі фізики взаємодії частинок високих енергій з речовиною, але визначають його. Ці результати неодноразово відзначалися в доповідях Президента НАН України академіка Б.Є. Патона та Віце-президента НАН України А.Г. Наумовця як особливі досягнення вітчизняної науки, що сприяють зростанню авторитету України у світі.

Представленій цикл робіт «Динаміка пучків частинок високих енергій у кристалічних структурах, керування параметрами пучків та властивостями гамма-випромінення» переконливо доводить, що великі традиції УФТІ, в якому рівно 80 років тому назад було здійснено перше в СРСР (друге в світі!) розщеплення атомного ядра, і зараз підтримуються на високому світовому рівні. Побажаємо авторському колективу циклу робіт: А.М. Довбні, В.Б. Ганенку, А.А. Гриненку, В.Й. Касілову, Г.Д. Коваленку, М.І. Маслову, В.Л. Мороговському, В.І. Трутню, С.П. Фоміну і Б.І. Шраменку – подальших успіхів в наукових дослідженнях.

■



**В.Г. Переверзєв**

**В.І. Конох,** кандидат технічних наук

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля»

## НОВИЙ УКРАЇНСЬКИЙ РАКЕТНИЙ ДВИГУН ДЛЯ ВЕРХНІХ СТУПЕНІВ РАКЕТ-НОСІЇВ

Конструкторським бюро двигунних установок Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля» розроблено рідинний ракетний двигун для верхніх ступенів ракет-носіїв, розгінних блоків та космічних апаратів. Двигун надаптований до четвертого ступеня європейської ракети-носія (ЄРН) легкого класу «Вега» та виготовлений Державним підприємством «Виробниче об'єднання «Південний машинобудівний завод ім. О.М. Макарова». 13 лютого 2012 р. із космічного центру в Куру (Французька Гвіана) відбувся перший запуск ЄРН «Вега». Двигун успішно відпрацював згідно запланованої програми, ракета повністю виконала програму польоту.

**Ключові слова:** рідинний ракетний двигун, камера двигуна, ракета-носій

В теперішній час в усьому світі велика увага приділяється проведенню космічних досліджень, включно із дослідженнями Землі та її навколошнього простору, з використанням ракет-носіїв різноманітного класу.

Однією із найбільш складних та дорогих систем ракет-носіїв в процесі їх створення, відпрацювання та практичного використання є рідинні ракетні двигуни. Керувати величезною енергією, що виникає у камері ракетного двигуна при спалюванні ракетного палива в умовах високого тиску та температури у декілька тисяч градусів Цельсію – дуже складна задача, яка до снаги лише висококваліфікованим спеціалістам, що володіють глибокими знаннями теоретичного та прикладного характеру в галузі термодинаміки, газодинаміки, тепlop передачі, механіки, динаміки, міцності та ряду інших наук. Тому багато країн, які створюють ракети-носії, намагаються придбати готові ракетні двигуни, в зв'язку з чим ракетні двигуни на ринку космічних технологій представлені у якості самостійного товару.

Таким самостійним товаром на ринку космічних послуг є розроблений конструкторським бюро двигунних установок Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля» (ДП «КБ «Південне») рідинний ракетний двигун для верхніх ступенів ракет-носіїв, розгінних блоків та космічних апаратів. За більш ніж сорокарічний період у цьому конструкторському бюро було розроблено понад 35 двигунів та двигунних установок із використанням рідких компонентів палива, більша частина яких пройшла повний цикл відпрацювання та була використана у складі ракет, створених ДП «КБ «Південне». В числі створених двигунів є рульові та маршеві, двигуни спеціального призначення для верхніх ступенів ракет-носіїв, ступе-

нів розведення та розгінних блоків, а також двигунний блок, який призначений для посадки людини на Місяць, злітання із його поверхні і виведення пілотованого модуля на навколоземну орбіту.

За цей час у двигунобудівників ДП «КБ «Південне» були вироблені певні тенденції та підходи до проектування та відпрацювання двигунів різноманітного призначення, сутність яких полягає у пошуках і реалізації високоефективних, іноді нетрадиційних, схемних і конструктивних рішень, максимальному використанні в майбутніх розробках найбільш вдалих технічних рішень та, по можливості, окремих вузлів та агрегатів із проведенням їх модифікації стосовно до нових умов роботи і подальшого вдосконалення.

