

Ю. О. КРАШАНИЦЯ, О. В. ТРЕТЯК

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна*

ПРО ФУНДАМЕНТАЛЬНУ ПІДГОТОВКУ ФАХІВЦІВ АВІАЦІЙНОЇ ТА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГАЛУЗЕЙ

*Предметом дослідження є стан фундаментальної підготовки фахівців авіаційної та ракетно-космічної техніки. Останнім часом активізуються процеси розширення та поглиблення фундаментальної підготовки фахівців із профільних напрямів конкретних вишів. Як показав сумний досвід останніх років, пріоритети, по праву, належать саме авіаційній та аерокосмічній галузях як у науково/творчій, так і у проектно/виробничій сферах. Добре відомо, що пріоритетними тут є фахівці у галузі аерогідродинаміки літальних апаратів та їх частин, а також газової динаміки сучасних двигунів літальних апаратів широкого спектра використання. Крім цього, проектування сучасних літальних апаратів пов'язане як з питаннями аеропружності, так і з дослідженнями в галузі аеродинамічної акустики, пов'язаної з екологічною безпекою експлуатації авіаційної техніки. Більш того, проектування літальних апаратів, які долають транс- та надзвукові швидкості польоту, вимагає ретельного вивчення супроводжуваних процесів тепло-, масообміну з визначаючими фізико-хімічними перетвореннями, що також присутні в внутрішніх газодинамічних процесах газотурбодинамічних та ракетних двигунів літальних апаратів. Наведено структури та порівняльний аналіз програм та курсів фундаментальної підготовки фахівців для аерокосмічної галузі в США, Канаді, Німеччині, Китаї та ХАІ. Предметно описано навчально-лабораторну базу кафедри аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» та наведено порівняльну інформацію про науково-експериментальні бази аеродинамічних комплексів України та провідних організацій Північної Америки та Західної Європи. Показано деякі основні результати теоретичних та експериментальних досліджень професорсько-викладацького складу та науково-технічних співробітників кафедри аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». Метою дослідження є доведення невідкладного реального об'єднання глибоких фундаментальних теоретичних знань, практичних вмій з експериментальними дослідженнями на базі існуючих сучасних науково-дослідних лабораторій на користь розвитку державних авіаційної та ракетно-космічної галузей. **Висновок.** Наведений аналіз та порівняльні показники дозволяють стверджувати, що, виходячи з потреб сьогодення, у Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» існують гарантовані можливості значного підвищення фундаментальної підготовки фахівців всіх рівней для авіаційної та ракетно-космічної галузей України.*

Ключові слова: підготовка фахівців; аерокосмічна галузь; аналіз програм підготовки; фундаментальні дисципліни; навчально-лабораторна база; аеродинамічні комплекси; результати досліджень.

Вступ

З незапам'ятних часів люди з захопленням і завістю проводжали поглядом пролітаючий птах, як біжать по небу хмари, застиглий в повітрі метелик і раптом метнувся вбік. Вони бачили, як розносяться в теплий, погожий день легкі білі павутинки, пухнасте насіння кульбаби, жовте листя дерев [1].

Приклади польоту в природі манили людину, змушували самому щось спробувати, щось почати робити.

Робилися спроби літати, з нерухомо розпластаними махаючими крилами, подібно до птахів.

Політ людини вдосконалювався поступово. Були часи, коли літали у висячому становищі, на «ета-

жерках», сидячи на лавці в літних окулярах та пробковому шоломі. Потім літали у відкритих кабінах, захищених невеликим вітровим козирком, потім у закритих кабінах із прозорими ліхтарями. І всюди була своя романтика.

Далі стали літати в герметично закритих кабінах, у стиснутих скафандрах. Поступово зменшуючи зв'язок із зовнішнім простором. Відчуття від польоту ставало скупим і жорстким через перевантаження, що діють на пілота. Здавалося б, йшла романтика польоту.

Але прийшла пора досліджень у галузі аеродинаміки надзвукових і навіть гіперзвукових швидкостей, приборкати які стало теж романтикою.

З освоєнням великих швидкостей було досягнуто великих висот, що переходять у космічний простір.

На зміну враженням бачити Землю з висоти пташиного польоту або з висоти Ейфелевої вежі стало можливим глянути на нашу блакитну, прекрасну планету з супутника, а пізніше і з висоти корабля, що віддаляється у бік Місяця.

Увесь цей стрімкий розвиток авіаційної та ракетно-космічної техніки багато в чому пов'язано з досягненнями таких наук як аерогідродинаміка та газова динаміка як єдність науково-творчої діяльності та глибокої відповідної та все об'ємної освіти, є методами та механізмами пізнання та необхідного впливу на визначальні параметри довкілля. управління процесами життєдіяльності та прогнозування його безпечного існування [2].

Початок науки про польоті літальних апаратів у повітрі було покладено М. С. Жуковським [3] Він створив багато праць з теорії авіації, гребних гвинтів, польоту птахів, явищ смерчу, вихрових рухів, вітро-двигунів тощо.

Харківський авіаційний інститут своїм створенням у 1930 р. багато в чому завдячує аерогідродинамічній лабораторії, заснованій академіком Г. Ф. Проскурою. Значним був також внесок Георгія Федоровича у формування наукових колективів кафедри конструкцій літаків та авіа моторної лабораторії. Вплив Г. Ф. Проскури на розвиток наукових досліджень та побудову навчального процесу у ХАІ у 30-ті роки був вирішальним [4, 5].

Аеродинаміка - це наука, що вивчає закони руху повітря (газу) і силову взаємодію між тілом і потоком, що його обтікає.

Аеродинамічні дослідження останнім часом стають актуальними не тільки в авіації, а й у автомобілебудуванні, висотному будівництві, трубопроводному транспорті, відновлювальній "зеленій" енергетиці. Чи розглядаємо ми рух літака, ракети, кулі, вертольота, автомобіля, лопаті вентилятора або вітро-двигуна, парашюта, а також політ птаха, комахи, літаючої риби, кленового насіння або явища водяного, піщаного смерчу — скрізь, у всьому цьому різноманітті ми зустрічаємося з особливостями аеродинамічного впливу повітря.

Численні приклади існують в техніці та в природі взаємодії тіл з повітряним середовищем. Що відбувається у потоці повітря? Що вийде, якщо в цей потік помістити тіло або, навпаки, тіло змусити рухатися в нерухомому середовищі? Відповіді на такі питання дає аерогідродинаміка.

Останнім часом народилася практична космонавтика з її гіперзвуковою аеродинамікою під час руху в атмосфері планет. Створено надзвукові пасажирські літаки. Міцно увійшли в широке викорис-

тання гелікоптери, зробили крок вперед апарати на повітряній подушці та багато іншого.

1. Навчальний процес

1.1. Базові дисципліни

Оскільки, як кажуть, кадри вирішують все, то забезпечення як сьогоdnішнього, так і подальшого перспективного розвитку цієї наукомісткої галузі пов'язане з підготовкою кадрів усіх кваліфікацій із відповідними знаннями та вміннями [6]. На жаль, в останні роки через наслідки різної природи спостерігається суттєве зниження рівня підготовки фахівців для авіакосмічної промисловості, що зазначається керівниками базових підприємств.

Наведено аналіз діючих програм навчання студентів за базовими напрямками підготовки фахівців усіх рівнів для підприємств авіакосмічної галузі: аеродинаміка та газова динаміка, термодинаміка та тепло-, масопередача. Проведено їх порівняння з аналогічними програмами підготовки родинних вузів країн із передовим рівнем створення об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки. Тут приваблює взаємопов'язана послідовність викладання запропонованих дисциплін. Представлені такі найважливіші дисципліни як аеродинаміка літака та вертольота з елементами аеропружності та аероакустики, промислова та експериментальна аеродинаміка. Особлива увага приділяється застосуванню числових методів розв'язання задач аерогідродинаміки та теплопередачі, включаючи методи як кінцевих, так і граничних елементів. Так, в навчальних програмах університету Арізони (USA, University of Arizona, Department of A&ME) [7] (табл. 1) приваблюють курси з аеропружності та аеродинамічної акустики, яку досить можливо впровадити на кафедрі аерогідродинаміки нашого університету з-за наявності як накопиченого досвіду, методичного забезпечення, так й відповідної сертифікованої акустичної лабораторії з шумопоглинаючою камерою.

