



ХАРЧЕНКО
Валерій Володимирович — академік НАН України, доктор технічних наук, професор, директор Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України

ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РОЗРОБОК У ГАЛУЗІ МІЦНОСТІ МАТЕРІАЛІВ І ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Стенограма наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 26 вересня 2018 року

У доповіді розглянуто важливі питання, пов'язані з впровадженням науково-технічних розробок Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України в галузі міцності матеріалів і елементів конструкцій в екстремальних умовах експлуатації. Ці розробки мають реальний попит серед провідних підприємств ракетно-космічної та авіабудівної промисловості, атомної енергетики, машинобудування, а також сприяють зміцненню обороноздатності України.

Шановний Борисе Євгеновичу!
Шановні члени Президії НАН України!
Шановні колеги!

На прикладі Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України я коротко проінформую вас про стан впровадження науково-технічних розробок у галузі міцності матеріалів і елементів конструкцій в екстремальних умовах експлуатації.

Діяльність нашого Інституту спрямована на вирішення актуальних завдань, що постають з практичних потреб вітчизняної промисловості. Відповідні роботи ми здійснюємо на основі проведених нами ґрунтовних фундаментальних та прикладних досліджень процесів деформування і руйнування матеріалів, міцності та довговічності елементів конструкцій за різних видів термосилового навантаження, що моделюють екстремальні умови експлуатації. Для успішного виконання таких робіт ми використовуємо всі наявні ресурси: матеріально-технічні, кадрові, фінансові. Інститут є експериментально-дослідною установою НАН України, тому багато уваги приділяє не лише збереженню, а й розвитку власної унікальної експерименталь-

ної бази, яка створювалася впродовж багатьох десятиліть. До її складу входить понад 170 серійних і спеціалізованих оригінальних установок і стендів для проведення механічних випробувань та визначення відповідних характеристик конструкційних матеріалів за різних видів і швидкостей навантаження у широкому діапазоні робочих температур (від -269 до $+3000$ °C).

Згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.12.2006 № 665-р, комплекс випробувальних стендів для досліджень міцності матеріалів і конструкцій в екстремальних умовах термосилового навантаження входить до Державного реєстру наукових об'єктів, що становлять національне надбання України. Він складається з газодинамічних високотемпературних стендів, стендів для ударного та імпульсного навантаження, пневмогідролічного криогенного стенду, гідравлічних стендів.

У складні 90-ті роки минулого століття Інститут докладав багато зусиль, щоб зберегти цю унікальну експериментальну базу, а в останнє десятиліття нам вдалося модернізувати і розвинути її. Комплекс обладнання поповнився універсальними випробувальними машинами відомих іноземних виробників (Instron, Rumul, Biss) та спеціалізованими установками власного виробництва. Важливу роль в оснащенні лабораторій відіграло рішення Президії НАН України про створення на базі Інституту Центру колективного користування науковим обладнанням, а також придбання окремих видів випробувальних машин за власні кошти. Крім того, нам вдалося зберегти і забезпечити стабільну роботу СКТБ Інституту з дослідним виробництвом.

Враховуючи нагальні потреби підприємств України, в Інституті створено нові спеціалізовані випробувальні стенди і окремі вузли до них — стенд для дослідження контактної втоми пари колесо–рейка під дією електричного струму, стенд для визначення стійкості до дозвукового флатера лопаткових вінців, машину і переносний прилад для неруйнівних випробувань матеріалів методом інструментованого індентування в лабораторних та по-

льових умовах, камери для ударних випробувань тощо. Проведено також системну модернізацію низки випробувальних установок та стендів з дооснащенням їх багатоканальними інформаційно-вимірювальними та керувальними системами, високотемпературними камерами, екстензометрами та іншими необхідними пристроями.

Отже, завдяки оновленню експериментальної бази в Інституті активно функціонують Центр колективного користування приладами НАН України (на базі машини Instron 8802) та Центр механічних випробувань і сертифікації матеріалів та елементів конструкцій, акредитований у Національному агентстві з акредитації України. Тому зараз Інститут може виконувати дослідження процесів деформування та руйнування, проводити комплексні механічні випробування матеріалів і елементів конструкцій у широкому діапазоні параметрів термосилового навантаження, характерних для сучасної техніки, що використовується у високотехнологічних галузях промисловості України.

Втім, для успішного проведення зазначених робіт необхідне також кадрове забезпечення. На сьогодні в Інституті, після останніх вимушених скорочень, працюють 227 співробітників, у тому числі 26 докторів і 56 кандидатів наук. Кількість молодих учених останніми роками істотно скоротилася, але навіть у таких несприятливих умовах нам вдалося втримати більшу частину молодих працівників категорії від 35 до 49 років і підвищити їх частку в кадровому складі Інституту. Безумовно, розмір оплати наукових досліджень і тарифні обмеження, особливо при виконанні договірних робіт, є однією з головних причин плінності молодих дослідників, тому дуже важливим є збільшення фінансових надходжень.

