

doi: 10.32620/oikit.2023.97.11

УДК 620.22.419.8

Г. Б. Варшав'як, О. Г. Гребеніков,
А. М. Гуменний, В. А. Гребеніков

Досвід впровадження систем CAD/CAM/CAE/PLM в навчально-науково-виробничому центрі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

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

Навчально-науково-виробничий центр CAD/CAM/CAE Харківського авіаційного інституту (ХАІ) започатковано в 1993 році завдяки творчій співпраці фахівців - ректорату (М. Березюк, В. Рябков, В. Кривцов), кафедри конструкції літаків (№ 103) "ХАІ" (О. Гребеніков), ДП «Антонов» (П. Балабуєв, В. Фурашев, В. Личко), ЗМКБ «Прогрес» (Ф. Муравченко, Г. Ансін), АТ «Мотор Січ» (В. Богуслаєв, Ю. Басов), ХДАВП (А. М'ялиця, Є. Бут) та фірм Digital (США) (Б. Купіч, П. Шевело), EDS (США) (Д. Папенфонт, Д. Хансен, Г. Мелус, В. Абакумов), АНТ ТОВ «КНК» (О. Гребеніков), ТОВ Укрполіпром (В. Гребеніков), які вважали, що застосування комп'ютерних систем CAD/CAM/CAE є основою підвищення якості, ефективності, створення, експлуатації авіаційної техніки, науки та навчального процесу.

Головне завдання, що повинен був вирішувати колектив новоствореного навчального центру – це підготовка висококваліфікованих фахівців за фахом, які вільно володіють методологією інтегрованого проєктування, виробництва, випробувань, сертифікації, експлуатації авіаційної пілотованої та безпілотної техніки за допомогою комп'ютерних систем CAD/CAM/CAE/PLM, а саме Unigraphics NX, Siemens NX, Nastran NX, КОМПАС-ГРАФИК, Dassault Systems CATIA, SolidWorks, ANSYS.

На прохання ХАІ для забезпечення функціонування систем і організації навчального процесу та наукових досліджень МОН України надало для навчального центру CAD/CAM/CAE ХАІ 40 штатних одиниць.

Основним науковим напрямом центру є розроблення методології інтегрованого проєктування, конструювання та моделювання високоефективної авіаційної техніки та її модифікацій. У лабораторіях центру спеціалісти розробляють прогресивні методи інтегрованого проєктування авіаційної техніки, нові конструктивно-технологічні рішення, які дозволяють підвищувати характеристики втомної довговічності елементів авіаційної техніки без істотного збільшення їхньої маси.

Фахівці центру підтримували міжнародні зв'язки з колегами із США, країн СНД, Німеччини, Китаю, Мексики, Туреччини, Ірану, Індії.

Результати досліджень спеціалістів навчально-науково-виробничого центру опубліковані у 8 монографіях, 52 підручниках та навчальних посібниках та більш ніж у 400 наукових статтях у фахових виданнях.

Фахівцями центру CAD/CAM/CAE проводиться наукове стажування фахівців авіаційної промисловості України та іноземних держав.

На базі центру CAD/CAM/CAE видається збірка наукових праць ХАІ «Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології».

Значний внесок в організацію навчальної і науково-дослідної роботи центру зробили: О. Гребеніков, Ю. Шипілов, Ю. Железняков, Г. Варшав'як, О. Єфремов, А. Гуменний, О. Сердюков, В. Гребеніков, О. Соболев, О. Петров, О. Кравченко, А. Чумак та інші. У центрі створені умови для проведення наукових досліджень, навчання і стажування українських та іноземних фахівців авіаційних підприємств.

Ключові слова: навчально-науково-виробничий центр CAD/CAM/CAE ХАІ, інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології, відкриті інформаційні технології, застосування комп'ютерних систем CAD/CAM/CAE в науці та навчальному процесі.

1. Заснування навчально-науково-виробничого центру CAD/CAM/CAE/PLM

У зв'язку з використанням на авіаційних підприємствах України та країн СНД систем CAD/CAM/CAE за пропозицією спеціалістів АНТК ім. О.К. Антонова що використовували систему UNIGRAPHICS, було підписано домовленість ХАІ з фірмою EDS (США) від 18.12.1992 р. та з фірмою Digital (США) від 18.02.1993 р. про надання навчальному центру CAD/CAM/CAE 16 робочих місць з системою UNIGRAPHICS.

Згідно з наказом № 112 (АНТК ім. О. К. Антонова та ХАІ) від 24 березня 1993 року (П. Балабуєв, М. Березюк) було наказано організувати в ХАІ навчальний центр по вивченню сучасних систем CAD/CAM/CAE. Керівником навчального центру було призначено Гребенікова Олександра Григоровича.

Відмінністю навчального центру CAD/CAM/CAE ХАІ є відсутність комерційної направленості. Робота спеціалістів центру орієнтована на підготовку студентів та перепідготовку молодих фахівців, що працювали в авіаційній або інших галузях промисловості.

За додатковою домовленістю між фірмою «EDS» (США), Digital (США), АНТК ім. О.К. Антонова (м. Київ, Україна), Харківським авіаційним інститутом (м. Харків, Україна) від 28.04.1993 визначено, що фірма «EDS» надає програмне забезпечення «UNIGRAPHICS», фірма «Digital» надає 16 робочих станцій для встановлення цього програмного забезпечення. АНТК ім. О.К. Антонова забезпечує координацію та навчання фахівців. ХАІ забезпечує приміщенням, проводить впровадження систем CAD/CAM/CAE у навчальний процес.

Офіційне відкриття навчального центру CAD/CAM/CAE відбулось 20 січня 1994 року згідно з розпорядженням по Харківському авіаційному інституту від 1 грудня 1993 року. У цей день в актовому залі відбувся семінар на тему «Перспективи впровадження комп'ютерних інтегрованих технологій в авіаційній промисловості і вищих навчальних закладах України».

Навчальний центр CAD/CAM/CAE був обладнаний 14 робочими станціями VAX 3100-76 (оперативна пам'ять 32 Мб, НЖМД SCSI 245 Мб, НМГД 3,5", кольоровий 19 дюймовий монітор, мережевий контролер Ethernet), та двома робочими станціями VAX 4000-60 (оперативна пам'ять 80 Мб, НЖМД SCSI 426 Мб, НМГД 3,5", кольоровий 21 дюймовий монітор, мережний контролер Ethernet). Системне програмне забезпечення функціонувало на базі операційної системи VAX VMS, системи DECNET з графічним інтерфейсом користувача DEC WINDOWS з використанням кластерної локальної мережі зі швидкістю 10 Мбіт/с. На той час (кінець 1993 року) це були дуже потужні робочі станції порівняно з персональним комп'ютером того часу.



Рис. 1. Учасники відкриття навчального центру. 1993 р.

Для забезпечення роботи систем інтегрованого комп'ютерного проектування в навчальному процесі створено відповідні лабораторії навчально-наукового центру CAD/CAM/CAE ХАІ:

- лабораторія моделювання авіаційної техніки за допомогою системи SIEMENS NX;
- лабораторія моделювання авіаційної техніки за допомогою системи CATIA;
- лабораторія моделювання авіаційної техніки за допомогою системи КОМПАС;
- лабораторія моделювання процесів за допомогою систем CAD/CAM/CAE;
- лабораторія відкритих інформаційних технологій;
- лабораторія інженерного аналізу;
- лабораторія інженерної лінгвістики;
- лабораторія системного програмного забезпечення;
- лабораторія технічного забезпечення.