В Штутгартському інституті аеродинаміки та газової динаміки (Deutschland, Universität Stuttgart) [8] (табл. 2) навчальні програми спрямовані як на вирішення проблем аеродинамічного проектування профілів та крил перспективних літальних апаратів, так й на вивчення методик експериментальних досліджень.

Навчальні програми університету Британської Колумбії (Vancouver, BC Canada V6T 1Z4) [9] (табл. 3) насичені не тільки сучасними обчислювальними та експериментальними методами вивчення аеро-, газодинамічних характеристик літальних апаратів та їх частин, а приділяють суттєву увагу новітнім використанням методів механіки рідин та газів,

аерогідродинаміки в проблемах діагностики серцево-судинних захворювань (мікрогідродинаміка). Тут можлива плідна та перспективна співпраця кафедри аерогідродинаміки ХАІ з відповідною спеціальністю кафедри радіотехнічного факультету нашого вузу.

Таблиця 1

Навчальні програми Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Arizona (USA)

Семестр	Навчальні дисципліни	Об'єм (кр.)
2	Thermodynamics	3
3	Aerodynamics	3
3	Gasdynamics	3
3	Introduction and Fundamentals of Fluid Mechanics	9
4	Intermediate Thermodynamics	3
4	Numerical Methods in Fluid Mechanics and Heat Transfer	3
4	Intermediate Fluid Mechanics	3
4	Applied Thermodynamics	3
4	Finite Element Analysis with ANSYS	3
5	Aeroelasticity	3
5	Advanced Thermodynamics	3
5	Numerical Methods in Fluid Mechanics and Heat Transfer	3
5	Boundary Layers	3
5	Compressible Fluid Dynamics	3
5	Nature of Turbulent Shear Flow	3
5	Applied Thermodynamics	3
6	Boundary Element Method	3
6	Advanced Computational Aerodynamics	3
6	Hydrodynamic Stability	3
6	Aeroacoustics	3
ВСЬОГО: 72 units = 2592 год.		

В навчальних програмах Пекінського аерокосмічного університету (China, Peking University) [10] (табл. 4) приваблює взаємопов'язана послідовність викладання запропонованих дисциплін.

Таблиця 2

Навчальні програми Stuttgart Institute of Aerodynamics and Gasdynamics (Germany)

Семестр	Навчальні дисципліни	Об'єм (кр.)
4	Numerical Methods	5
5	Fluid Mechanics	15
6-8	Aircraft Aerodynamics	9
7	Helicopter Aeromechanics	2
7	Theoretical Gasdynamics	2
7	Boundary-Layer Theory	3
7	Computational Fluid Dynamics (CFD)	3
7	Numerical Flow Visualization	2
7	Aerothermodynamic design problems з supersonic flight	2
7	Aerodynamic design of airfoils and wings	3
7	Numerical Gasdynamics	5
8	Numerical Solutions of incompressible flows	2
8	Industrial Aerodynamics	2
8	Environmental Aerodynamics	2
8	Experimental Fluid Dynamics	2
8	Flow Visualization	1
ВСЬОГО: 53 units=1908 год.		

Таблиця 3

Навчальні програми FLUID DYNAMICS University of British Columbia (Canada)

Семестр	Навчальні дисципліни	Об'єм (кр.)
2	Introduction to Fluid Mechanics	3
2	Thermodynamics	3
2	Heat Transfer	3
3	Industrial Fluid Mechanics	3
3	Biofluids	3
4	Termofluids	3

Продовження табл. 3

Семестр	Навчальні дисципліни	Об'єм (кр.)
4	Introduction to Computational Fluid Dynamics	3
5	Aerodynamic of Aircraft Lab Syllabus	3
5	Aerodynamic Design of an Aircraft	3
6	Introduction to Ship Hydrodynamics	3
7	Experimental Termofluids	3
8	Experimental Fluid Mechanics	4
8	Turbulent Shear Flow	4
9	Computational Fluid Dynamics	4
ВСЬОГО: 47 units=1290 год.		

Представлені такі найважливіші дисципліни як аеродинаміка літака та вертольоту, елементи аеропружності та аероакустики, промислова та експериментальна аеродинаміка. Особлива увага приділяється застосуванню числових методів розв'язання задач аерогідрогазодинаміки та теплопередачі, включаючи методи як кінцевих, так і граничних елементів. Про високий рівень підготовки фахівців з механіки рідин та газів, аерогазодинаміки в Пекінському аерокосмічному університеті свідчать багаточисельні публікації в провідних наукових виданнях таких, як *J. Fluid Mech.*, *AIAA J.*, *AIAA Pap.*, *Springer*, *ZAMP* та інші.

Тут треба окремо відзначити, що існуючі на цей час в ХАІ науково-дослідницькі аеродинамічні лабораторії визнані найбільш розвинутою відповідною експериментальною базою на теренах східної Європи [11], але така дисципліна як експериментальна аеродинаміка зникла з навчальних програм нашого вузу ще наприкінці минулого століття.

У нашому навчальному закладі зміст базових дисциплін представлений в табл. 5. Привертає увагу те, що змісти зазначених дисциплін не відповідають виділеній кількості аудиторних годин. Викликає великі сумніви результативність задекларованих обсягів на індивідуальну та самостійну роботи. Крім цього, не проглядається і викликає занепокоєння узгодженість дисциплін з аеродинаміки та гідравліки з гідрогазодинамікою та термодинамікою. В даний час створення сучасної аерокосмічної техніки базується на дослідженнях впливу в'язкого теплопровідного газу як на зовнішні задачі обтікання літальних апаратів, так і внутрішні процеси в авіаційних двигунах. У програмах не відображено початково-

крайові задачі навіть для класичних рівнянь Нав'є-Стокса та його сучасних модифікацій, вкладених у вивчення турбулентних течій, особливо у питаннях аеродинамічного проектування несучих систем літальних апаратів широкого застосування.

Таблиця 4
Навчальні програми FLUID MECHANICS
Peking University (China)

Навчальний тиждень	Зміст навчальної дисципліни	Метод навчання
1	Course introduction, fundamental properties of viscous fluid flow, stress tensor introduction	Lecture
2	Generalized Newton's law, continual equation, momentum equation of fluid flow	Lecture
3	Energy equation, some main feature of viscous fluid flow	Lecture
4	Discussion for the solutions of fluid equations, stokes motion of fluid flow bypass the ball	Lecture, discuss.
5	Boundary layer differential equation, separation of boundary	Lecture, discuss.
6	Similar solution of two dimensional boundary layer differential equation	Lecture
7	Falkner-Skan solution of fluid flow	Lecture
8	Momentum integral equation in boundary, velocity section	Lecture
9	Pohlhausen method, Holstein method, Thwaites method	discuss. 2
10	Basic concepts of turbulent flow, fundamental equation of turbulent flow	Lecture, discuss.
11	Statistical theory of turbulent flow, closeness of turbulent statistic equation	Lecture
12	Turbulent model and its application range in engineering	Lecture
13	Boundary layer of turbulent flow	Lecture, discuss.
14	Free shears turbulent flows, turbulent flow in pipe	Lecture
15	Fundamental of two-phase flow	Lecture, discuss.
16	Typical applications of numerical simulation to fluid flow	Lecture
17	Numerical simulation of fluid flow and simulation on engineering turbulence	Lecture, pract. in computer
18	Examination	Pract. in comput., exam.