Крім отримання фінансування із загального бюджету для проведення фундаментальних і прикладних досліджень за основними напрямками діяльності, співробітники Інституту беруть активну участь у конкурсах цільових програм НАН України. За останні три роки Інститут виконав і продовжує виконувати 15 проектів у рамках 4 цільових програм, які є

дуже важливим містком між фундаментальними дослідженнями та прямими договорами з промисловими підприємствами. Інститут щороку виконує понад 30 прямих господарських договорів.

Проте деякі наші партнери-замовники, на жаль, не мають можливості профінансувати потрібні їм розробки нашого Інституту. Тому низку робіт ми виконуємо в рамках договорів про науково-технічне співробітництво. Зокрема, це стосується дуже важливих робіт за військовою тематикою, про які я докладніше розповім далі.

Загалом співробітництво з промисловими організаціями та підприємствами дало нам змогу останніми роками збільшити надходження позабюджетних коштів за рахунок виконання господарських договорів. Так, у 2017 р. їх частка досягла 35% від загального обсягу фінансування. З урахуванням коштів, виділених на виконання цільових проектів, та коштів на підтримку об'єктів національного надбання Інститут має обсяги додаткового фінансування, зіставні з сумою фінансування із загального бюджету.

Усі перелічені ресурси ми намагаємося використати для посилення фундаментальних і прикладних досліджень, які, власне, і є базисом для створення нових розробок і подальшого їх ефективного використання в промисловій практиці.

Прикладів успішної співпраці Інституту з промисловістю можна навести багато: наші результати використано на більш як 70 вітчизняних підприємствах (серед яких Укрзалізниця, Укртрансгаз та ін.), але за браком часу я зупинюся лише на чотирьох найважливіших напрямах співробітництва:

- оборонно-промисловий комплекс;
- ядерна енергетика;
- ракетно-космічна техніка;
- авіаційна промисловість і газотурбобудування.

В рамках першого напряму результати багаторічних фундаментальних і прикладних досліджень міцності матеріалів при ударному навантаженні (під керівництвом Г.В. Степанова)

та з конструкційної міцності скла і кераміки (під керівництвом Ю.М. Родичева), розробки елементів авіаційного скління, броньованого скла, виконаних за науково-технічними проектами НАН України, було використано при проведенні комплексу робіт за проектом ІПМіц-2015/1 «Дослідження та розробка конструкцій і технології дослідно-промислового виробництва систем оперативного бронювання зі змінним рівнем захисту об'єктів військового призначення на основі базових прозорих бронеелементів» (2015–2016 рр.) у рамках цільової науково-технічної програми НАН України «Дослідження і розробки з проблем підвищення обороноздатності і безпеки держави». Завдяки цільовому фінансуванню для потреб ОПК на основі унікальних технологій заводу авіаційного скла ТОВ «Спецтехскло А» та обладнання інших підприємств експериментально обґрунтовано структури, конструкції і технології дослідно-промислового виробництва базових прозорих бронеелементів для оперативного бронювання легкоброньованих машин, авіаційної, автомобільної техніки та укриттів. У впровадженні результатів цього проекту партнером з боку оборонно-промислового комплексу є Державне підприємство «45-й експериментальний механічний завод». Частина робіт щодо скління вертольотів Мі-8 проводить ДП «Авіакон» (м. Котоп). Роботи виконуються також разом із Центральним науково-дослідним інститутом озброєння та військової техніки, Державним науково-дослідним інститутом випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки та Харківським національним університетом Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

Головною ідеєю впровадження є зміцнення вікон військової техніки, блокпостів, бойових укриттів та укриттів для захисту особового складу в умовах гібридних воєнних дій через дообладнання блоками «прозорої броні». Важливо, що ці блоки змінні та виготовлені за вітчизняними технологіями.

Після підписання Угоди між Генеральним штабом Збройних Сил України та Національною академією наук України і рішення спіль-

ного засідання Воєнно-наукової ради ЗСУ та НАН України від 31.07.2017 роботи щодо впровадження розробок Академії було посилено організаційно.

На сьогодні модернізовано експериментальну базу Інституту для балістичних випробувань бронееlementів зі скла та інших матеріалів осколками та засобами ураження калібрів від 5,45; 7,62 до 30 мм зі швидкістю до 1000 м/с. За пропозиціями організацій ОПК реалізується концепція систем оперативного бронювання об'єктів військового призначення прозорими бронееlementами. З урахуванням особливостей вітчизняних промислових технологій зміцнення скла до 800–1100 МПа та формування багатошарової «прозорої броні» розроблено, виготовлено й отримано позитивні результати балістичних випробувань дослідно-промислових зразків бронєблоків класів стійкості СК1...СК6 за ДСТУ4546:2006 та за розробленими Інститутом спеціальними вимогами.