Усі двигуни, які перелічені вище, за винятком останнього, були із турбонасосною системою подачі компонентів палива. Аналіз світової практики ракетного двигунобудування показує, що існує стійка тенденція використання для верхніх ступенів ракет, розгінних блоків і космічних апаратів рідинних ракетних двигунів із витисною системою подачі компонентів палива тягою (200...400) кгс. У зв'язку із цим двигунним КБ ДП «КБ «Південне» були проведені проектні опрацювання варіанту двигуна із витисною системою подачі компонентів палива для ракет-носіїв космічного призначення.

Результати робіт показали, що при умові використання високоефективних випробуваних і нових технічних рішень спеціалістами КБ може бути створений двигун із витисною системою подачі компонентів палива для верхніх ступенів ракет-носіїв, розгінних блоків і космічних апаратів, що переважатиме за основними характеристиками двигуни такого класу ведучих підприємств зарубіжжя.

У 1996 році спеціалісти ДП «КБ «Південне» познайомили із результатами проведених робіт із новим двигуном спеціалістів італійської фірми «Фіат-Авіо» (тепер «Авіо»), яка отримала від Європейського космічного агентства завдання на розробку космічної ракети-носія «Вега».

«Вега» – ракета легкого класу, сама найменша із трьох ракет-носіїв Європейського космічного агентства, яка призначена для виведення на сонячно-синхронну орбіту висотою 1200км супутників масою до 1200кг або на полярну орбіту висотою 700км супутників масою 1500кг. Ракета складається із трьох твердо-паливних ступенів та четвертого ступеня, який працює на рідкому паливі. Її висота становить 30м, діаметр 3м, стартова маса досягає 137 тонн. Розробка твердо-паливних двигунів перших трьох ступенів ракети здійснювалась спеціалістами фірми «Авіо». Для четвертого ступеня, задача якого є самою відповідальною – доставка космічних апаратів на задані орбіти, фірма «Авіо» шукала розробника рідинного ракетного двигуна.

Маючи інформацію по двигунам усіх відомих двигунобудівних компаній Європи, Росії та США, італійці зупинили свій вибір на двигуні, який запропонували спеціалісти ДП «КБ «Південне», оскільки українські спеціалісти гарантували найкращі характеристики двигуна.

Згідно запропонованому «Авіо» окремому контракту у ДП «КБ «Південне» були проведені спеціальні дослідні роботи, в тому числі виготовлення та вогневі випробування двох варіантів експериментальних камер для нового двигуна, які підтвердили реальність досягнення заявлених характеристик пропонованого двигуна. Підсумком проведених робіт стала видача фірмою «Авіо» ДП «КБ «Південне» у травні 2003 року Технічного завдання на розробку блоку маршевого двигуна, а у лютому 2004 року – підписання Контракту «Авіо» із Державним підприємством «Конструкторське бюро «Південне» та Державним підприємством «Виробниче об'єднання «Південний машинобудівний завод» на розробку, виготовлення, відпрацювання, кваліфікацію і постачання у «Авіо» льотної моделі блока маршевого двигуна четвертого ступеня європейської ракети-носія «Вега».

Маршовий двигун четвертого ступеня ЄРН «Вега» являє собою однокамерний рідинний ракетний двигун тягою 250кгс, який працює на самозаймистих компонентах палива – азотному тетроксиді (AT) та несиметричному диметилгідразині (НДМГ). До двигуна висуваються дуже високі вимоги з енергомасових характеристик, ресурсу (кількості включень та тривалості роботи) і надійності двигуна.

Розроблений спеціалістами двигунного КБ ДП «КБ «Південне» рідинний ракетний двигун для верхніх ступенів ракет-носіїв, розгінних блоків і космічних апаратів, адаптований для четвертого ступеня ЄРН «Вега» є видатним досягненням в галузі проектування та створення рідинних ракетних двигунів, кардинально новим кроком навіть у порівнянні із кращими двигунами такого класу, які розроблені закордонними фірмами, а саме, двигунами російських фірм «КБ ХІММАШ» (КРД-79) та «КБ ХІМАВТОМАТИКИ» (РД-0225).

Порівняння характеристик українського двигуна і вищезгаданих російських двигунів, показує:

1. Питомий імпульс тяги українського двигуна на 21,8 та 24,5 одиниць (~ на 7,4 та на 8,4 відсотка) вище, ніж у російських, що еквівалентно збільшенню корисного вантажу приблизно на 50кг. Вартість виведення на орбіту одного кілограма корисного вантажу дорівнює від 10000 до 20000 доларів США.

2. Співвідношення компонентів палива в українському двигуні – на 8 відсотків вище, ніж у російських, завдяки чому знижується сумарна вага паливних баків.

3. Тиск газів в камері двигуна українського двигуна вище, ніж у російських, завдяки чому зменшуються габарити та маса двигуна.