Таблиця 5

Навчальні програми Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»

Кафедра	Дисцип.	Се- мestr	Зміст навчальних дисциплін	Об'єм (год.)
Кафедра аерогідродинаміки (101)	Аерогідродинаміка та гідравліка	4	1. Основні фізико-механічні властивості рідин та газів 2. Основи кінематики рідини та газу 3. Основи динаміки рідини та газу 4. Прикордонний шар 5. Тонкий профіль у потоці рідини, що не стискається 6. Тонкий профіль у дозвуковому потоці газу 7. Надзвукові течії Теорія стрибка ущільнення 8. Тонкий профіль у надзвуковому потоці газу	4 8 10 8 13 8 7
		5	9. Основні рівняння гідравліки 10. Основи гідростатики 11. Течії рідини у трубах 12. Місцеві гідравлічні опори 13. Витікання рідини через отвори та насадки 14. Розрахунок гідравлічних мереж 15. Гідравлічні машини (насоси)	2 4 8 8 4 8 10
		ВСЬОГО: 288 68 л., +34 пр. +9 лаб. +177 с.р.)/8		
Кафедра аерокосмічної теплотехніки (205)	1. Гідрогазодинаміка	4	1. Гіпотеза суцільності 2. Фундаментальні закони та рівняння 3. Рівняння одновимірних течій газу 4. Газодинамічні функції 5. Математична модель прямого стрибка 6. Закон зворотного впливу 7. Течії газу із взаємодіями 8. Метод малих збурень 9. Лінеаризований надзвуковий потік 10. Кінцеві збурення у надзвукових потоках 11. Прикордонний шар у газі	3 8 6 4 6 2 6 2 3 2 6
		ВСЬОГО: 162 (38 л., +9 лаб. +115 с.р.)/4.5		
	2. Термодинаміка та теплообмін	4	1. Термодинамічна система та її характеристики. 2. Фундаментальні закони термодинамики 3. Термодинамічні процеси в елементах енергетичних установок та системах 4. Термодинамічні цикли теплових машин 5. Основи теорії теплопровідності 6. Конвективний теплообмін 7. Елементи теплообміну випромінюванням 8. Деякі задачі складного тепло- та масообміну	8 10 18 6 7 14 4 4
ВСЬОГО: 144 (45 л.+27 лаб.+24 інд.+72 с.р.)/4				

1.2. Фундаментальна підготовка

Причому таке порівняння має охоплювати не лише основні дисципліни напряму «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» такі, як гідродинаміка, аеродинаміка, газова динаміка та термодинаміка, а й програми дисциплін, які забезпечують якісне розуміння та засвоєння базових знань: математика фундаментальна та прикладна, включаючи сучасні постановки початково-крайових задач аеродинаміки та газової динаміки, а також методи їх числової реалізації, спрямовані на вирішення проблем створення аерокосмічної техніки. Звичайно, було б дуже кори-

сно провести аналіз змісту програм цих дисциплін та їх відповідності/запобіганості основним дисциплінам напряму.

Аналіз представлених програм та курсів переконує в тому, що, на жаль, підготовка фахівців усіх кваліфікацій для авіакосмічної галузі, на нашу думку, залишає бажати кращого. Можна виділити лише такі позиції. Відома складна форма поверхонь транспортних засобів, особливо літальних апаратів. Їх проектування з урахуванням аеродинамічних та міцнісних характеристик потребує достатньо глибоких знань у галузі сучасного векторно-тензорного аналізу та диференціальної геометрії, які навіть не пропону-

ються до вивчення. Зазначимо також, що методи теоретичних досліджень, що застосовуються сьогодні, і відповідні пакети прикладних програм, засновані на кінцево-різницевих підходах, далекі від досконалості, а результати фундаментальних робіт наших попередників (М. Є. Кочин, І. І. Ляшко, Б. Є. Победря, П. К. Рашевський, І. Н. Векуа, В. Д. Купрадзе та ін) затребувані не повною і необхідною мірою. Тим не менш, зростає інтерес до ідеології методу граничних інтегральних рівнянь, який останнім часом набув вельми широкого поширення [12] (Vector, tensor and the basic equations of fluid mechanics. R. Aris. University of Minnesota; публікації в видавництвах: Pergamon Press, Springer, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Journal of Fluid Mechanics, AIAA Paper, Acta Mechanica Sinica, International Journal of Mechanical Engineering and Automation, Journal of aircraft, NASA cooperative agreement, NASA Langley research center та інших). Тому необхідні такі розділи курсу вищої математики (математичної фізики), де вивчалися б інтегральні представлення розв'язків найпростіших початково-крайових задач для класичних рівнянь Лапласа, теплопровідності та хвильового, які і в даний час широко використовуються при формулюванні практичних математичних моделей аеродинаміки та газової динаміки, термодинаміки і теорії пружності, механіки твердого тіла, що деформується. У цьому випадку можна гарантувати вирішення проблеми успішного поєднання знань і умінь. Крім цього, такий послідовний і взаємопов'язаний навчальний процес гарантує творчу діяльність, засновану не на пакетах «чорних» програмних продуктів, а на інтелектуальному багатстві фахівця, оскільки методології, на базі яких створюються програмні продукти, що широко рекламуються творцями, не розкриваються і тому необхідний професійний аналіз всієї інформації, що надходить по лінії Internet. Посібники для користувачів існуючих пакетів прикладних програм, як правило, не містять опису відповідних математичних моделей та методів їхньої числової реалізації. Тому отримані результати найчастіше не відповідають очікуванням та не узгоджуються з даними апробованих експериментальних досліджень.

Тільки можна нагадати, що в попередні роки кафедри аеродинаміки та динаміки польоту всіх профільних вузів навчали студентів за єдиними програмами: гідравліка (семестр, розрахунково-графічна робота, залік, іспит), теоретична аеродинаміка (2 семестри, курсова розрахунково-графічна робота, залік, іспит), прикладна та експериментальна аеродинаміка (семестр, курсовий проект, залік, іспит), динаміка польоту (семестр, курсовий проект, залік, іспит). Крім цього, за напрямами спеціально-

стей двигунобудування викладалися такі предмети як газова динаміка та термодинаміка у значно більших обсягах, ніж це показано у табл. 5. Ці програми розроблялися провідними вченими та методистами та затверджувались після детального узгодження у робочих групах науково-технічних рад базових підприємств галузі, а процес навчання завершувався захистом курсових/дипломних робіт/проектів та складанням повноцінних іспитів. На превеликий жаль, сьогодні ці програми просто не існують.

Однією з причин ослаблення фундаментальної підготовки фахівців був не зовсім продуманий принцип створення інституту кафедр, що випускають. Було запущено процес забезпечення штатів та навантаження цих кафедр на шкоду замовлень на основні курси фундаментальної підготовки. Результати цієї діяльності сьогодні очевидні. В результаті істотно знизився рівень підготовки фахівців з основних дисциплін в авіації: аеродинаміці, механіки рідини та газу, міцності літальних апаратів, оптимізації конструкції проєктованих виробів. А така дисципліна як динаміка польоту просто була виключена з навчальних доручень нашого університету на відміну від вузів, у яких навчаються майбутні «користувачі» авіаційної техніки (НАУ, ХНУВС та ін.).

На жаль, на сьогоднішній день зникла кафедра механіки у Харківському Національному університеті ім. В. М. Каразіна, заснована та уславлена видатними математиками-механіками, академіками О. М. Ляпуновим та В. А. Стекловим і успішно розвивалася протягом багатьох років зусиллями ректора ХДУ (1975 - 1993), випускника ХАІ, професора І. Є. Тарапова, а також знаходиться під питанням існування кафедри аерогідродинаміки та тепломасообміну Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

1.3. Навчально-лабораторна база

Важливо, що нині велику роль відіграють задачі як внутрішнього, так і зовнішнього тепломасообміну, з урахуванням фізико-хімічного взаємодії, що забезпечують надійне функціонування агрегатів та систем авіакосмічної техніки. Тут обґрунтовано підкреслюється, що навчання по всьому спектру цих дисциплін/курсів має бути узгодженим та послідовним, що забезпечує здатність студента грамотно формулювати, насамперед, математичну модель поставленої задачі. Однак ці знання повинні супроводжуватися навичками та вміннями, що забезпечуються вивченням курсів експериментальної аерогідродинаміки, газової динаміки та тепломасообміну (див. табл. 1 - 4) з виконанням навчальних/тестових досліджень на лабораторних установках та стендах.

У цьому плані кафедра аерогідродинаміки ХАІ достатньою мірою забезпечена відповідними лабораторними установками та стендами, деякі з яких представлені на рис. 1 – 4.