Навчання фахівців моделюванню авіаційної техніки за допомогою системи UNIGRAPHICS

За допомогою системи UNIGRAPHICS проводилося навчання моделюванню авіаційної техніки у створеному класі на графічних станціях VAX з установленою версією системи 9.1. У навчальний процес студентів та фахівців кафедр ХАІ систему було впроваджено вже на початку 1993 року.

Так починаючи з 4-го курсу проводилось навчання студентів щодо проектування та моделювання авіаційної техніки за допомогою системи «UNIGRAPHICS». Переддипломну практику та захист дипломних проєктів студенти виконували на базі навчального центру.

Вивчались методи проектування та моделювання (CAD) літаків і вертольотів, методи розрахунків конструкцій на міцність (CAE), підготування програм для верстатів з числовим програмним керуванням (CAM).

Для організації навчального процесу фахівцями центру (А. Г. Гребеніков, С. В. Удовиченко, А. М. Гуменний, В. В. Парфенюк) були підготовлені навчальні посібники: «Основы компьютерного моделирования с помощью интегрированной системы CAD/CAM/CAE/PLM UNIGRAPHICS», «Основы

компьютерного моделирования с помощью интегрированной системы CAD/CAM/CAE/PLM UNIGRAPHICS NX».

Співробітниками навчального центру стали найкращі молоді фахівці що проходили переддипломну практику і захист дипломних проєктів у навчальному центрі.



Рис. 2. Співробітники навчального центру, члени ДЕК та перші випускники центру CAD/CAM/CAE

Досвід первинного впровадження мережі Інтернет у ХАІ

За наказом Міністерства освіти України від 15.06.1995 року з метою розроблення та впровадження телекомунікаційної мережі закладів освіти ректори ВНЗ, директори наукових організацій підключатися до діючої в регіоні телекомунікаційної мережі для впровадження зв'язку між закладами освіти України.

В результаті співпраці ректорату ХАІ, керівництва навчального центру CAD/CAM/CAE, головного конструктора АСАТ АНТК ім. О. К. Антонова, працівників відділу інформаційних ресурсів Міськвиконкому м. Харкова, фахівців Київського регіонального представництва фонду Євразія та фірми Digital Equipment Ukraine був поданий проєкт реалізації навчального процесу по вивченню сучасних відкритих інформаційних технологій на тендер фонду Євразія.

Фонд Євразія прийняв рішення фінансувати представлений проєкт у сумі 25000 доларів США:

- Для створення вузла електронної пошти;
- закупівлі 64-розрядного сервера ALPHA;
- закупівлі програмного і мережного забезпечення.

Уперше у м. Харків такий потужний сервер для забезпечення роботи користувачів в мережі Інтернет був встановлений в ХАІ. Одним із перших ХАІ отримав можливість мати безпосередній зв'язок з підприємствами, університетами, державними організаціями і окремими користувачами багатьох країн світу.

Таким чином на базі навчального центру CAD/CAM/CAE був реалізований проєкт з вивчення сучасних відкритих інформаційних технологій, встановлений інтернет сервер ALPHA.

Згідно з листом виконавчого комітету Харківської міської ради від

11.08.1997 року № 447/01-20 з метою створення єдиного інформаційного простору запропоновано керівнику навчального центру CAD/CAM/CAE О. Г. Гребенікову, підключитися до муніципальною комп'ютерної мережі з виходом до мережі «Інтернет».

Підключення між сервером ALPHA та муніципальною комп'ютерною мережею було створено. Для встановлення зв'язку був використаний модем фірми Zuxel, що використовував дві виділені пари телефонного зв'язку і забезпечував з'єднання на швидкості до 14400 бод/с. Для роботи з мережею «Інтернет» була виділена підмережа з реальними адресами IPv4, котрі були розподілені між підрозділами інституту для підключення як персональних комп'ютерів, так і графічних станцій Unigraphics навчального центру CAD/CAM/CAE.

За використання підключення до мережі «Інтернет» необхідно було сплачувати абонентську плату. На допомогу у вирішенні питань з фінансування прийшло АНТТ «КНК».

Сервер ALPHA (<http://en.wikipedia.org/wiki/AlphaServer>), створений на основі процесора DEC Alpha 64-bit microprocessor що забезпечував оброблення електронної пошти домену XAI, «@ai.kharkov.ua», веб-сайту «<http://ai.kharkov.ua>» надавав доступ до мережі Інтернет користувачам XAI. Подальше фінансування для підтримки домену «ai.kharkov.ua» та IP-адрес було здійснено за підтримки спеціалістами АНТТ «КНК». З часом 64-розрядний сервер ALPHA, був замінений за технічними причинами та неможливості його ремонту на 32-розрядний сервер що працював під керівництвом операційної системи FreeBSD. Цей сервер перейняв логічне ім'я свого попередника «ALPHA» і пропрацював до 2008 р.

Для забезпечення швидкого та якісного комп'ютерного зв'язку між літакобудівним і головним корпусом XAI у грудні 1996 р. було прокладено перший в XAI оптоволоконний кабель що з'єднував навчальний центр CAD/CAM/CAE та головний корпус. Цей зв'язок забезпечував швидкість 10 Мбіт/с. Надалі через сервер «ALPHA» встановлювався зв'язок з усіма підрозділами літакобудівного та головного корпусу і мережею «Інтернет». Цей оптоволоконний зв'язок проіснував до 2005 року. Оскільки кабель було прокладено повітряним шляхом, то його було безповоротно демонтовано. Зараз зв'язок забезпечується за допомогою інших технологій за використанням головної мережної топології університету.

Навчання фахівців промисловості використанню системи UNIGRAPHICS на базі центру VIEWNET.

Для закріплення зв'язків з промисловими підприємствами та університетами України, приватними підприємствами і фондами, у 1999 р. на базі Національного аерокосмічного університету «ХАІ» та АНТТ «КНК» сумісно з компанією EDS було створено центр Віртуальної інтерактивної комп'ютерної мережі «Схід-Захід» VIEWNET для фахівців промисловості та освіти м. Харкова.

Центр VIEWNET забезпечував підтримку інженерної діяльності та впровадження новітніх світових комп'ютерних технологій. Діяльність центру VIEWNET в університеті пов'язана з організацією науково-дослідної праці та підготування фахівців з використанням системи UNIGRAPHICS.

У процесі організації центру VIEWNET представництвом компанії EDS в 2000 році було надано ліцензії на право використання нових версій системи UNIGRAPHICS що працювали на платформі процесорів INTELx86 та операційної системи Microsoft Windows NT 4.0. За умови фінансової підтримки АНТТ «КНК»

були придбані персональні комп'ютери на базі котрих було створено навчальні класи з системою «UNIGRAPHICS» версії 15. Це були дві потужні робочі станції у складі двопроцесорної системи на базі процесора INTELx86 з тактовою частотою 350 MHz, відеоадаптера Matrox Millennium G200 та SCSI накопичувача на жорстких магнітних дисках, оперативною пам'яттю 48 мегабайтів, графічний монітор на 19" фірми Samsung. Ці станції додатково виконували функціонал сервера ліцензії та сервера малої мережевої групи. Інші робочі станції були на базі персональних комп'ютерів у складі процесора INTELx86 з тактовою частотою 166 MHz, оперативною пам'яттю 32 мегабайти та моніторами 15" фірми Samsung.