Високих енергомасових характеристик українського двигуна досягнуто завдяки:

– Проведенню теоретичних та експериментальних досліджень для оптимізації параметрів двигуна (тяга двигуна, тиск в камері двигуна, співвідношення компонентів палива...) з метою створення двигуна з високими енергомасовими характеристиками (питомий імпульс тяги, маса та габарити двигуна), які б значно перевершували характеристики існуючих двигунів за рубіжних фірм.

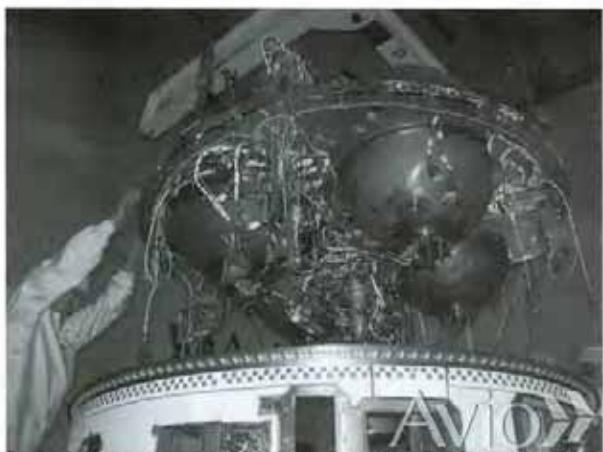
– Розробленню та втіленню в конструкцію двигуна нових оригінальних науково-технічних, схемних та конструктивних рішень для досягнення високих характеристик, великого ресурсу з тривалості роботи і кількості включень двигуна.

– Розробленню програм та методик експериментальних досліджень та вогневих випробувань з метою скорочення кількості двигунів для досягнення заявлених характеристик, відпрацювання та кваліфікації, а також зниження вартості робіт.

– Проведенню додаткових, за межами кваліфікації двигуна, експериментальних «холодних» та вогневих



Монтаж рідинного ракетного двигуна в компанії AVIO



Монтаж рушійної двигунової установки у відсік ракети-носія «Вега»

досліджень взаємодії двигуна з іншими системами як автономно, так і у складі ступеня на стендах Astrium в Німеччині, працевдатності двигуна при жорсткіших, ніж робочі, умовах, прийняття, при необхідності, корегуючих дій в залежності від результатів досліджень.

Внаслідок розроблення та впровадження нових високоефективних науково-технічних рішень та проведення значного обсягу експериментальних досліджень, включно із вогневими випробуваннями за спеціально розробленими методиками:

– Створена високоекономічна надійна камера двигуна на базі кращих досягнень вітчизняного та світового двигунобудування, а також реалізації у її конструкції принципово нових науково-технічних рішень із організації внутрішнього охолодження за допомогою

периферійних форсунок змішуvalnoї головки та двох розташованих у певній послідовності різномікнопонентних поясів завіс (окисника та пального) на відміну від існуючих у всьому світі камер двигунів, в яких для організації внутрішнього охолодження використовується лише один компонент палива, як правило, пальне. Таке нетрадиційне рішення забезпечує надійне охолодження камери двигуна при мінімальному зниженні економічності та підвищує сталість робочого процесу в камері. Подача компонентів палива у вихідні щілини поясів завіс здійснюється через тангенціальні отвори, а зі щілин поясів завіс – похилими каналами спеціального профілю на одній з поверхонь вихідних щілин поясів завіс. Крім того, вихідну щілину поясу завіси окисника захищено кільцем-козирком. Такі конструктивні рішення забезпечують рівномірність виходу компонентів палива з поясів завіс на стінки камери, що підвищує надійність охолодження. Дозування витрати компонентів палива через пояси завіс здійснюється за допомогою жиклерів, що забезпечують високу точність витрати.