Рис.1. Комплекс лабораторних стендів з дисципліни «Гідравліка»



Рис. 2. Навчальна аеродинамічна труба Т-8 для визначення параметрів пограничного шару

Це лабораторне обладнання було створено понад 50 років тому. У 2000-х роках силами колективу кафедри була проведена широкомасштабна реставрація гідравлічних установок і систем забезпечення, а навчальна дозвукова аеродинамічна труба Т-5 приведена у відповідність до вимог держстандартів і укомплектована апаратурою, що дозволяє проводити навчальний процес з метою дослідження аеродинамічних характеристик літа-

льних апаратів та їх частин в режимі реального часу.



Рис. 3. Навчальна дозвукова аеродинамічна труба Т-5



Рис. 4. Навчальна надзвукова аеродинамічна труба Т-7

Проте на сьогоднішній день витребувані знання фахівців мають базуватись на сучасній навчально-лабораторній базі. Насамперед це стосується оснащення гідравлічної лабораторії елементами сучасного насосного обладнання (плакати, моделі, стенди, ...) та гідро-, пневмоавтоматики. Можна з упевненістю сказати, що творча взаємодія з профільними підприємствами галузі, з урахуванням їхньої кадрової зацікавленості, цілком може вирішити ці завдання.

2. Наукова діяльність

2.1. Експериментальна база

За більш ніж 100 років розвитку авіації Україна досягла великих успіхів і увійшла до небагатьох країн, які мають повний технологічний цикл створення

літальних апаратів, авіаційних двигунів та ракетно-космічної техніки.

Однією з причин швидкого розвитку цих галузей стали значні успіхи в галузі гідрогазодинаміки та прикладної аеродинаміки, що увібрала в себе не лише досягнення сучасної аеродинамічної теорії, а й, перш за все, експериментальної аеромеханіки. У вирішенні величезної кількості завдань аеромеханіки, жоден з методів не відіграє таку роль, як метод експериментів в аеродинамічних трубах. Необхідність експериментування на моделях, що замінюють натурний об'єкт, диктується низкою об'єктивних умов і, зокрема, неможливістю експерименту на натурному об'єкті. Тому, при створенні літака, ракети або космічного корабля з моменту розробки до стадії остаточного складання апарату (до першого польоту) використовуються результати наземних випробувань, і в першу, чергу випробування на масштабних моделях в аеродинамічних трубах. Таким чином, аеродинамічним трубам в даний час належить провідна роль і, мабуть, така ж роль належатиме і в найближчому майбутньому, при створенні нових зразків авіаційно-космічної техніки, незважаючи на розвиток інших методів експерименту, таких як балістичні випробування, політ радіокерованих динамічно-подібних моделей, метод аналогій, обчислювальних методів тощо.

В цілому, як показує практика, від потужності та рівня аеродинамічної експериментальної бази залежить проведення необхідного обсягу наземних досліджень, тривалість розробки та, зрештою, якість новостворених літальних апаратів.

Крім того, проведення необхідного обсягу наземних випробувань дозволяє скоротити витрати на дорогі льотні випробування та доопрацювання виробів у процесі їх виробництва та експлуатації.

Аеродинамічні експериментальні дослідження виконуються у розвинених країнах світу у великому обсязі. В даний час у світі налічується близько 1300 аеродинамічних труб різного призначення, деякі з

яких представлені в таблиці 6. В Україні в ОКБ, у профільних підрозділах НАН України та університетах в експлуатації знаходиться близько 10 аеродинамічних труб, з них 4 у Національному аерокосмічному університеті «ХАІ» (табл. 6).

Кафедра підтримує та розвиває наукові та творчі зв'язки з національними та закордонними науковими установами та закладами: Лабораторно-експериментальна база кафедри аерогідродинаміки кафедри нашого університету, за незалежними експертними оцінками, повною мірою відповідає технічному рівню та методичному забезпеченню аналогічних лабораторій відомих зарубіжних установ [7 - 11] (табл. 6 та 7). Причому розвиненою експериментальною базою не тільки аеродинаміки, а й міцності, акустики мають практично всі країни Європейського Союзу (Англія, Бельгія, Німеччина, Італія, Іспанія, Нідерланди, Франція, Швейцарія, Швеція), а також США та Канада. Підприємства аерокосмічного комплексу та профільні університети цих країн оснащені обладнанням та комплексами для досліджень у галузі аеродинаміки дозвукових, надзвукових та гіперзвукових швидкостей, а також аеродинамічної акустики. Цікаво відзначити, що бюджетне фінансування акустичної лабораторії Королівського університету (Стокгольм, Швеція) перевищує бюджетне фінансування нашого вузу більш ніж удвічі, а також має тісне госпдоговірне науково-технічне співробітництво з провідними авіаційними та автомобільними фірмами Європи! Хоча наша лабораторія акустики з унікальною та атестованою держстандартом України шумопоглинальною камерою має ширший спектр застосування за рахунок можливості використання струменевих потоків.

Усі аеродинамічні труби комплексу (рис. 5 та 6) обладнані 6-ти компонентними автоматизованими вагами, забезпечені сучасною комп'ютерною технікою та забезпечені авторськими програмними продуктами з метою проведення якісного експерименту в режимі реального часу.

Таблиця 6

Технічні характеристики аеродинамічних труб закордонних авіаційних фірм

№ п/п	Місце розташування	Тип	Діапазон швидкостей	Габарити робочої частини	Примітки
1	NPI (Теддінгтон)/Англія	балонна	$M=1,5 \div 3$	0,31 м x 0,1 м	періодичної дії
2	DFVLR (DLV)/ Німеччина	балонна	$M=1,5 \div 6,5$	горизонтальна – 0,3 x 0,3 м (закрита)	30÷60 с
3	NAE (Оттава)/Канада	балонна	№ 1 – $M = 0,2 \div 4,5$ № 2 – $M = 0,5 \div 0,75$	№ 1 – 1,52 x 1,52 м; № 2 – 0,38 x 1,52 м; довжина – 5,5 м	№ 1 – 20 с № 2 – 5÷60 с

Технічні характеристики аеродинамічних труб України

№ п/п	Місце розташування	Тип	Діапазон швидкостей	Габарити робочої частини	Примітки
1	Т – 4 (Харків, ХАІ) / Україна	безперервної дії	$M = 0,2 \div 0,5$	$D = 1,5$ м; довжина – 2,2 м	замкнутого типу з відкритою робочою частиною
2	ТАД – 1 (Київ, НАУ) / Україна	безперервної дії	72,5 м/с	4,4 м x 10,5 м	замкнутого типу з відкритою робочою частиною
3	ДП «Антонов» (Київ) / Україна	безперервної дії	10 \div 70 м/с	еліпс: 4,05 м x 2,23 м, довжина – 4,0 м	замкнутого типу з відкритою робочою частиною
4	Т – 6 (Харків, ХАІ) / Україна	балонна	$M = 0,2 \div 4,5$	горизонт. 0,3 x 0,3 м (закрита), довж. – 1,5 м	1,30 с \div 3 хв

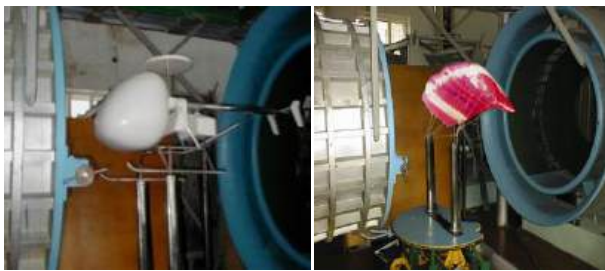


Рис. 5. Аеродинамічна труба дозвукових швидкостей Т-4



Рис. 6. Надзвукова аеродинамічна труба Т-6

2.2. Результати наукової діяльності

Оскільки освіта та наука невід'ємні та нероздільні, то доцільно показати ті результати, які досягнуто у процесі її творчої діяльності.