Разом з ДП «45 ЕМЗ» та іншими партнерами від промисловості для впровадження запропоновано комплекс технічних рішень і технологій дообладнання машин типу БРДМ 2, БТР-80 та інших легкоброньованих машин, автомобілів та укриттів з метою зміцнення вікон і амбразур прозорими бронееlementами від ураження осколками та стрілецькими набоями калібрів 5,45 і 7,62 мм.

З урахуванням рішень узгоджувальних нарад від 24.10.2017 та 22.11.2017 щодо використання технологій дообладнання легкоброньованої та автомобільної техніки ЗСУ визначено актуальні напрями та алгоритм проведення у 2017–2019 рр. робіт з впровадження «прозорої броні». Виготовлено і за методикою ЦНДІ ОВТ ЗСУ, з урахуванням особливостей ведення гібридних воєнних дій та антитерористичних операцій, у лабораторії Міноборони проведено випробування дослідних промислових зразків «прозорої броні». Класи їх кулестійкості підтверджено.

Разом з ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки ЗСУ визначаються можливості зміцнення скління кабін

вертольотів Мі-8 за НДР «Захист» (МО України). Випробувано зразки блоків 12 і 18 мм. Виготовлено комплект натурних лобових блоків (для ДП «Авіакон») для проведення комплексу польових балістичних і льотних випробувань.

В галузі ядерної енергетики одним із пріоритетів НАЕК «Енергоатом» є подовження термінів експлуатації енергоблоків АЕС. Для таких робіт важливими складовими є розрахунковий аналіз напружено-деформованого стану і оцінка опору руйнуванню, насамперед корпусів реакторів як найважливіших елементів реакторних установок АЕС з ВВЕР.

В Інституті створено ефективний апарат чисельного моделювання складних практичних задач сучасного машинобудування та атомної енергетики, в основу якого покладено розроблені математичні моделі та методи розв'язання нелінійних крайових задач термомеханіки, що описують неізотермічні процеси пружнопластичного деформування, а також запропоновано змішані проекційно-сіткові схеми методу скінченних елементів підвищеної точності визначення напружень і деформацій.

Для обґрунтування міцності і подовження ресурсу корпусів реакторів та елементів обладнання першого контуру АЕС з ВВЕР розвинуто загальну методологію розрахункового аналізу напружено-деформованого стану та опору руйнуванню елементів конструкцій з урахуванням дефектності, історії термосилового навантаження, пружнопластичної поведінки матеріалу, залишкової технологічної спадковості та сучасних підходів механіки руйнування. Методологію розрахунків реалізовано в розробленому в Інституті програмному забезпеченні SPACE-RELAX, яке було дозволено для використання в НАЕК «Енергоатом» і ґрунтується на розробленому під керівництвом Інституту галузевому нормативному документі МТ-Д.0.03.391-09 для оцінки міцності та ресурсу корпусів реакторів ВВЕР.

Розробки Інституту використано при виконанні державних експертиз результатів розрахункових обґрунтувань міцності й опору руйнуванню корпусів реакторів ВВЕР-1000

відповідно до договорів з ДП «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» Держатомрегулювання України. З використанням розробленого в Інституті галузевого нормативного документа та комплексного підходу до застосування перспективних експериментальних і розрахункових методів оцінювання міцності матеріалів та елементів обладнання проведено експертні роботи з аналізу міцності та ресурсу корпусів реакторів, результати яких було враховано при прийнятті рішень щодо подовження термінів експлуатації енергоблоків № 1 і № 2 Південно-Української АЕС, енергоблоків № 1 і № 2 Запорізької АЕС та енергоблока № 3 Рівненської АЕС.

Разом з НТК «Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона» НАН України наш Інститут виконав роботи з подовження терміну експлуатації обладнання I контуру енергоблока № 3 Рівненської АЕС, а спільно з UJV Rez (Чехія) – роботи з обґрунтування циклічної міцності такого обладнання для енергоблоків № 1 та № 2 Рівненської АЕС.

Виконано дуже великий обсяг робіт з оцінки технічного стану та перепризначення проектного терміну експлуатації парогенераторів, компенсаторів тиску, гідроємностей системи аварійного охолодження активної зони енергоблока № 3 Рівненської АЕС, найважливішою з яких було виконання розрахункового аналізу напружено-деформованого стану і опору руйнуванню вузлів приварки парогенераторів ПГВ-1000М для різних експлуатаційних режимів навантаження. У результаті виконаних робіт встановлено, що розрахунки вузла приварки в пружнопластичній постановці з урахуванням залишкових технологічних напружень та можливих дефектів складної форми (протяжних поверхневих дефектів корозійного походження з напівеліптичною тріщиною) призводять до більш консервативної оцінки опору руйнуванню порівняно з традиційним лінійно-пружним розрахунком. Тому, крім використання чинної нормативної бази, яка регламентує розрахунки на міцність обладнання енергетичних установок, виявилось необхідним виконання додаткових уточнених

розрахунків напружено-деформованого стану і опору руйнуванню вузлів приварки з одночасним урахуванням багатьох чинників у нелінійній постановці з використанням вищезгаданого розробленого нами апарату чисельного моделювання. Усе це дало змогу обґрунтувати міцність та подовжити термін експлуатації обладнання енергоблока № 3 Рівненської АЕС у понадпроектний період на 20 років.