– Створено електрогідроклапан (ЕГК) у вигляді модуля, який установлюється в корпус клапана, що приварений до трубопроводів подачі компонентів у камеру двигуна; з'єднання модуля з корпусом клапана роз'ємне, що дозволяє використовувати в процесі виготовлення двигуна технологічні модулі, а товарний модуль установлювати на останній стадії виготовлення. Для забезпечення високих вимог щодо герметичності посадки на сідла основного, дренажного й керуючого клапанів ЕГК сідла мають спеціальну форму, при цьому керуючий клапан закріплено на мембрани, що виключає його зміщення в радіальному напрямку і тим самим гарантує високий рівень його герметичності. З метою зменшення нагрівання електромагніта, габаритів і споживаної потужності на обмотку електромагніта подається «формований» сигнал: під час відкриття клапана подається номінальна напруга, а потім, після його відкриття, напруга знижується в два рази. Під час відпрацювання ЕГК був виявлений недолік, який характерний для усіх клапанів непрямої дії. У ЕГК такого типу швидкість спрацьовування залежить від об'єму вихідної магістралі. Тому з метою уникнення впливу магістралі між ЕГК та камерою двигуна на його швидкість спрацьовування у вихідну порожнину клапана було встановлено сопло Вентурі. Встановлення сопла Вентурі виявилося нестандартним технічним рішенням, тому що воно в основному використовується в системах, які призначені для вимірювання масової витрати потоку або в агрегатах керування витратою рідини. Завдяки такому рішенню вдалось стабілізувати та збільшити швидкість спрацьовування ЕГК за рахунок «підпірання» рідини під час переходного процесу відкриття. В зв'язку з тим, що тиск на соплі Вентурі під час встановленого режиму відновлюється, то загальні втрати тиску на ЕГК практично залишились незмінні.

– Створено відсічний клапан у вигляді модуля який установлюється в корпус, приварений до камери двигуна. Для забезпечення високої герметичності в ньому на торці корпуса виконано сідло спеціальної форми у вигляді кільцевого виступу трикутного перерізу, а в торець клапана запресоване фторопластове кільце. З метою зменшення сили тертя запірний елемент ущільнюється



Монтаж ступеня ракети-носія «Вега» на випробувальний стенд



Рушійна установка ракети-носія «Вега»

нуються по фторопластовому кільцу, яке підтискає до ущільнювальної поверхні гумове кільце.

Для забезпечення вогневого відпрацювання і кваліфікації нового двигуна та додаткових досліджень за спеціальними програмами розроблені методики проведення вогневих випробувань та проведена модифікація стендових систем випробувального комплексу.

Проведені вогневі випробування двигуна за програмами відпрацювання і кваліфікації двигуна та додаткові спеціальні дослідження:

- динамічних характеристик і визначення передавальної функції двигуна: розроблення методики визначення передавальної функції і амплітудно-фазо-частотних характеристик двигуна та методики проведення з цією метою вогневих випробувань, розроблення та виготовлення пульсатора, визначення передавальної функції двигуна;

- бічних сил, які виникають під час запуску двигуна: математичне моделювання динамічного впливу на двигун під час запуску, статичне і динамічне калібрування системи вимірювання бічних зусиль, аналіз бічних зусиль на запуску за результатами вогневих випробувань двигуна;

- впливу вдування гелію на вході в гідравлічні тракти двигуна без розриву і з розривом потоку на працездатність двигуна, охолодження та сталість робочого процесу в камері двигуна: розроблення методик вдування дозованої витрати гелію, визначення конфігурації гелієвого пузыря та часу його проходження гідравлічними трактами камери двигуна, методики проведення «холодних» гідравлічних і вогневих випробувань, розроблення технічної документації та модифікація стендових систем, проведення вогневих випробувань, аналіз результатів експериментальних робіт;

- динамічні випробування двигуна у складі ступеня на стенді EKA в Голландії;

- працездатності та взаємодії двигуна з іншими системами при вогневих випробуваннях у складі ступеня на стенді фірми Astrium в Німеччині.

Під час створення двигуна, проведення відпрацювання та кваліфікації було реалізовано комплекс заходів щодо зниження тривалості та вартості робіт, що полягає в мінімізації матеріальної частини та кількості вогневих випробувань шляхом підвищення їх інформативності внаслідок проведення багаторежимних ви-

пробувань з великою кількістю включень. Так, довідні вогневі випробування двигуна було проведено на двох екземплярах двигуна, кваліфікаційні та додаткові спеціальні вогневі випробування також проведено на двох двигунах – КМ-1 і КМ-2. Двигун КМ-1 пройшов 13 випробувань при 35 включеннях (7 ресурсів) сумарною тривалістю 3928 с (5,66 ресурсу). Двигун КМ-2 пройшов 30 випробувань при 74 включеннях (14,8 ресурсу) сумарною тривалістю 3054 с (4,4 ресурсу).

Таким чином, уперше в Україні розроблено, відпрацьовано, кваліфіковано та впроваджено в серійне виробництво рідинний ракетний двигун з витисною системою подачі компонентів палива в камеру двигуна для верхніх ступенів ракет-носіїв, розгінних блоків, космічних кораблів і космічних станцій в майбутньому. Параметри цього двигуна за основними показниками перевершують параметри двигунів провідних підпри-



Четвертий ступінь європейської ракети-носія «Вега»



Європейська ракета-носій «Вега» перед стартом з космодому Куроу

ємств зарубіжня, зокрема двигунів КРД-79 і РД-0225, які розробили підприємства Росії «КБ «ХІММАШ» і «КБ «ХІМАВТОМАТИКИ».