Навчальна робота та наукова діяльність кафедри, її існуючий творчий потенціал забезпечили організацію та проведення Міжнародних наукових конференцій «Аеродинаміка: проблеми та перспективи» (м. Харків, 2004, 2006, 2009), участь у яких прийняли провідні фахівці підприємств галузі, вчені та спеціалісти НАН України та зарубіжжя, профільних вищих навчальних закладів. На запрошення керівництва Інституту телекомунікаційного та глобального інформаційного простору НАН України (м. Київ), ДП «Прогрес» ім. О. Г. Івченка та ДП «Антонов» на наукових радах семінарах були проведені презентаційні заходи щодо отриманих фундаментальних нау-

кових результатів за напрямом «Аерогідродинаміка та аероакустика: проблеми та перспективи», де пролістровано можливості розв'язання широкого спектру існуючих проблем та механіки доквілля, транспортних засобів усіх типів на основі ідеологій та методів, створених вченими кафедри, а також на базі аеродинамічного комплексу Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ».

Однак нині відсутність навіть «скромного» штатного розкладу не дозволяє виконувати гідні та необхідні експериментальні дослідження, затребувані аерокосмічними підприємствами та оборонним комплексом України, що підтверджується підписаним «Меморандумом та співробітництвом» між Національним аерокосмічним університетом ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» та Державним концерном «Укроборонпром».

Окремо необхідно наголосити на високому рівні наукових праць аспірантів та здобувачів кафедри, що подаються на молодіжних наукових форумах: Всеукраїнська наукова конференція молодих науковців та студентів з диференціальних рівнянь та їх застосування, присвячена 100 – річному ювілею академіка Я. Б. Лопатинського (Донецьк: ДонНУ, 2006 р.); Міжнародні молодіжні науково-практичні конференції «Людина та космос» (м. Дніпропетровськ); Міжнародна конференція молодих математиків (Інститут математики НАН України, м. Київ, 2015); Міжнародні наукові конференції «Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу» (ДНУ ім. О. Гончара, м. Дніпро); Міжнародні науково-технічні конференції «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки» (ХАІ, м. Харків), ХХІІ, ХХІІІ Міжнародні науково-практичні онлайн конференції «Відновлювальна енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті» (інститут Відновлювальної енергетики НАН України, м. Київ, травень 2022 – 2023 р.р.) та ін. Деякі результати цієї наукової діяльності представлені нижче.

Протягом багатьох років для підприємств як аерокосмічного комплексу, так і інших галузей промисловості, за наявності розвиненої експериментальної бази та комп'ютерних технологій теоретичних досліджень, а також колективу висококваліфікованих вчених та фахівців, виконуються фундаментальні та прикладні аеродинамічні дослідження у широкому діапазоні зміни фізичних характеристик середовища та геометричних параметрів досліджуваних об'єктів, у тому числі:

- формування вигляду та вибір раціональних параметрів літальних апаратів різного призначення на основі дослідження аерогазодинамічних характеристик, у тому числі повітряно-космічних систем у широкому діапазоні параметрів подібності з супутнім розрахунком і аналізом траєкторій, варіантів розділення ступенів, енергетичного забезпечення та безпеки (рис. 7);



Рис. 7. Перспективні літальні апарати

- дослідження фізичних процесів вихроутворення в супутніх потоках, їх вплив на аеродинамічні і акустичні характеристики літальних апаратів (рис.8);

- прогнозування розсіяння забруднюючих речовин від потенційних викидів під час зльоту авіаційного транспорту. Подібні дослідження можуть бути використані при проектуванні нових та модернізації вже існуючих аеропортів та прилеглих районів;



Рис. 8. Вихровий супутній потік сучасного літака

- дослідження гідродинамічних явищ у технологічних та нанofізичних процесах (рис. 9 - 11);

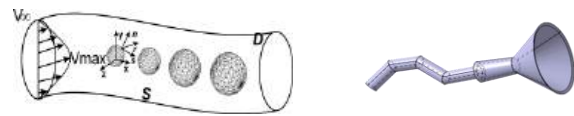


Рис. 9. Течії в'язких середовищ в трубах та каналах складної просторової конфігурації

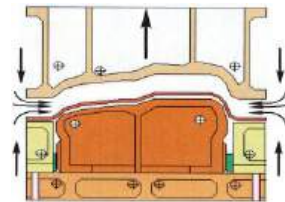


Рис. 10. Аеродинаміка високошвидкісної обробки



Рис. 11. Гідродинаміка ливарних процесів

- розробка математичного забезпечення з технічних умов замовника та проведення розрахункових досліджень з аеродинамічного відпрацювання літальних апаратів;

- випробування аеродинамічних моделей у трубах в поєднанні з комплексом фізичних та теоретичних досліджень (рис. 12);

- розробка методів енергетичного збільшення підйомної сили літальних апаратів (рис. 13);

- теоретичне дослідження аеродинамічних, теплообмінних та траєкторних характеристик аерокосмічних систем багаторазового використання (див. рис. 7, рис. 14);

- аеродинамічні випробування вітросилових пристроїв щодо перетворення енергії вітру на інші види енергії (рис. 15 - 17);

- експериментальні аеродинамічні випробування макетів будівель, мікрорайонів та інженерних споруд (рис. 18);

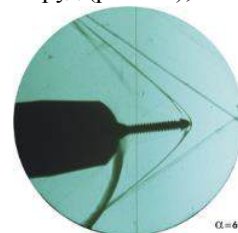


Рис. 12. Візуалізація картини надзвукового обтікання



Рис. 13. Експериментальні дослідження аеродинамічних характеристик моделі літака в аеротрубі Т-4

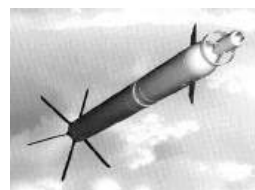


Рис. 14. Аеродинамічні гальмувальні системи літальних апаратів

зи, автомобілі, велосипеди, підводні апарати, екіпажі на магнітній та повітряній підвісці);

- створення стаціонарних та аеродромних глушників шуму від реактивних двигунів літака;
- створення вітроподвигунів з вертикальною вісю обертання і т.д.

Унікальні результати досягаються застосуванням оптичних досліджень обтікання тіл повітряним потоком, який проводять тіншовим методом Теплера, що дозволяє отримати візуалізацію розподілу ліній струму, стрибків ущільнення та інших характерних особливостей процесів обтікання (див., напр., рис. 12).

Багато з цих результатів були отримані вперше в Україні та східноєвропейських країнах і значна частина реалізована при проектуванні нової авіаційної, ракетної та космічної техніки та в галузі загального машинобудування. Багато в чому все це було забезпечене та розвинене нашими видатними випускниками, які пов'язали свою діяльність як із загальною механікою рідин та газів, так й з практичною аерогідродинамікою. У тому числі можна назвати А. С. Гиневського – доктора техн. наук, професора, заслуженого діяча науки; І. Є. Тарапова – доктора фіз.-мат. наук, професора, ректора ХДУ (1975 – 1993 р.р.); І. Т. Селезова – доктора фіз.-мат. наук, професора, зав. відділом гідродинаміки хвильових процесів інституту гідромеханіки НАН України, лауреата державної премії України в галузі науки та техніки, заслуженого діяча науки та техніки України; В. П. Пустовойтова – доктора техн. наук, професора, головного спеціаліста відділення аеродинаміки ДП «Антонов», лауреата державної премії України в галузі науки та техніки; Н. Д. Копачевського – доктора фіз.-мат. наук, професора, зав. кафедрою математичного аналізу Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського, заслуженого діяча науки та техніки України, заслуженого працівника освіти Автономної Республіки Крим, лауреата Премії ім. В. І. Вернадського, члена Національного Комітету України з теоретичної та прикладної механіки; В. А. Кудрявцева – заступника генерального конструктора, начальника відділення аеродинаміки ДП «Антонов», лауреата державної премії України в галузі науки та техніки; П. А. Яковенка – головного конструктора ДП «ККБ «Промінь»» та керівника відділу цього ж підприємства М. О. Сайнога та багатьох інших. Подальший розвиток та оновлення відома наукова школа академіка Г. Ф. Проскури одержала завдяки працям професора В. І. Холявко – доктора техн. наук, зав. кафедрою аерогідродинаміки ХАІ (1981 -1999) [14], В. В. Тюрєва – доктора техн. наук, професора каф. аерогідродинаміки ХАІ, Ю. О. Крашаниці – Відмінника освіти України, доктора техн. наук, професора, зав. кафедрою: основ вищої

математики (1990–1998 рр.), аерогідродинаміки (2000–2008 рр.) [15], співробітниками науково-дослідницьких лабораторій кафедри.