Рис. 3. Гості центру VIEWNET

Ліцензії надавали можливість працювати п'яти комп'ютерам з модулями проєктування (CAD) та аналізу (CAE), та п'яти комп'ютерам з модулями підготування програм для верстатів з ЧПК (CAM).

З часом ліцензії та персональні комп'ютери оновлювалися, що надавало можливості використовувати більш сучасні версії системи UNIGRAPHICS.

Для забезпечення можливості оформлення технічної документації що була розроблена за допомогою комп'ютерних систем проєктування, на базі навчального центру CAD/CAM/CAE в 1997 році було встановлено плотер для друку на папері форматом A0. За допомогою фінансової підтримки АНТТ «КНК» було придбано один з перших плотерів форматом A0 фірми Hewlett Packard в Україні. Це була модель HP 2500 CP з мережною підтримкою, самостійним процесором оброблення інформації що підтримує формат PostScript, та вбудованим накопичувачем жорстких дисків. За допомогою зусиль технічного персоналу навчального центру цей плотер успішно експлуатувався до 2012 року. Оновлена версія плотера форматом A0, HP 500 використовується і сьогодні.

Навчання студентів моделюванню авіаційної техніки за допомогою системи UNIGRAPHICS

З початку створення навчального центру було з'єднано усі графічні станції у єдину інформаційну кластерну мережу VAX VMS. У її складі: 14 робочих станцій VAX 3100-76 і дві робочі станції VAX 4000-60, що виконували функціонал серверів кластера



Рис. 4. Студенти вивчають моделювання авіаційної техніки за допомогою системи UNIGRAPHICS

Для навчання студентів та фахівців університету за фінансової підтримки АНТТ «КНК» було придбано десять робочих станцій на базі процесора AMD Athlon 2500+, це стало початком нової ери розвитку навчального класу системи UNIGRAPHICS. Клас з графічними станціями VAX VMS було перенесено до іншого навчального класу - аудиторії № 226 літакобудівного корпусу. А після ремонту приміщення навчального центру CAD/CAM/CAE у 2006 році було організовано новий клас на базі нових персональних комп'ютерів. У липні 2006 року було демонтовано останні графічні станції VAX VMS.

Демонстрація результатів роботи центру на виставках України

Починаючи з 1997 року навчальний центр CAD/CAM/CAE за активної фінансової підтримки АНТТ «КНК» починає активно представляти інтереси ХАІ на виставках, що проходили на теренах України.



Рис. 5. Підготовлені матеріали за участю центру CAD/CAM/CAE на виставках України

Були підготовлені презентаційні матеріали, плакати, стенди. На час

проведення виставок до міст їх проведення виїжджали співробітники навчального центру CAD/CAM/CAE, що забезпечували обслуговування стендів, давали роз'яснення і проводили рекламну компанію.

Отриманий багаторічний досвід участі навчального центру у виставках було передано іншим підрозділам ХАІ, що забезпечують зовнішні відносини.

2. Досвід впровадження системи SIEMENS NX у навчальний процес

В зв'язку з тим, що компанія SIEMENS придбала програмне забезпечення CAD/CAM/CAE UNIGRAPHICS, назву системи «UNIGRAPHICS» було змінено на «SIEMENS NX».

За участю в міжнародних грантах у 2010–2011 роках “Харківський аерокосмічний університет” отримав для навчального процесу пакет ліцензій системи SIEMENS NX 7.5 на основі субліцензійного договору АС 50-КНАІ/1 від 21.10.2010. Пакети ліцензій були розподілені між навчальними класами кафедри проектування літаків та вертольотів (№ 103) та класами навчального центру CAD/CAM/CAE. Сумарна кількість ліцензій дозволяє одночасно навчати до 120 студентів.

Інші підрозділи університету можуть підключатися до мережних ліцензій системи SIEMENS NX і ліцензійно використовувати цю систему. Так було підключено навчальні класи кафедр № 202, № 204 та № 403 університету.

Навчання студентів за спеціальністю «Комп'ютерні технології проектування» проводиться також з використанням системи SIEMENS NX.

Система SIEMENS NX застосовується на більшості підприємств авіабудування, авіамоторобудування, автомобілебудування та інших галузей. Вона забезпечує вирішення завдань промислового дизайну і формування вигляду майбутнього виробу, високоточний опис окремих деталей і великих складальних вузлів і агрегатів, що складаються з сотень і тисяч компонентів, проведення складних інженерних розрахунків і моделювання поведінки виробу в реальних умовах.

Фахівцями навчального центру (А. М. Гуменний, Р. В. Гостудим, А. В. Каламбет) для студентів розроблено та видано навчальний посібник з лабораторного практикуму «Моделирование элементов авиационной техники с помощью компьютерной интегрированной системы CAD/CAM/CAE/PLM SIEMENS NX».

У навчальному центрі за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM SIEMENS NX студенти, викладачі та співробітники університету виконують роботи з конструювання та моделювання різних літальних апаратів та їх конструктивних елементів.

Досвід впровадження CAD/CAM/CAE – системи SIEMENS NX та UNIGRAPHICS у наукових дослідженнях

Фахівцями центру розроблено та реалізовано: технологію створення в системі CAD/CAM/CAE комп'ютерного еталона поверхні і макетів агрегатів літака; технологію створення твердотільних моделей елементів літакових конструкцій та керуючих програм для оброблення цих елементів на верстатах з ЧПК інтегровані технології проектування високоресурсних з'єднань літакових конструкцій; технологію створення конструкторської, технологічної, експлуатаційної документації на декількох мовах з подальшою її передачею замовникові в електронному вигляді; методику навчання студентів, працівників промисловості

та освіти створенню аерокосмічних об'єктів на базі комп'ютерних інтегрованих систем. Комплекс цих розробок впроваджено на авіаційних підприємствах та в авіаційних КБ України та країн СНД. Він може бути застосований на машинобудівних підприємствах, у наукових та навчальних закладах.

Нині наукова школа "Проектування авіаційної техніки" зосереджена на розробленні напрямків наукової діяльності – методологія інтегрованого проектування, конструювання та моделювання за допомогою сучасних систем CAD/CAM/CAE високоефективної авіаційної техніки.

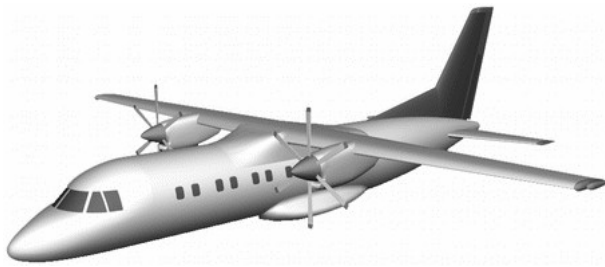
Цей напрямок наукової діяльності містить:

– розроблення методології інтегрованого проектування, конструювання та тривимірного параметричного моделювання за допомогою сучасних систем CAD/CAM/CAE високоефективної пілотованої та безпілотної авіаційної техніки;

– удосконалення методів інтегрованого проектування, конструювання та тривимірного параметричного моделювання високоефективної пілотованої та безпілотної авіаційної техніки;

– розроблення та удосконалення конструктивно-технологічних методів забезпечення ресурсу авіаційної техніки;

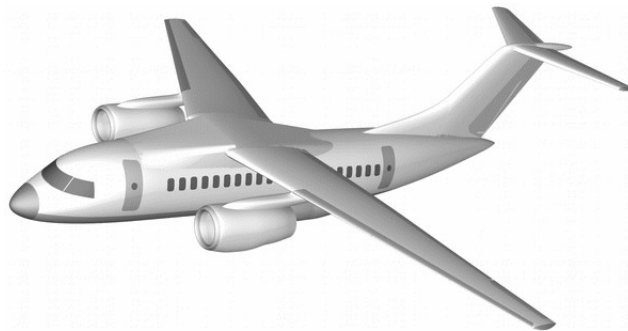
– розроблення аванпроектів зразків високоефективної авіаційної техніки.