Створення цього двигуна є видатним досягненням українських спеціалістів у галузі рідинних ракетних двигунів, кардинально новим кроком порівняно з найкращими двигунами такого класу в ракетно-космічній техніці сьогодення.

Цю перевагу досягнуто внаслідок упровадження до конструкції двигуна ряду нових оригінальних науково-технічних рішень. Розроблені та реалізовані в цьому двигуні оригінальні науково-технічні рішення можуть використовуватися для створення широкого ряду двигунів, які відрізняються тягою, тиском у камері двигуна та співвідношенням компонентів палива.

Новий український двигун адаптовано до складу четвертого ступеня нової європейської ракети-носія «Вега». Тринадцятого лютого 2012 року успішно здійснено перше льотне випробування цього двигуна у складі ЄРН «Вега» з трьома включеннями його під час польоту; на різні орбіти виведено дев'ять супутників Землі. На цей час вироблений для постачання «Avio» другий двигун для ЄРН «Вега» і підписано новий Контракт на постачання «Avio» наступних п'яти двигунів.

Створення українськими спеціалістами нового рідинного ракетного двигуна та прийняття його, в умовах жорсткої конкуренції на світовому ринку, Європейським космічним агентством для нової європейської ракети-носія «Вега» дозволило Україні збільшити коло міжнародної спільноти космічних держав, в якому до традиційних партнерів Російської Федерації та Спo-



Європейська ракета-носій «Вега» в польоті

лучених штатів Америки приєдналися держави Європейського космічного агентства. Ракета-носій «Вега» з українським двигуном для четвертого ступеня заповнила нішу ракет-носіїв, які конкурентоздатні на світовому ринку виведення на орбіту малогабаритних космічних апаратів з сучасним передовим електронним обладнанням.

Двигуни ДП «КБ «Південне» користуються попитом на світовому ринку, а це в свою чергу збільшує авторитет України як високорозвиненої індустріальної держави.

Економічний ефект від упровадження роботи становить 64 млн. гривень.

Наукові результати робіт відображені в численних публікаціях в українських та міжнародних журналах, новизну та конкурентоспроможність технічних рішень захищено патентами України.■

ПОСМІХАЙТЕСЯ!



Альфред Нобель вважається першим винахідником динаміту тому, що попередніх не вдалося упізнати.

\*\*\*

Два японських винахідники, що створили апарат для переривання промови оратора, що зарвався, отримали Шнобелівську премію з акустики.

Церемонія вручення Шнобелівської премії (Ig Nobel Prize), що присуджується за наукові досягнення, «які спочатку викликають сміх, а потім примушують замислитись», відбулася у ніч на 21 вересня у Сандерс-театр Гарвардського університету. Зазвичай «Шнобелівку» вручають у всіх нобелівських номінаціях – фізиці, хімії, медицині, літературі, економіці та боротьбі за мир. Премії також присуджуються в таких областях, як біологія, інженерна справа і менеджмент. Крім того, для оригінальних і гідних досліджень часто створюється спеціальна тематична номінація.

«Шнобелівка» в області акустики дісталася японським ученим Казутаке Куріхарі і Кодзе Цукаді, які сконструювали прилад, що повторює промову людини з відставанням у кілька сотень мілісекунд. Створюваний ефект відлуння, на думку винахідників, буде дуже дратувати оратора, змушуючи його говорити повільніше або швидше закінчувати свій виступ.

«Ця технологія може бути також використана, щоб дозволити ораторам на зустрічі говорити однаково по черзі, якщо один з учасників продовжує говорити, позбавляючи інших можливості внести свій внесок в обговорення», – сказав Куріхара.

\*\*\*

«Одна хвилина сміху замінює чарку горілки, сто грамів вершкового масла, три порції горіхового морозива і сприяє схудненню».

Тому посміхайтесь!

\*\*\*

Ввечері, минулої п'ятниці українські вчені знайшли раніше невідомий привід випити...

\*\*\*

В Запоріжжі пройшла забастовка лікарів, нажаль їхні вимоги прочитати не вдалось

\*\*\*

Два студенти перед сесією:

- Що читаєш?
- Кvantovu mechaniku.
- A чому книжка дотори ногами?
- A яка різниця...

\*\*\*

«Сміх – найнадійніший засіб від усіх хвороб»

\*\*\*

Бог створив Світ. Все інше зроблено в Китаї.