Як сам аеродинамічний комплекс нашого університету, так і, особливо, отримані результати привертають увагу та зацікавленість у співпраці вчених та спеціалістів як України, так і близького та далекого закордоння (рис. 21 – 23).



Рис. 21. Делегація українських вчених



Рис. 22. Делегація вчених від профільних університетів США



Рис. 23. Делегація керівників тбіліського авіаційного університету під головуванням ректора, професора С. Тепнадзе

Розвитку та вдосконаленню експериментальних досліджень на базі аеродинамічного комплексу нашого університету приділяють належну увагу керівники профільного міністерства та держави (рис. 24).



Рис. 24. Президент України (1994 – 2005 р.р.)
Л. Д. Кучма надав високу оцінку
науково-промислового потенціалу комплексу

На базі експериментальних досліджень, на кафедрі розвиваються теоретичні та числові методи розрахунку перспективної авіаційної та ракетно-космічної техніки. Ці розрахункові методи, методи перерахунку від прототипу, яким є експериментальний матеріал, створюють фундамент найбільш достовірного широкого перегляду великої кількості варіантів й у пошуку і відбору кращого з них. Крім того, крім фундаментальних експериментальних досліджень у формуванні вигляду літального апарату нового покоління їхньої аеродинаміки, міцності та динаміки, велику роль останні 15 - 20 років стали грати розрахункові методи та методи моделювання з використанням ЕОМ. На основі наявної бази даних, вченими кафедри були створені як для дозвукових, так і для надзвукових режимів, надійні програми та комплекси розрахунку аеродинамічних характеристик крил, фюзеляжів, оперення та всього компонування літака в цілому. Зараз, вони виділилися в окрему галузь аеродинаміки, яка називається обчислювальною аеродинамікою.

За роки незалежності України цей унікальний аеродинамічний комплекс повністю забезпечує потреби авіаційних та аерокосмічних КБ з аеродинамічного опрацювання літальних апаратів, що знову проєктуються, а результати його діяльності – вагоме наукове надбання України та її гордість [6]. Саме тому у 1999 році аеродинамічному комплексу Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» одному з перших було надано статус Національного наукового надбання України.

Творча діяльність та результати досліджень професорсько-викладацького та науково-технічного складу кафедри активно представляються на профільних наукових форумах та науково-технічних конференціях, що забезпечило успішну організацію та проведення представницьких Міжнародних наукових конференцій «Аеродинаміка: проблеми та перспективи» на базі кафедри аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Висновки

Таким чином, у Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» на базі широкого спектру як фундаментальних, так і експериментальних наукових досліджень здійснено реальну можливість побудови сучасного навчального процесу підготовки та перепідготовки фахівців, у тому числі вищої кваліфікації, з механіки та рідини та газу, аеродинаміки та газової динаміки літальних апаратів, динаміки польоту, безпечної експлуатації аерокосмічної техніки та авіації загального призначення, а також дослідженню газогідродинамічних явищ у технологічних процесах. Напевно, процес підвищення кваліфікації спеціалістів галузі доцільно проводити за пропозиціями профільних підприємств на їх базі за узгодженими програмами обраних дисциплін. Крім цього, потребує особливої уваги побудова навчального процесу підготовки фахівців вищої кваліфікації через аспірантуру та докторантуру. Адже в недавньому минулому аспіранти проходили плановий навчальний процес з таких, наприклад, базових для нашого вишу дисциплін як механіка рідини, газу та плазми, механіка деформованого твердого тіла, дискретна та обчислювальна математика. В даний час розширення та згублення знань претендентів на наукові ступені до рівня достатнього для створення дисертаційної роботи в кращому випадку забезпечує науковий керівник або консультант, що, звичайно, далеко недостатньо. Проте, навчання студентів та аспірантів далекого зарубіжжя за спеціалізаціями та науковими напрямками кафедри аерогідродинаміки значною мірою забезпечує матеріально-фінансовий стан нашого університету.

Тут також існує проблема кадрового забезпечення висококваліфікованими науково-педагогічними спеціалістами кафедр, які забезпечують фундаментальну підготовку фахівців аерокосмічної галузі. Про це свідчить також відсутність на сьогодні у складі спеціалізованих вчених рад із захисту дисертацій таких фундаментальних спеціальностей як «Механіка рідин, газів та плазми», «Аеродинаміка та газова динаміка літальних апаратів».

За оцінками експертів, результати існуючого сьогодні тестування абітурієнтів із фундаментальних дисциплін говорять про справжню загрозу кадрового забезпечення необхідної реіндустріалізації нашої держави, що дуже важливо також і для збереження та розвитку науково-педагогічного кадрового потенціалу. Крім цього, відсутність вагомої державної підтримки фундаментальних напрямів розвитку науки може згубно позначитися на розвитку та впровадженні науково-дослідних прикладних робіт, основою яких є результати фундаментальних досягнень у галузі математики та механіки.

Що ж до науково-технічного співробітництва з профільними організаціями аерокосмічної галузі, незважаючи на вельми «райдужні» перспективи, бажає кращого. Отримання міжнародних грантів за науково-технічними напрямками кафедри значною мірою може бути забезпечене участю наших співробітників у профільних наукових форумах, які добре відомі та їх цілком достатньо (WCCM, ICTAM, ECCOMAS тощо), з презентацією результатів, багато з яких згадані вище, а також публікацією результатів у закордонних виданнях високого рівня. Однак цей успішний процес через непереборні фінансові труднощі сьогодні є безперспективним, оскільки за останні роки державне фінансування науки скоротилося більш ніж у двадцять разів [13].

Особливо слід зазначити, що у зв'язку з важливістю питань методичного забезпечення проектно-конструкторських робіт зі створення нових виробів авіаційної та ракетно-космічної техніки, транспортних засобів та промислових споруд необхідно суттєво підвищити рівень підготовки випускників відповідних спеціальностей з аеродинамічного та енергобалістичного проектування, питань конструкції, міцності, та аеропружності, а також по оптимізації вибору проектних параметрів аеродинамічного вигляду виробів, що розробляються.

І останнє. В умовах, що склалися, кафедра аерогідродинаміки як базова і фундаментальна кафедра Харківського авіаційного інституту за свою багаторічну плідну діяльність накопичила вагомих навчально-методичний досвід відображений в чисельних навчально-методичних, в яких досконало викладені сучасні математичні моделі як механіки рідин та газів [16], так й їх застосування в практичній газовій динаміці авіаційних двигунів [17], представлені методи визначення аеродинамічних характеристик літальних апаратів як у крейсерському режимі польоту [18], так й при над- та гіперзвукових швидкостях [19]. Приділяється увага методам розрахунку аеродинамічних характеристик несучих та керуючих систем літальних апаратів [20]. По за увагою не залишилися питання автоматизації теоретичних та експериментальних досліджень в аерогідродинаміці

[21], також на базі оригінальних програмних продуктів за допомогою обчислювальної техніки [22]. В останній час особливо актуальними виявилися питання подвійного використання гвинтокрилої авіаційної техніки саме чому свого часу були створені навчальні посібники з вивчення аеродинамічних характеристик вертольотів [23] та динамічних властивостей їх маневреного польоту [24]. Таким чином, об'єктивно існує також і навчально-методичне підґрунтя відродження спеціальності "Аеродинаміка авіаційної та ракетно-космічної техніки", а кафедра аерогідродинаміки по праву заслуговує надання їй статусу «випускаючої кафедри». Тільки в цьому випадку можна впевнено говорити про якісну підготовку фахівців усіх рівнів, які зможуть забезпечити існування та розвиток аерокосмічної галузі нашої держави

З метою подальшого розвитку та вдосконалення експериментальних науково-дослідницьких та промислових досліджень доцільно реалізувати відповідну Постанову Кабінету Міністрів України щодо створення державної ключової лабораторії на основі наукового об'єкту, що становить Національне надбання України - аеродинамічного комплексу на базі надзвукових аеродинамічної труби Т-6. Створення такої лабораторії повинне забезпечити як стабільне державне фінансування з урахуванням необхідного штатного розкладу, так і гарантувати господарне співробітництво з профільними підприємствами галузі.