Ан-140



Ан-74TK-300



Ан-148

Рис. 2.1. Майстер-геометрія літаків, створених за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM SIEMENS NX фахівцями центру

Мета наукової роботи – створення методичного та програмного забезпечення проектування пасажирського літака, розроблення методології його

комп'ютерного моделювання за допомогою CAD/CAM/CAE/PLM SIEMENS NX.

Вперше в Україні фахівцями ХАІ, АНТК ім. Антонова та ХДАПП на базі створеної локальної інформаційно-обчислювальної мережі ПЕВМ з прикладним програмним забезпеченням, мережі графічних робочих станцій з програмним забезпеченням UNIGRAPHICS розроблена методологія комп'ютерного інтегрованого проектування та тривимірного моделювання пасажирського літака з ТГД.

Апробація методики проектування та моделювання за допомогою системи CAD/CAM/CAE/ UNIGRAPHICS разом зі створенням майстер-геометрії літака, агрегатів, силових елементів планера літака проведена на базі перспективного літака.

За допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM SIEMENS NX розроблено:

- метод створення майстер-геометрії мотогондולי двоконтурного турбореактивного двигуна літака транспортної категорії;
- метод створення майстер-геометрії літака;
- інтегрований метод проектування та комп'ютерного моделювання фюзеляжу;
- метод створення параметричної моделі рядового шпангоута хвостової балки вертольота;
- метод створення тривимірної параметричної моделі центроплана літака транспортної категорії;
- аванпроект реактивного навчально-тренувального літака.

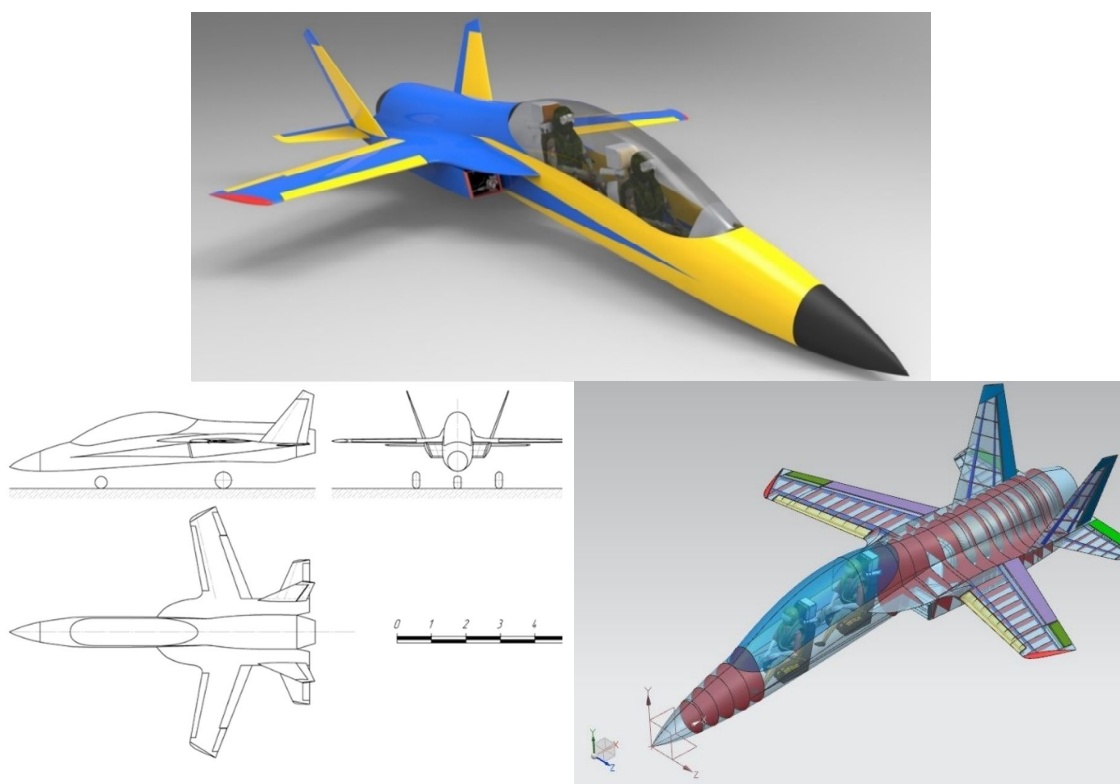


Рис. 2.2. Майстер-геометрія та модель розподілу простору літака

Фрагменти дипломних проєктів студентів



Рис. 2.3. Параметрична модель майстер-геометрії літака змодельована за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM SIEMENS NX

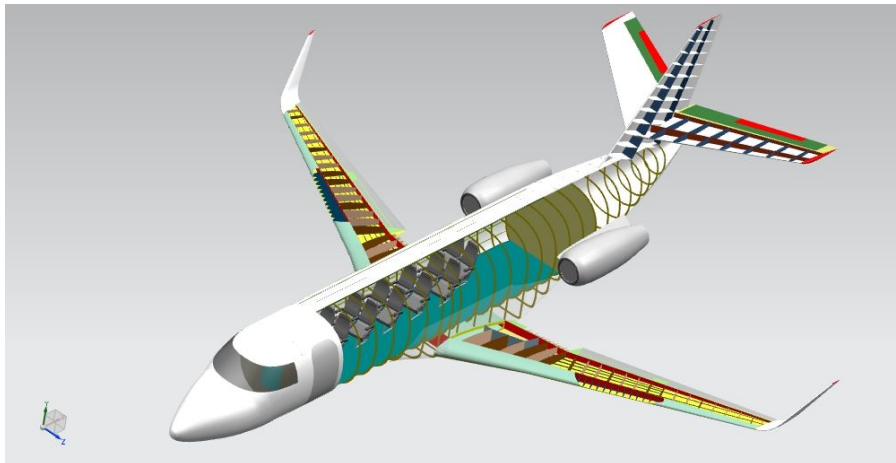


Рис. 2.4. Модель розподілу простору літака змодельована за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM SIEMENS NX