У галузі створення ракетно-космічної техніки (РКТ) слід відзначити активну участь Інституту в реалізації Генеральної угоди про науково-технічне співробітництво між Національною академією наук України та Державним підприємством «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля».

У процесі створення та експлуатації виробів РКТ важливим завданням є забезпечення їх цілісності та функціональної надійності, що зумовило постановку в Інституті комплексних досліджень фізико-механічних характеристик, механізмів і кінетики руйнування розроблюваних матеріалів, а також впливу технологічних і конструктивних чинників на несучу здатність виробів в умовах, що максимально наближаються до натурних. Для практичної реалізації цих завдань в Інституті розроблено методи експериментальних досліджень та моделювання широкого спектра термомеханічних навантажень, характерних для роботи матеріалів та елементів РКТ, а також модернізовано відповідні випробувальні установки, стенди та вимірювально-керувальні системи, які забезпечують задані режими навантажень, накопичення, реєстрацію та обробку даних. На основі розробленого методичного забезпечення для вирішення проблем імпортозаміщення та ширшого використання композитних матеріалів отримано такі результати:

- встановлено закономірності деформування та руйнування, температурні залежності фізико-механічних характеристик за різних видів механічного навантаження (розтяг, стиск, згин, зсув, зріз, зминання) перспективних композиційних матеріалів, у тому числі полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), багатофункціонального покриття (БФП),

вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів (ВВКМ), а також алюмінієвих сплавів та їх зварних з'єднань у діапазоні робочих температур від -196 до $+3000$ °С;

- у результаті випробувань модельних оболонкових конструкцій під комплексною дією термічних та механічних навантажень одержано нові дані, які уточнюють стандартні механічні характеристики, відхилення яких зумовлене специфікою дії технологічних та конструкційних чинників;

- обґрунтовано і реалізовано на газодинамічних стендах методи моделювання експлуатаційних чинників для оцінки їх впливу на працездатність екстремально термонавантажених елементів конструкцій.

У результаті стендових випробувань натурних елементів РКТ або їх моделей отримано:

- результати щодо впливу термомеханічних навантажень на кінетику структури, деградації механічних властивостей та руйнування матеріалів макетів кромок повітряозабірників прямоочних повітряно-реактивних двигунів та аеродинамічних рулів у високотемпературному газовому потоці з моделюванням польотного циклу. Надано рекомендації щодо вибору перспективних матеріалів відповідно до умов експлуатації;

- дані стосовно міцності, надійності та функціональної здатності тришарових металевих теплозахисних панелей багаторазових космічних апаратів за циклічної дії інтенсивних теплових потоків, що програмно змінюються в часі та просторі і відтворюють умови термодинамічного навантаження, близькі до експлуатаційних. Надано рекомендації щодо удосконалення конструкції такого класу теплового захисту;

- результати досліджень та оцінку впливу різноманітних варіантів звукопоглинального покриття з ПКМ на величини акустичних навантажень до 165 дБ;

- методики експериментального дослідження стиків ракетних конструкцій із шаруватих композиційних матеріалів при статичному та циклічному навантаженні і нагріванні, які дозволяють випробувати на міцність стики кор-

пусів типу «кокон» з ПКМ під комплексною дією силових і теплових навантажень.

Зараз в Інституті ці дослідження продовжуються в рамках Перспективного плану співробітництва НАН України з КБ «Південне».

Важливим напрямом діяльності Інституту є розроблення методів і засобів підвищення надійності і довговічності елементів та вузлів авіаційних газотурбінних двигунів в екстремальних умовах експлуатації з метою забезпечення їх конкурентоспроможності на світовому ринку.

Про актуальність вирішення проблем динаміки та міцності в авіаційному газотурбобудуванні, підвищення надійності і ресурсу двигунів та пріоритетність їх розв'язання при плануванні НДР Інституту свідчить те, що в березні 2017 р. на засіданні Президії НАН України було заслухано доповідь за цією тематикою заступника директора Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України А.П. Зіньковського, а в червні 2018 р. на базі ДП «Івченко–Прогрес» було проведено виїзну сесію Наукової ради з проблеми «Механіка деформівного твердого тіла», на якій розглянуто результати виконаних в Інституті комплексних розрахунково-експериментальних досліджень.