Внесок авторів: постановка невідкладної задачі створення нової спеціальності "Аеродинаміки та газова динаміка авіаційної та ракетно-космічної техніки", стан та зміст існуючих програм та дисциплін, спрямованих на забезпечення відповідних знань та вмінь фахівців та їх порівняння з діючими навчальними курсами в авіаційних підрозділах університетів розвинутих держав – **О. В. Третяк**; матеріально-технічне забезпечення навчального процесу, стан та перспективи розвитку та оснащення навчально-лабораторної бази сучасними приладами та обладнанням, аналіз існуючих наукових досягнень та перспективи подальшого розвитку напрямків у рамках наукової школи "Аеродинаміки та газова динаміка авіаційної та ракетно-космічної техніки", залученням магістрів та аспірантів спеціальності – **Ю. О. Крашаниця**.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо матеріалів цієї публікації, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних даних.

Використання засобів штучного інтелекту

Автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

Автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література

1. Казневский, В. П. *Аэродинамика в природе и технике* [Текст] / В. П. Казневский. – М. : Просвещение. 1985. – 138 с.
2. Капица, П. Л. *Эксперимент. Теория. Практика : Статьи, выступления* [Текст] / П. Л. Капица. – М. : Наука, 1974. – 288 с.
3. Крашаница, Ю. А. Н. Е. Жуковский – Аэрогидродинамика и динамика полета, теория и практика, наследие, развитие и перспективы [Текст] / Ю. А. Крашаница // *Авіаційно-космічна техніка та технологія*. – 2012. – № 5/92. – С. 5-10. – Режим доступу: <http://nti.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/AKTT/2012/AKTT512/KrashZH.pdf>. – 12.12.2023.
4. Амброжевич, А. В. *Георгий Федорович Проскура* [Текст] / А. В. Амброжевич, Ю. А. Крашаница // *Авіаційно-космічна техніка та технологія*. – 2006. – № 2/28. – С. 10-16. – Режим доступу: <http://nti.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/AKTT/2006/AKTT206/Ambrozhe.pdf>. – 12.12.2023.
5. Амброжевич, А. В. *Истоки. Творческий путь. Творческая деятельность. Академик Георгий Федорович Проскура* [Текст] : библиографический сборник / А. В. Амброжевич, Ю. А. Крашаница. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2017. – 146 с.
6. *Аэрогидродинамика в Харьковском авиационном институте им. Н. Е. Жуковского - 75 лет* [Текст] / В. С. Кривцов, В. Н. Журавлев, Ю. А. Крашаница, В. И. Кулешов // *Аэрогидродинамика : проблемы и перспективы* : сб. ст. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2004. – С. 5-11.
7. USA, University of Arizona, Department of A&ME [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://ame.arizona.edu/> – 12.01.2024.
8. Deutschland, Universitat Stuttgart [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://www.uni-stuttgart.de>. – 12.01.2024.
9. Vancouver BC V6T 1Z4 Canada. The University of British Columbia. Faculty of Applied Science/Department of Mechanical Engineering [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mech.ubc.ca>. – 12.01.2024.
10. China, Peking University [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://english.pku.edu.cn>. – 12.01.2024.
11. *Экспериментальное оборудование научно-исследовательских центров и организаций Западной Европы и Канады* [Текст]. – ЦАГИ, ОНТИ, № 638, 1984. – 119 с.
12. Крашаница, Ю. А. *Векторно-тензорный анализ, теория потенциала и метод граничных интегральных уравнений в начально-краевых задачах аэрогидродинамики* [Текст] / Ю. А. Крашаница. – К. : Наук. думка, 2016. – 273 с.
13. Тарапов, И. Е. *Интеллектуальный труд, наука и образование. Кризис в Украине* [Текст] : моногр. / И. Е. Тарапов. – Х. : Тимченко, 2008. – 511 с.
14. Профессор Владимир Ильич Холявко : К 80-летию со дня рождения [Текст] : библиогр. указ. / сост.: И. В. Олейник, В. Н. Журавлев, В. С. Гресь, И. П. Бега ; под. ред. Н. М. Ткаченко. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2011. – 44 с. – Режим доступу: <https://library.khai.edu/uploads/pdf/holyavko/holyavko.pdf>. – 12.12.2024.
15. Профессор Юрий Александрович Крашаница [Текст] : библиогр. указ. / сост.: И. В. Олейник, В. С. Гресь, В. Н. Новичкова ; под. ред. Н. М. Ткаченко. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2012. – 60 с. – Режим доступу: <https://library.khai.edu/uploads/pdf/krashanica/krashanica.pdf>. – 12.12.2024.
16. Крашаница, Ю. А. *Аэрогидродинамика: (основные законы и математические модели)* [Текст] : учеб. пособ. / Ю. А. Крашаница. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2004. – 287 с.
17. Борисенко, А. И. *Газовая динамика двигателей* [Текст] : учеб. пособие / А. И. Борисенко. – М. : Оборонгиз, 1962. – 794 с.
18. Ерёменко, С. М. *Аэродинамика летательных аппаратов* [Текст] : учеб. пособие / С. М. Ерёмченко. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2018. – 384 с.
19. Холявко, В. И. *Аэродинамические характеристики лётки : навч. посібник* [Текст] / В. И. Холявко. – Х. : Харк. авіац. ін-т, 1998. – 80 с.
20. Тюрев, В. В. *Аэродинамические характеристики крыла. Методы расчета и анализ* [Текст] : учеб. пособие / В. В. Тюрев. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2008. – 130 с.
21. Крашаница, Ю. А. *Автоматизация теоретических и экспериментальных исследований в аэрогидродинамике* [Текст] : учеб. пособие / Ю. А. Крашаница, Д. П. Шаройко. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2003. – 129 с.
22. Сахно, А. Г. *Расчет основных лётно-технических характеристик самолета с использо-*

ванием ЭВМ [Текст] : учеб. пособие / А. Г. Сахно. - Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "Харьк. авиац. ин-т", 1989. - 63 с.

23. Грайворонский, В. А. Расчет аэродинамических характеристик вертолета [Текст] / В. А. Грайворонский. - Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "Харьк. авиац. ин-т", 1989. - 63 с.

24. Грайворонский, В. А. Динамика полета вертолета [Текст] : учеб. пособие / В. А. Грайворонский, В. А. Захаренко, В. В. Чмовж. - Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "Харьк. авиац. ин-т", 2014. - 207 с.

References

1. Kaznevskiy, V. P. *Aerodinamika v prirode i tekhnike* [Aerodynamics in nature and technology]. Moscow, Prosveshcheniye Publ. 1985. 138 p. (In Russian).

2. Kapitsa, P. L. *Eksperiment. Teoriya. Praktika : Stat'i, vystupleniya* [Experiment. Theory. Practice: Articles, speeches]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 288 p. (In Russian).

3. Krashanitsa, Yu. A. N. Ye. Zhukovskiy – Aerogidrodinamika i dinamika poleta, teoriya i praktika, naslediyе, razvitiye i perspektivy [N. Ye. Zhukovskiy - Aerohydrodynamics and the theory of flight, mathematics and mechanics: past, present and future]. *Aviacijno-kosmichna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2012, no. 5/92, pp. 5-10. Available at: <http://nti.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/AKTT/2012/AKTT512/KrashZH.pdf>. (In Russian). (accessed 12.12.2023).

4. Ambrozhevich, A. V., & Krashanitsa, Yu. A. Georgiy Fedorovich Proskura [Georgy Fedorovich Proskura]. *Aviacijno-kosmichna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2006, no. 2/28, pp. 10-16. Available at: <http://nti.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/AKTT/2006/AKTT206/Ambrozhe.pdf>. (In Russian). (accessed 12.12.2023).

5. Ambrozhevich, A. V., & Krashanitsa, Yu. A. *Istoki. Tvorcheskiy put'. Tvorcheskaya deyatel'nost'. Akademik Georgiy Fedorovich Proskura. Bibl. Sb.* [Origins. Creative path. Creative activity. Academician Georgy Fedorovich Proskura: Bibliography Sat.]. Kharkiv, Nats. Aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo «Kharkiv. aviats. in-t», 2017. 146 p. (In Russian).