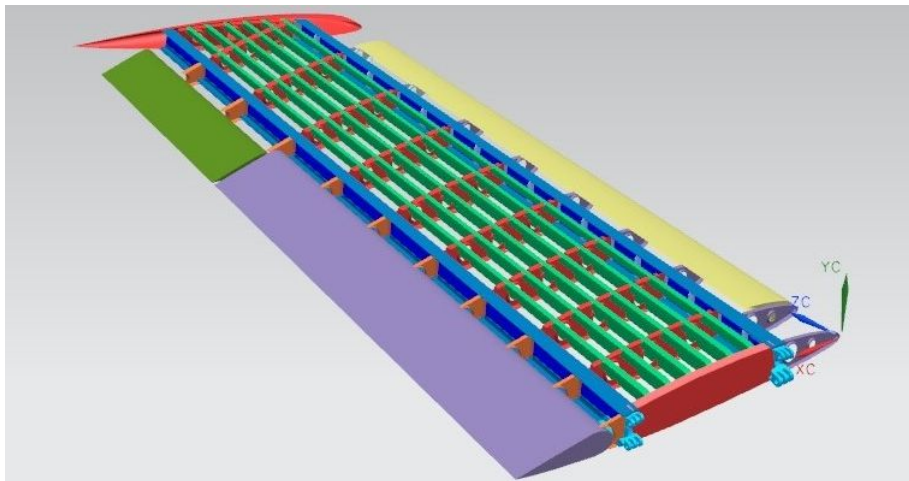


Рис. 2.5. Модель розподілу простору крила

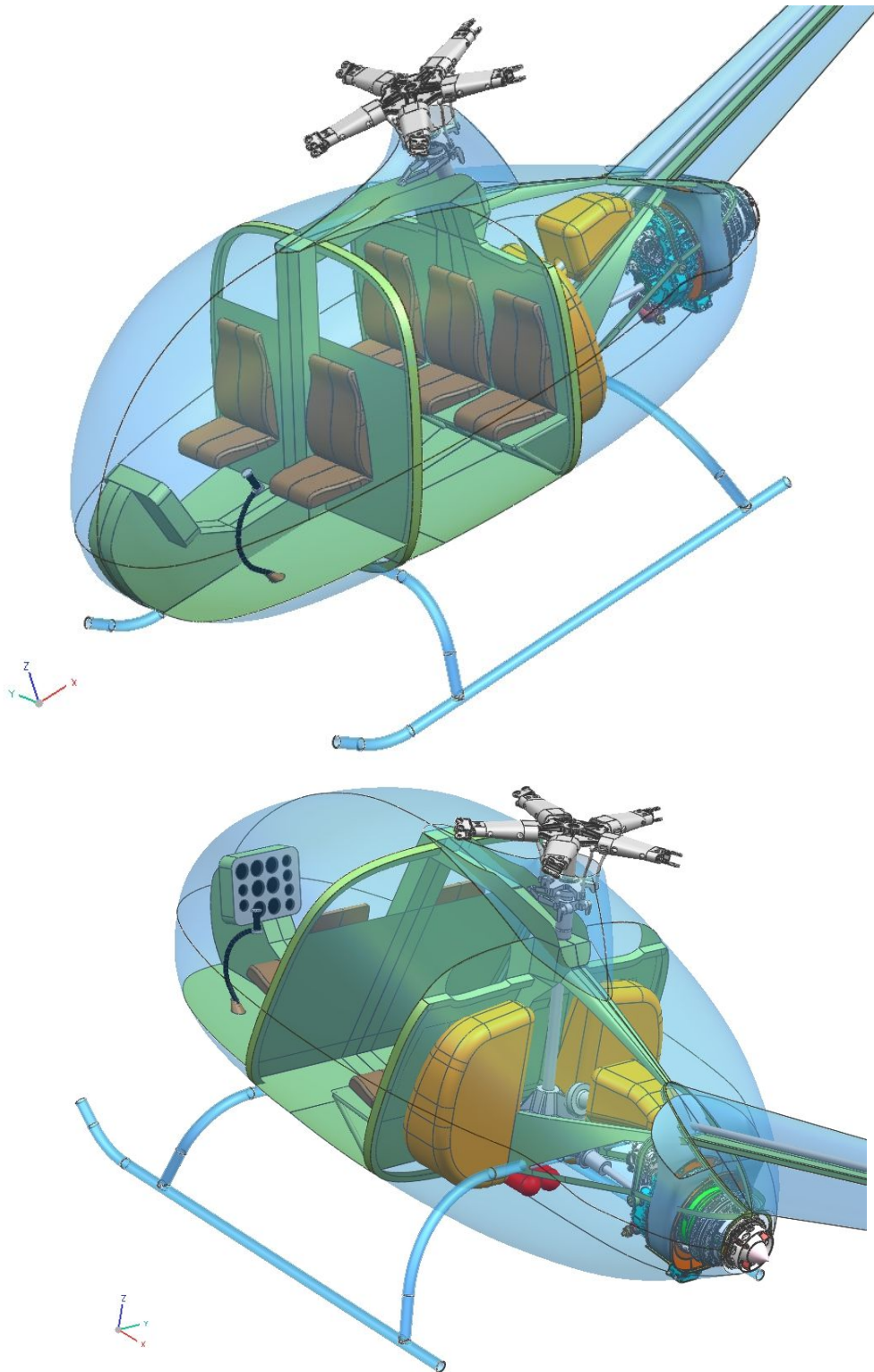


Рис. 2.6. Модель розподілу простору вертольота змодельована за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM SIEMENS NX

На базі лабораторії моделювання авіаційної техніки за допомогою системи SIEMENS NX проходили наукове стажування співробітники авіаційної промисловості таких підприємств як: АТ «Мотор Січ»; ДП ЗМКБ «Прогрес» імені академіка О. Г. Івченка; AVIC II (Aviation Industry Corporation of China II) - Китайська державна авіаційна компанія, частина ВПК КНР; Iran Aircraft Manufacturing Industrial Company (HESA) – Іранська літакобудівна промислова компанія.

3. Досвід впровадження CAE–системи ANSYS у наукових дослідженнях

З метою освоєння усіх етапів розроблення, проектування та аналізу у 1997 році було придбано ліцензії на систему аналізу CAE ANSYS версії 5.3 у кількості 10 штук за фінансової підтримки АНТТ «КНХ». Систему ANSYS було встановлено на персональних комп'ютерах навчального центру CAD/CAM/CAE, та факультетах ХАІ.

Це стало поштовхом до розвитку аналізу вузлів з'єднань та агрегатів, за допомогою системи ANSYS.

Зараз проводиться вивчення курсів «Інженерний аналіз елементів авіаційних деталей» та «Переддипломний курс» з використанням академічної версії системи ANSYS версії 17.

В останні десятиліття, при комплексному підході до вирішення сучасних інженерних завдань в авіаційній галузі, і не тільки, значного поширення набули числові методи. Одним з найбільш поширених числових методів вирішення прикладних завдань є метод скінченних елементів (МСЕ), який дозволяє проводити розрахунок конструкції будь-яких геометричних форм, з будь-якими способами навантаження, з урахуванням змінних у часі навантажень, а також при різних видах нелінійного поведіння досліджуваної системи.

Завдяки тому, що МСЕ поєднує універсальність алгоритмів розв'язання різних крайових задач з ефективністю комп'ютерної реалізації обчислень, було розроблено досить багато програмних комплексів, призначених для наближеного вирішення найрізноманітніших завдань не тільки з області механіки деформованого твердого тіла (МДТТ), але й з таких областей як аеродинаміка, гідродинаміка, акустика, електротехніка тощо. Нині в світі найпоширенішими є такі системи: ANSYS, ABAQUS, MSC/NASTRAN, NX NASTRAN, LS-DYNA, COSMOS, ADINA, ASKA/DYNAN, MARC, EUFEMI, HERCULE, MODULEF, SAP-7.