Для вирішення цієї важливої науково-технічної проблеми в Інституті, враховуючи накопичений досвід робіт у галузі механіки деформівного твердого тіла, проводяться науково-дослідні роботи за такими науковими напрямами:

1. *Розроблення методологій та проведення кваліфікаційних досліджень сучасних авіаційних матеріалів з визначення їх механічних властивостей з урахуванням конкретних технологій одержання таких матеріалів та умов експлуатації як обов'язкової умови їх сертифікації.* Успішне виконання завдань за цим напрямом зумовлене значним досвідом таких робіт і наявністю унікального комплексу випробувальних стендів та сучасного обладнання. За останнє десятиліття на замовлення ПАТ «Мотор Січ» та ДП «Івченко–Прогрес» виконано майже 20 господарських договорів, за

результатами яких створено банк даних механічних характеристик широкого класу нових авіаційних матеріалів з урахуванням конкретних технологій їх одержання та обробки, а також температури і видів експлуатаційного навантаження як необхідної бази для визначення ресурсу газотурбінних двигунів та розроблення методів забезпечення їх функціональної робоздатності.

2. *Розроблення методів зниження динамічної напруженості елементів та вузлів конструкцій авіаційних газотурбінних двигунів і діагностики їх пошкоджень.* Для дослідження дисипативних властивостей матеріалів та демпфірування коливань елементів конструкцій за різних видів деформації і різних температур, у тому числі в полі відцентрових сил та при обтіканні газовим потоком, Інститут має унікальне експериментальне обладнання, яке високо оцінили європейські учасники проекту «AERO-UA» програми «Горизонт-2020». Отримані на ньому фундаментальні результати досліджень дали змогу, по-перше, розробити методики раціонального вибору параметрів поличного бандажування робочих лопаток за критерієм їх оптимально-демпфірувальної здатності, а по-друге, створити експериментально-розрахунковий комплекс з прогнозування стійкості до дозвукового флатера лопаткових вінців компресорів, який дозволяє достовірно визначити аеродинамічні навантаження (сили та моменти), які діють у потоці на робочі лопатки, а також на основі їх використання здійснити прогнозування стійкості до дозвукового флатера вінців у широкому діапазоні їх механічних параметрів та характеристик потоку, зокрема вже на етапі їх проектування. З використанням такого комплексу проведено дослідження з прогнозування динамічної стійкості до флатера лопаткових вінців компресорів практично всіх авіаційних газотурбінних двигунів, створених в Україні.

Результати досліджень лопаткових вінців робочих коліс як дисипативних систем з порушеною симетрією дозволили виявити можливість і умови виникнення небезпечних дина-

мічних станів та запропонувати рекомендації щодо зниження їх вібронапруженості для використання при проектуванні перспективних і доводці серійних газотурбінних двигунів.

У співдружності з ДП «Івченко–Прогрес» проводяться комплексні дослідження з удосконалення розрахунково-експериментальних методів аналізу статичного і динамічного станів монокристалічних робочих лопаток турбін і визначення закономірностей впливу кристалографічної орієнтації монокристалічних матеріалів на напружений стан таких лопаток з урахуванням експлуатаційних режимів навантаження. На основі встановлених закономірностей впливу конструктивно-технологічних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан лопаток розроблено рекомендації щодо раціонального вибору кристалографічної орієнтації матеріалу, які дозволяють обґрунтовано призначити гранично допустимі її відхилення від заданої з точки зору забезпечення міцності лопаток. Використання розробленого розрахунково-експериментального методу з визначення границі витривалості лопаток дає змогу істотно скоротити матеріальні витрати і час випробувань.

Останнім часом в Інституті розроблено наукові основи вібродіагностики наявності локальних поверхневих недосконалостей за зміною спектра власних частот коливань і дихаючих тріщин втомі за характеристиками супері субгармонічного резонансів досліджуваних пружних тіл як необхідної умови забезпечення функціональної робоздатності високонанвантажених вузлів сучасних газотурбінних двигунів.

Інститут приділяє також значну увагу підготовці наукових кадрів для підприємств-партнерів. Так, за останні кілька років фахівці ДП «Івченко-Прогрес» захистили дві кандидатські дисертації.

Отримані нами результати досліджень використано на провідних двигунобудівних підприємствах України — ДП «Івченко–Прогрес» і ПАТ «Мотор Січ» при встановленні і подовженні ресурсу робочих лопаток серійних двигунів Д-18Т, Д-436, ТВ3-117ВМА-СБМ1, а та-

кож перспективних двигунів Д-27, АІ-222-25, АІ-450, АІ-22.