6. Krivtsov, V. S., Zhuravlev, V. N., Krashanitsa, Yu. A., & Kuleshov, V. I. Aerogidrodinamika v Khar'kovskom aviatsionnom institute im. N. Ye. Zhukovskogo - 75 let [Aerohydrodynamics at the Kharkov Aviation Institute named after. N. E. Zhukovsky - 75 years]. *Aerogidrodinamika : problemy i perspektivy : sb. st. – Aerohydrodynamics: problems and prospects: collection. Art.*, Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo "Kharkiv aviats. in-t", 2004, pp. 5-11. (In Russian).

7. USA, University of Arizona, Department of A&ME. Available at: <http://ame.arizona.edu/> (accessed 12.12.2024).

8. Deutschland, Universität Stuttgart. Available at: <https://www.uni-stuttgart.de>. (accessed 12.12.2024).

9. Vancouver BC V6T 1Z4 Canada. The University of British Columbia. Faculty of Applied Science Department of Mechanical Engineering. Available at: <https://www.mech.ubc.ca>. (accessed 12.12.2024).

10. China, Peking University. Available at: <http://english.pku.edu.cn>. (accessed 12.12.2024).

11. *Eksperimental'noye oborudovaniye nauchno-issledovatel'skikh tsentrov i organizatsiy Zapadnoy Yevropy i Kanady* [Experimental equipment of research centers and organizations in Western Europe and Canada]. TSAGI, ONTI, no. 638, 1984. 119 p. (In Russian).

12. Krashanitsa, Yu. A. *Vektorno-tenzornyiy analiz, teoriya potentsiala i metod granichnykh integral'nykh uravneniy v nachal'no-krayevykh zadachakh aerogidrodinamiki* [Vector-tensor analysis, potential theory and the method of boundary integral equations in initial-boundary value problems of aerohydrodynamic]. Kyiv, Nauk. Dumka Publ., 2016. 273 p. (In Russian).

13. Tarapov, I. Ye. *Intellektual'nyy trud, nau-ka i obrazovaniye. Krizis v Ukraine. Monogr* [Intellectual work, science and education. Crisis in Ukraine. Monograph]. Kharkiv, Timchenko Publ., 2008. 511 p. (In Russian).

14. Tkachenko, N. M. *Professor Vladimir Il'ich Kholiyavko : K 80-letiyu so dnya rozhdeniya: Biobliogr. ukaz.* [Professor Vladimir Ilyich Kholiyavko: on the 80th anniversary of his birth: Biography. decree]. Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo "Khark. aviats. in-t", 2011. 44 p. Available at: <https://library.khai.edu/uploads/pdf/holyavko/holyavko.pdf>. (accessed 12.12.2024). (In Russian).

15. Tkachenko, N. M. *Professor Yuriy Aleksandrovich Krashanitsa: Biobliogr. ukaz.* [Professor Yuri Aleksandrovich Krashanitsa: Biography. decree]. Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo "Khark. aviats. in-t", 2012. 60 p. Available at: <https://library.khai.edu/uploads/pdf/krashanica/krashanica.pdf>. (accessed 12.12.2024). (In Russian).

16. Krashanitsa, Yu. A. *Aerogidrodinamika: (osnovnyye zakony i matematicheskiye modeli). Ucheb. posob.* [Aerohydrodynamics: (basic laws and mathematical models). Textbook]. Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo "Khark. aviats. in-t", 2004. 287 p. (In Russian).

17. Borisenko, A. I. *Gazovaya dinamika dvigateley: Ucheb. posobiye* [Gas dynamics of engines: Textbook]. Moscow, Oborongiz Publ., 1962. 794 p. (In Russian).

18. Yeromenko, S. M. *Aerodinamika letatel'nykh apparatov : Ucheb. posobiye* [Aerodynamics of aircraft: Textbook]. Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo "Khark. aviats. in-t", 2018. - 384 p. (In Russian).

19. Kholiyavko, V. Y. *Aerodynamichni kharakterystyky litaka: Navch. posibnyk* [Aerodynamic characteristics of an airplane: Textbook]. Kharkiv, Khark. aviats. in-t Publ., 1998. 80 p. (In Ukrainian).

20. Tyurev, V. V. *Aerodinamicheskiye kharakteristiki kryla. Metody rascheta i analiz: Ucheb. posobiye*

[Aerodynamic characteristics of the wing. Calculation methods and analysis: Textbook]. Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo "Khark. aviats. in-t", 2008. 130 p. (In Russian).

21. Krashanitsa, Yu. A., & Sharoyko, D. P. *Avtomatizatsiya teoreticheskikh i eksperimental'nykh issledovaniy v aerogidrodinamike: Ucheb. posobiye* [Automation of theoretical and experimental research in aerohydrodynamics: Textbook]. Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo "Khark. aviats. in-t", 2003. 129 p. (In Russian).

22. Sakhno, A. G. *Raschet osnovnykh lotnotekhnicheskikh kharakteristik samoleta s ispol'zovaniyem EVM: Ucheb. posobiye* [Calculation of the main

flight characteristics of an aircraft using a computer: Textbook]. Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo "Khark. aviats. in-t", 1989. 63 p. (In Russian).

23. Grayvoronskiy, V. A. *Raschet aerodinamicheskikh kharakteristik vertoleta* [Calculation of the aerodynamic characteristics of a helicopter]. Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo "Khark. aviats. in-t", 1989. 63 p. (In Russian).

24. Grayvoronskiy, V. A., Zakharenko, V. A., & Chmovzh, V. V. *Dinamika poleta vertoleta: Ucheb. posobiye* [Helicopter flight dynamics: Textbook]. Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo "Khark. aviats. in-t", 2014. 207 p. (In Russian).

Надійшла до редакції 15.02.2024, прийнята до опублікування 17.05.2024

FUNDAMENTAL TRAINING OF SPECIALISTS AVIATION AND AEROSPACE INDUSTRY

Yuri Krashanytsya, Oleksiy Tretyak

The subject of the study is the state of the fundamental training of specialists in aviation, rocket, and space technology. Recently, the processes of expanding and deepening the fundamental training of specialists in the specialized areas of specific higher education institutions have been intensified. Unfortunately, experience of recent years has shown, the priorities rightfully belong to the aviation and aerospace industries, both in the scientific/creative and design/production spheres. Training of the specialists in the field of aerohydrodynamics of aircraft and their components; gas dynamics of the modern aircraft engines of various types, is currently the priority. In addition, both – the problems in aeroelasticity and research in the field of aerodynamic acoustics related to the environmental safety of the operation of aviation equipment are important for the design of the modern aircraft. Moreover, the design of aircraft that overcomes trans- and supersonic flight speed, requires in-depth study of the processes of heat and mass exchange determining physico-chemical transformations, which are also present in the internal gas-dynamic processes of gas-turbodynamic and rocket engines of aircraft. **Structure and comparative analysis** study of programs and courses for fundamental training of specialists in the aerospace industry at the universities of USA, Canada, Germany, China, as well as in KhAI, Ukraine, are presented. This study provides comparative information about scientific and experimental bases of aerodynamic complexes available in Ukraine and in leading organizations of North America and Western Europe. **This study demonstrates** the real unification of deep fundamental theoretical knowledge and practical skills with experimental research based on existing modern research laboratories. Conclusion. Analysis and comparative indicators presented in paper allow us to state that based on today's needs, the National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute" is capable of significant increase of the quality of training for specialists of all levels for the developed aviation and rocket-space industries of Ukraine.

Keywords: training of specialists; aerospace industry; analysis of training programs; fundamental disciplines; educational and laboratory base; aerodynamic complexes; research results.

Крашаниця Юрій Олександрович – д-р техн. наук, проф., проф. каф. аерогідродинаміки, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Третяк Олексій Володимирович – д-р техн. наук, зав. кафедри аерогідродинаміки, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Yuri Krashanitsa – Doctor of Technical Sciences. Sci., Professor, Professor of the Department of Aerohydrodynamics, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: u.krashanitsa@khai.edu

Oleksiy Tretyak – Doctor of Technical Sciences. Sci., Head of the Department of Aerohydrodynamics, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.tretyak@khai.edu, ORCID: 0000-0002-7295-5784.