Для забезпечення можливості використання в процесі проведення досліджень студентами, науковцями та інженерами Університету передових розробок в області інженерного аналізу за допомогою сучасних CAD/CAE–систем на базі Навчально-наукового центру комп'ютерних технологій CAD/CAM/CAE була створена лабораторія інженерного аналізу.

Основною метою лабораторії є надання базових уявлень про сучасні методи інженерного аналізу елементів конструкції авіаційної техніки за допомогою методу скінченних елементів, реалізованого в передових комп'ютерних інтегрованих системах. На базі лабораторії інженерного аналізу проводиться навчання основам роботи в таких CAD/CAE-системах як ANSYS і NASTRAN NX.

Вивчення і подальше використання в наукових дослідженнях сучасних CAD/CAE-систем, дозволяє розробляти інноваційні методи інтегрованого проектування збірних літакових конструкцій, а також істотно скоротити витрати часу і коштів при впровадженні нових конструктивно-технологічних рішень в

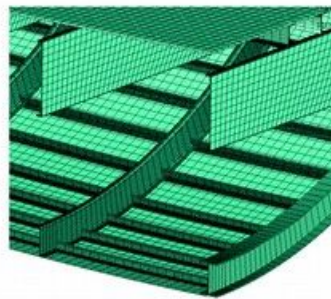
виробничі процеси створення об'єктів авіаційної галузі.



Майстер-геометрія поверхні літака



Модель розподілу простору фюзеляжу



Скінченно-елементна модель відсіку фюзеляжу

Характеристики НДС в конструкції відсіку фюзеляжу літака при статичному напруженні

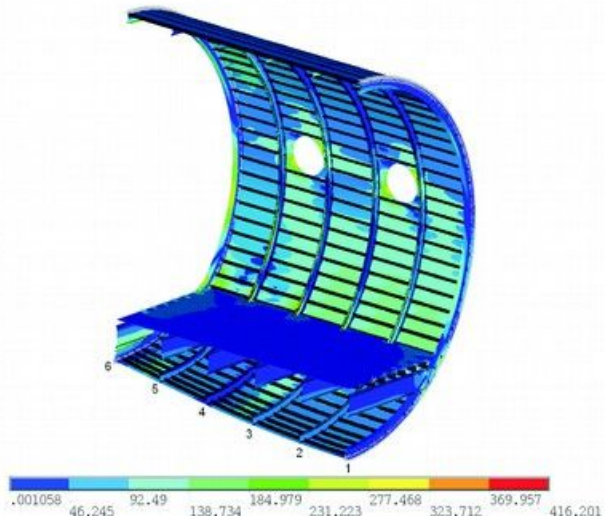
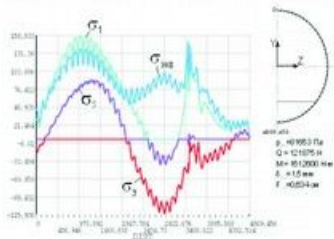
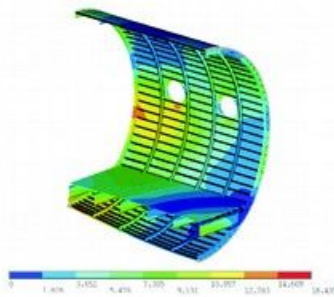
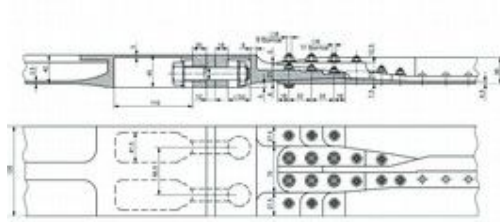


Рис. 3.1. Аналіз характеристик загального напружено-деформованого стану (НДС) відсіку фюзеляжу літаків за допомогою CAD/CAE-системи ANSYS

На базі Навчально-наукового центру комп'ютерних технологій CAD/CAM/CAE за допомогою сучасних CAD/CAE систем, що вивчаються в

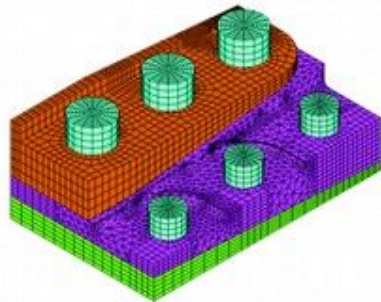
лабораторії інженерного аналізу, розробляються прогресивні методи інтегрованого проєктування авіаційної техніки, а також нові конструктивно-технологічні рішення дозволяють підвищувати характеристики втомної довговічності елементів авіаційної техніки без істотного збільшення їх маси.



Типове фітингове з'єднання центроплану та ВЧК



3D модель фрагмента фітингового стику ВЧК з центропланом



Характеристики НДС у фрагменті стику ВЧК з центропланом

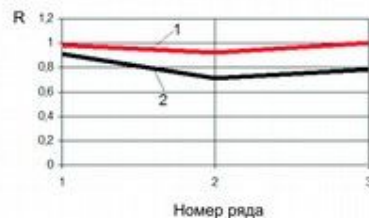
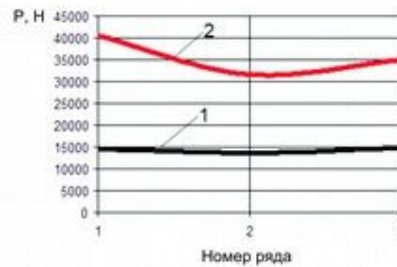
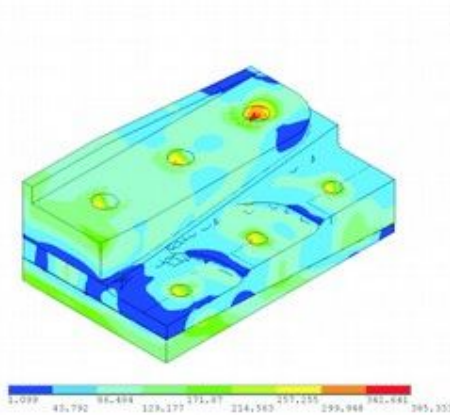
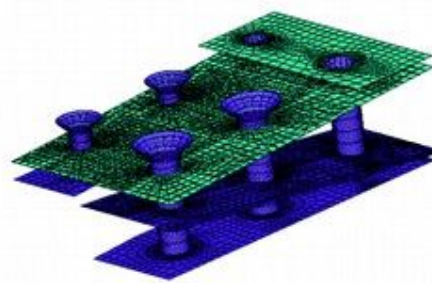


Рис. 3.2. Аналіз характеристик загального НДС в елементах фітингового стику від'ємної частини крила (ВЧК) з центропланом за допомогою CAD/CAE-системи ANSYS



Консоль крила сучасного літака

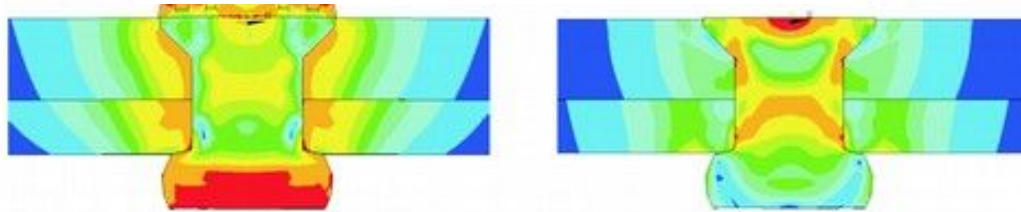
Фрагмент конструкції клепаної панелі крила літака