Отже, на прикладі Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка показано, що науково-технічні розробки НАН України затребувані підприємствами високотехнологічних галузей України. Інститут і надалі планує розвивати свою унікальну експериментальну базу, робити все можливе для підтримки та збереження кадрового потенціалу; виконувати фундаментальні дослідження і на їх основі вирішувати актуальні науково-технічні завдання. Академія завжди підтримувала розвиток цих напрямів в Інституті, але сьогодні йому, як, до речі, і всім нам, конче потрібна державна підтримка.

Дякую за увагу!

Виступи



ВАСЬКІВСЬКИЙ
Михайло Іванович —
доктор технічних наук,
професор, заступник
начальника Центрального
науково-дослідного інституту
озброєння і військової техніки
Збройних Сил України

Міністерство оборони України підтримує виконання цільової науково-технічної програми НАН України «Дослідження і розробки з проблем підвищення обороноздатності і безпеки держави», зокрема Центральный науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України здійснює науково-технічний супровід науково-дослідних робіт, які виконувалися протягом 2015–2018 рр. Загалом отримані результати здобули високу оцінку з боку представників Міноборони і тепер ми докладаємо всіх зусиль для їх реалізації на практиці.

Наша співпраця з Інститутом проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України має давнє коріння і завжди була продуктивною. Я ко-

ротно зупинюся лише на окремих результатах досліджень останнього часу. Зокрема, при виконанні робіт за проектом ІПМіц-2015/1 в рамках зазначеної програми було отримано зразки дослідно-промислового виробництва модульних пакетів на основі скляних бронееlementів, або так званої «прозорої броні». Натурні випробування в балістичній лабораторії Міноборони повністю підтвердили необхідний рівень захисту цих захисних скляних елементів, а саме захист сучасних бронетранспортерів і тактичних бойових колісних машин, від бронейних куль Б-32 калібру 7,62 і 12,7 мм. Найважливіше, що конструкція розроблених багатошарових прозорих бронееlementів цілком відповідає вимогам їх застосування на зразках озброєння та військової техніки, забезпечуючи функціонування в умовах впливу широкого діапазону механічних і кліматичних факторів. Броньовані склопакети, що застосовувалися на бронемашиних до цього, виготовлялися за технологіями банківських виробів і в польових умовах часто втрачали герметичність та свої функціональні властивості, стаючи непрозорими. У розроблених багатошарових конструкціях прозорих бронееlementів реалізовано систему електропідігріву, що важливо в умовах експлуатації за мінусових температур. Зважаючи на необхідність ремонту значної кількості ураженої техніки, ці розробки Інституту є вкрай актуальними для ЗСУ. До сфери можливого застосування «прозорої броні» крім наземної техніки належать захисні споруди вогневих укриттів, вертольотів, а в перспективі й броньованих катерів.

Окремо слід відзначити позитивні результати впровадження розробок Інституту у зразки ракетної техніки виробництва КБ «Південне». Результати, отримані в рамках розроблення виробу «Грім-2», засвідчили ефективність застосування створеного теплозахисного покриття у складі маршового двигуна, що забезпечило високі показники тягового зусилля ракети. У перспективі такі покриття можуть бути використані в зразках зенітних ракетних комплексів, розроблення яких стає дедалі актуальнішим.

Відзначу також успішність спільних напрацювань у галузі забезпечення протимінної стійкості корпусів легкоброньованих бойових машин. Так, на експериментальному обладнанні Інституту було отримано показники міцнісних характеристик сучасних закордонних бронесталей, що дало змогу здійснити моделювання процесів вибухового навантаження конструкції з використанням методу скінченних елементів і оптимізувати конструкцію броньових корпусів з метою забезпечення їх протимінної стійкості.

Результати натурних підривів бронемашин «Козак-2» і «Барс-8» повністю підтвердили відповідність результатів комп'ютерного експерименту. Крім того, експериментально отримані (спільно з Л.С. Давидовським) показники для енергопоглинальних конструкцій дозволили розробити ефективну конструкцію демпфувальних елементів для протимінних сидінь. Особливо хочу підкреслити, що у створенні цих розробок, застосування яких може істотно зменшити втрати особового складу при мінних підривах, важливу роль відіграє наявність унікального експериментального обладнання Інституту.



СИРЕНКО

Володимир Миколайович — кандидат технічних наук, заступник головного конструктора з системного проектування ракет і ракетних комплексів — начальник розрахунково-теоретичного комплексу з проектування і розрахунків у частині балістики, аеродинаміки, тепломасообміну, міцності ДП «КБ «Південне»

Сьогодні одне з головних завдань, які стоять перед ДП «КБ «Південне» щодо забезпечення міцності розроблюваної ракетної і ракетно-космічної техніки, полягає в імпортозаміщенні використовуваних матеріалів і в застосуванні композитів. Для його вирішення необхідно насамперед визначити фізико-механічні характеристики цих матеріалів та їх залежність від

теплого стану, оскільки працездатність матеріалів у ракетній техніці має забезпечуватися в дуже широкому діапазоні температур — від криогенних до сотень і тисяч градусів. Крім того, для композитних матеріалів слід також урахувати ортотропність, що істотно збільшує обсяг необхідних фізико-механічних характеристик. Отже, виконання цього завдання неможливе без спеціального обладнання і відповідної методологічної бази.

Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України має унікальну експериментальну базу, яка створювалася протягом багатьох десятиліть і зараз постійно розвивається та оновлюється. КБ «Південне» вже давно співпрацює з Інститутом, однак після підписання Угоди про співробітництво з НАН України наші партнерські зв'язки посилилися. Останнім часом виконано величезний обсяг робіт, але я назву лише найважливіші для розвитку вітчизняного ракетобудування:

- визначено фізико-механічні характеристики полімерних композиційних матеріалів, що забезпечило розроблення корпусів твердопаливних двигунів оперативно-тактичних ракет (ОТР). Отримані в Інституті експериментальні дані з високою точністю підтверджено під час проведення вогневих випробувань;
- визначено фізико-механічні характеристики алюмінієвого сплаву 2219 для заміни АМГ-6, що дозволило розпочати роботи з його використання при створенні елементів ракетної техніки;
- проведено великий обсяг робіт з визначення фізико-механічних характеристик вкладишів у критичний перетин сопел РДТП, кромки повітрязабірників за тематикою двигунів;
- отримано дуже важливі для КБ «Південне» результати з визначення звукопоглинальних характеристик звукоізоляційних матеріалів, які використовуються в ракетній техніці для захисту зони корисного вантажу;
- розроблено методологію експериментального підтвердження міцності композитних матеріалів і стиків відсіків ракет.

Загальний обсяг фінансування робіт за останні 5 років становив понад 3 млн грн.

На найближчі роки заплановано виконання не менш важливих робіт:

- визначення фізико-механічних характеристик матеріалів багатофункціонального покриття, яке забезпечує виконання вимог щодо проникнення електромагнітного випромінювання (для створення ОТР);
- визначення міцнісних властивостей зварних елементів з алюмінієвого сплаву 2219, що дозволить вирішити практично всі питання щодо заміни АМГ-6;
- відпрацювання стиків з композитних матеріалів, у тому числі клейового з'єднання, з урахуванням впливу нагрівання (для створення ОТР);
- дослідження міцності виробів з композитних матеріалів з урахуванням впливу особливостей конструкції виробів;
- дослідження міцності виробів з композитних матеріалів під дією криогенних температур (для створення кисневих баків для рідинних ракет);
- експериментальне підтвердження критеріїв граничного стану (міцності) матеріалів (для створення віртуальних методів моделювання руйнування).

Загалом слід відзначити високу якість результатів досліджень, проведених в Інституті, що пояснюється великим професіоналізмом співробітників і сучасним рівнем теоретичної та експериментальної дослідної бази.



МІТРАХОВИЧ
Михайло Михайлович —
доктор технічних наук,
директор представництва
в м. Києві,
заступник директора
ДП «Івченко–Прогрес»

ДП «Івченко–Прогрес» має тісні контакти з Інститутом проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, спільні роботи ми проводимо в рамках договорів про наукове співробітництво.

Прикладів вагомого внеску вчених Інституту в створення авіаційних двигунів промислового призначення є багато, але за браком часу я хочу звернути вашу увагу лише на два напрями, за якими в останні роки було одержано важливі для нас результати. Це, по-перше, дослідження технологій нанесення захисних покриттів і, по-друге, розроблення алгоритму методу експрес-оцінки стійкості до дозвукового вибухового флатера вінців робочих лопаток вентиляторів, що є особливо актуальним для двоконтурних авіаційних двигунів, які мають значний діаметр входу в двигун.

ДП «Івченко–Прогрес» багато уваги приділяє сьогодні розробленню сучасного двигуна нового покоління АІ-28. З нашого погляду Інститут має великий потенціал і широкі можливості для активної участі у цьому проекті, і сподіваємося, що спільними зусиллями ми зможемо створити сучасний, конкурентоспроможний на зовнішньому ринку вітчизняний двигун.



ФЕДОРЧУК
Віталій Анатолійович —
начальник відділу продовження строків експлуатації
Служби надійності, ресурсу
та продовження експлуатації
на Рівненській АЕС

Одним із пріоритетів ДП «НАЕК «Енергоатом» є подовження терміну експлуатації енергоблоків АЕС, для яких проектний термін завершується або вже завершений.

Подовження терміну експлуатації енергоблока на понадпроектний період передбачає проведення величезного комплексу робіт, які є наукомісткими і потребують належної кваліфікації виконавців. Дуже важливо, щоб ці роботи виконувалися на високому науково-технічному рівні із застосуванням сучасних підходів.