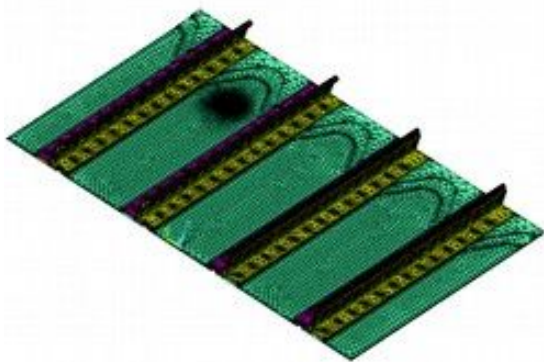
Контактна поверхня між заклепкою та частиною, що фрезерується

Частина заклепки, що фрезерується

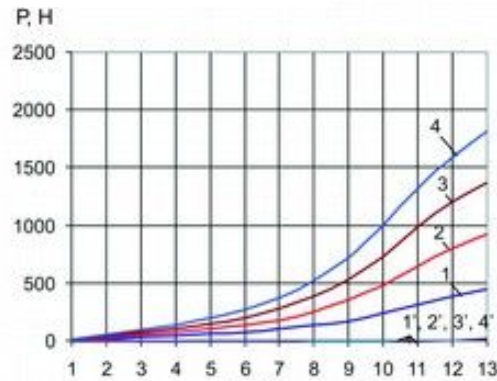
Скінченно-елементна модель однорядного заклепочного з'єднання



Розподіл еквівалентних напружень в елементах з'єднання в зоні встановлення заклепки

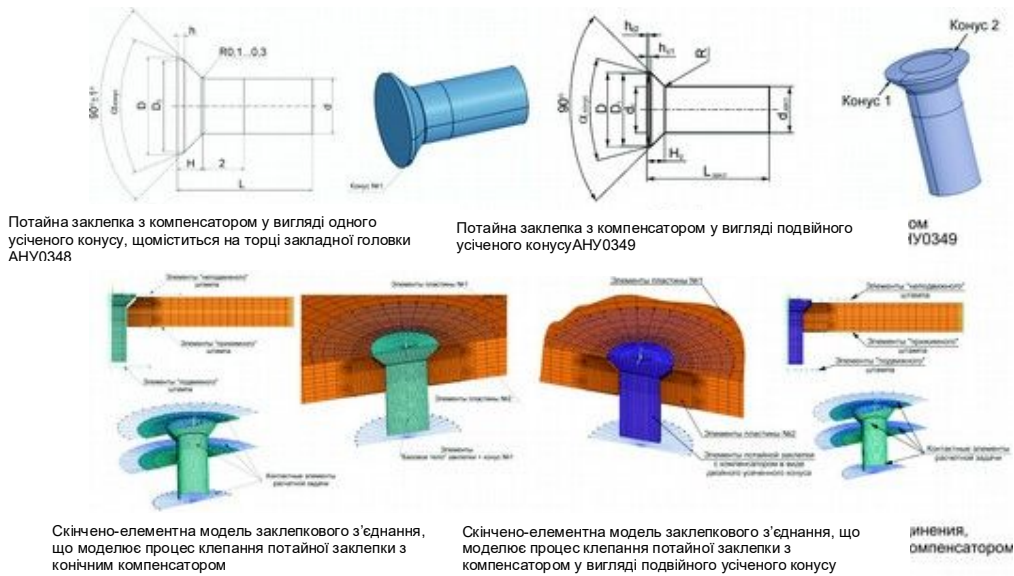


Скінченно-елементна модель зборної панелі крила



Розподіл зусиль між заклепочними з'єднаннями за зовнішнім розтягом

Рис. 3.3. Аналіз за допомогою CAD/CAE-системи ANSYS впливу конструктивно-технологічних параметрів збірної панелі крила на навантаженість заклепок, що з'єднують обшивку та стрингери



Скінечно-елементна модель заклепкового з'єднання, що моделює процес клепаання потайної заклепки з кінцевим компенсатором

Скінечно-елементна модель заклепкового з'єднання, що моделює процес клепаання потайної заклепки з компенсатором у вигляді подвійного усіченого конусу

ІНВЕНТРИАЦІЯ, КОМПЕНСАТОР

Характеристики НДС заклепкового з'єднання, що виконано прогресивними таємними заклепками

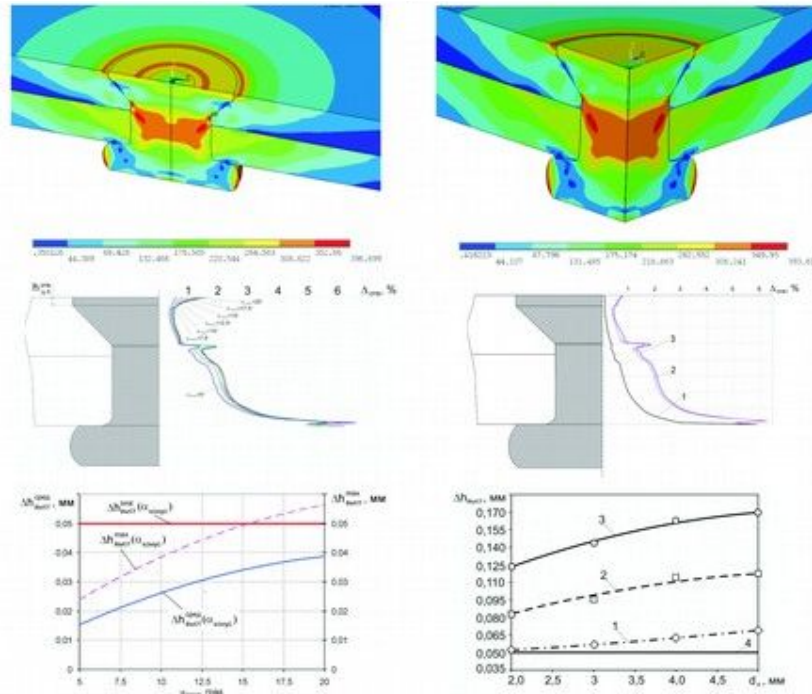


Рис 3.4. Розроблення за допомогою CAD/CAE-системи ANSYS конструкцій прогресивних потайних заклепок з компенсаторами для виконання з'єднань силових елементів крила

Проведено аналіз за допомогою CAD/CAE-системи ANSYS впливу деградації механічних властивостей матеріалу панелі планера ЛА на характер зміння характеристик НДС у розтягнутій панелі з утомленою тріщиною та встановленою ремонтною накладкою.

Проведено аналіз за допомогою CAD/CAE-системи ANSYS НДС нервюри композитного крила легкого цивільного літака, що міститься у районі вузла навесу двигуна.

Проведено аналіз характеристик загального напружено-деформованого стану фюзеляжу вертольота із застосуванням можливостей CAD/CAE-системи ANSYS.

Усі результати наукових досліджень, виконаних на базі лабораторії інженерного аналізу, подано у вигляді друківаних статей, виданих у профільних вітчизняних і міжнародних науково-технічних журналах.