Однією зі складових успішного подовження роботи енергоблока є оцінка технічного стану

його обладнання та перепризначення експлуатаційних циклів навантаження з метою обґрунтування безпечної експлуатації у понадпроектний період. Залучення кваліфікованих фахівців академічних організацій, а саме: Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона та Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка, для оцінки технічного стану обладнання 1-го контуру енергоблока № 3 Рівненської АЕС дало можливість виконати цю роботу на високому науково-технічному рівні. Було проведено детальний аналіз технічної документації за весь період експлуатації блока, виконано розрахунки теплогідравлічних параметрів енергоблока з подальшими розрахунками на статичну, циклічну і сейсмічну міцність, а також на опір крихкому руйнуванню. У разі необхідності запропоновано компенсувальні заходи.

Фахівці Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка зробили оцінку технічного стану парогенераторів, компенсатора тиску, гідроємностей системи аварійного охолодження активної зони і супутніх трубопроводів. Застосування сучасних наукових підходів і розроблених власних розрахункових методик, зокрема у сфері оцінки опору крихкому руйнуванню, дали змогу відшукати додаткові резерви міцності обладнання, що стало однією зі складових подовження терміну експлуатації енергоблока № 3 РАЕС на 20 років. Порівняно з іншими блоками, які вже пройшли переоцінку і отримали подовження терміну експлуатації не більш як на 10 років, енергоблок № 3 РАЕС за цим критерієм став «лідером».

Крім того, Інститут у рамках робіт на енергоблоках № 1 і № 2 РАЕС виконав розрахунок на циклічну міцність і зробив оцінку сейсмостійкості компенсатора тиску реакторної установки. Слід зазначити, що розроблені співробітниками Інституту методичні матеріали і проведений ними навчальний семінар з розрахунків на міцність значно сприяли підвищенню фахового рівня персоналу станції.

Загалом Інститут зарекомендував себе надійним виконавцем і його послуги були вкрай важливими при обґрунтуванні надійної експлуатації в понадпроектний період обладнання енергоблока № 3 РАЕС.

Ми і надалі сподіваємося на плідну співпрацю з Інститутом проблем міцності ім. Г.С. Писаренка та іншими установами НАН України з впровадження методологій і технологій подовження термінів експлуатації енергоблоків АЕС з метою посилення енергетичної незалежності України.



ГОРБУЛІН

Володимир Павлович — академік НАН України, перший віце-президент НАН України

Хотів би зазначити, що Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України має дійсно унікальну експериментальну базу. До неї входять не лише універсальні сучасні випробувальні установки таких фірм, як, наприклад, Instron, яку фахівці по праву вважають номером один у світі серед виробників такого обладнання, а й стенди власної розробки, деякі з яких навіть не мають аналогів у Європі.

Цей випробувальний комплекс сьогодні реально є затребуваним провідними підприємствами ракетно-космічної і авіабудівної галузей України. Наприклад, газодинамічні випробувальні стенди надзвичайно корисні для розробників ракетної і ракетно-космічної техніки КБ «Південне». Загалом та експериментальна база, яку ми маємо на сьогодні, дає змогу проводити весь необхідний спектр випробувань практично для всіх зразків майбутньої ракетної і ракетно-космічної техніки.

З огляду на бурхливий розвиток ракетно-космічної промисловості у світі зрозуміло, що для того, щоб ця експериментальна база відповідала світовому рівню і дедалі зростаючим вимогам до такого типу обладнання, її майже постійно потрібно модернізувати, вкладати

в неї кошти, осучаснювати системи керування, системи обробки даних тощо. І якщо зараз стан, так би мовити, механічної частини випробувального комплексу цього Інституту перебуває на найвищому рівні, то електронна частина обладнання залишає бажати кращого.

Тим не менш сьогодні без цієї експериментальної бази ми були б, без перебільшення, безпорадними в тому, що стосується техніч-

них характеристик майбутніх виробів. Отже, співпраця з Інститутом проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України дозволяє ракетникам з упевненістю дивитися вперед і відчувати себе більш-менш достойно в жорсткому конкурентному середовищі, яке існує сьогодні у світі в цій галузі.

*За матеріалами засідання
підготувала О.О. Мележик*

V.V. Kharchenko

Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

ON THE IMPLEMENTATION OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENTS
IN THE FIELD OF STRENGTH OF MATERIALS AND STRUCTURAL ELEMENTS
UNDER EXTREME OPERATING CONDITIONS

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine,
September 26, 2018

The report considers important issues related to the implementation of scientific and technical developments in the field of strength of materials and structural elements in extreme operating conditions of the Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine. These developments have a real demand among leading companies of the rocket and space industry, the aircraft industry, nuclear power engineering, and machine building, and also contribute to strengthening Ukraine's defense capability.