Навчально-наукова діяльність

На базі лабораторії інженерного аналізу в межах навчальної програми проходять практичні курси з вивчення основ роботи в сучасних CAD/CAE-системах ANSYS та NX Nastran, які дозволяють студентам (фахівці і магістри), а також співробітникам університету в рамках їх наукових та випускних робіт виконувати інженерний аналіз досліджуваних об'єктів.

Приклади інженерного аналізу елементів авіаційної техніки за допомогою CAD/CAE-системи ANSYS, виконаного студентами та магістрами кафедри проєктування літаків і вертольотів

Проведено аналіз напружено-деформованого стану в елементах конструкції консолі крила з підкосом і обшивкою, що частково не працює, при його статичному навантаженні, виконаний студентом в межах випускної роботи магістра.

Проведено дослідження НДС елементів конструкції БПЛА у межах виконання роботи фахівця на тему "Інтегроване проєктування та моделювання БПЛА вертолїтного типу" з використанням можливостей системи ANSYS.

Проведено дослідження НДС елементів шасї легкого вертольоту за допомогою системи ANSYS у межах виконання роботи спеціалїста студентом кафедри проєктування літаків та гелїкоптерів.

Досвід впровадження CAD/CAM/CAE-системи «КОМПАС» у навчальний процес

Навчання студентів роботї у відкритих інформаційних і комп'ютерних інтегрованих системах починається на перших курсах з вивчення легких середніх CAD/CAM, таких як ліцензїйна система "КОМПАС".

Стосунки з фірмою «АСКОН» та навчальним центром CAD/CAM/CAE ХАІ налагоджені дуже давно. Починаючи з 1997 року, інтенсивно проводилися роботи щодо тестування та експлуатації системи проєктування «КОМПАС ГРАФІК». Від представництва фірмою «АСКОН» отримано ліцензїї для системи «КОМПАС ГРАФІК» версїї 18, що використовуються в навчальному процесї як в навчальному центрі CAD/CAM/CAE, так і на кафедрах ХАІ.

Навчальний центр CAD/CAM/CAE ХАІ отримав статус авторизованого навчального центру з вивчення системи «КОМПАС ГРАФИК».

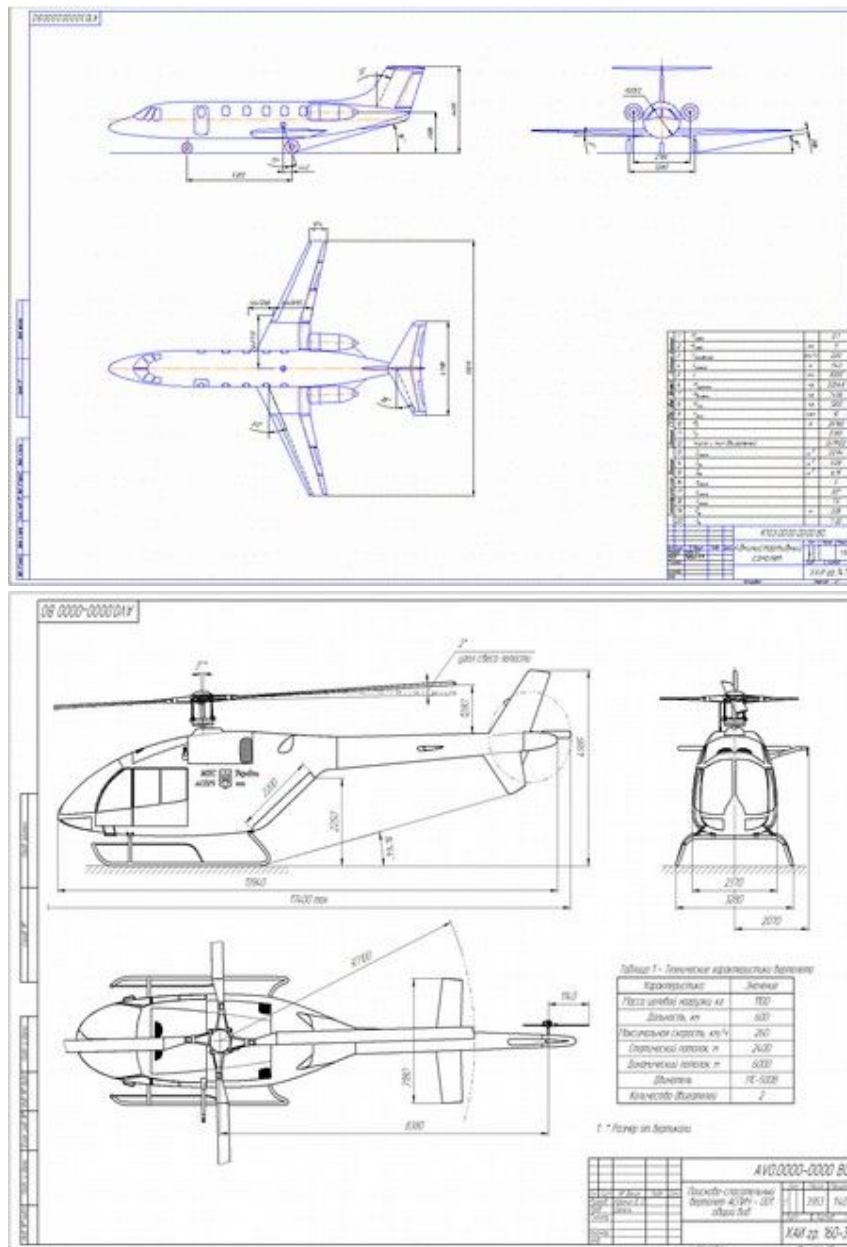


Рис 4.1. Моделювання у системі «Компас».

4. Досвід впровадження CAD/CAM/CAE-системи CATIA у наукових дослідженнях

Система CATIA—одна з найвідоміших на сьогодні день універсальних CAD/CAM/CAE/PDM-систем, яка розроблена французькою фірмою Dassault Systems. Це функціональна система САПР та технологічної підготовки виробництва, що містить розвинутий інструмент тривимірного моделювання, підсистеми програмної імітації самих складних технологічних процесів, засобів аналізу складних механічних агрегатів, розвинуту базу даних для збереження

текстової та графічної інформації. поширенням системи займається фірма IBM та її представництва. Так за умовами договору між ХАІ та фірмою IBM за участю фірми Вее-Pitron м. Київ було придбано за кошти ХАІ та АНТТ «КНК» одинадцять мережних навчальних ліцензій ED2-Educational для системи CATIA.

У кінці 2005 року почалося освоєння системи CATIA версії 5 та розробка методичних і навчальних посібників.

Впровадження системи CATIA версії 5 у навчальний процес почалося з 2006 року. Опубліковані навчальні посібники з лекцій та практичних занять.

Зараз проводиться вивчення курсів «Комп'ютерні технології проектування» з використанням і системи «CATIA»

Для навчання студентів та фахівців університету за фінансової підтримки АНТТ «КНК» було придбано одинадцять робочих станцій такої комплектації: процесор AMD 64 3200+, графічний адаптер фірми «GeForce» , 1 Гб оперативна пам'ять та 19-дюймовий TFT монітор.

На сьогодні ліцензії ED2-Educational на використання системи CATIA, періодично подовжуються на новий термін. Це надає можливості використовувати ліцензовану систему ver. 11 в навчальних класах кафедри проектування літаків та вертольотів (№ 103) та класах навчального центру CAD/CAM/CAE.

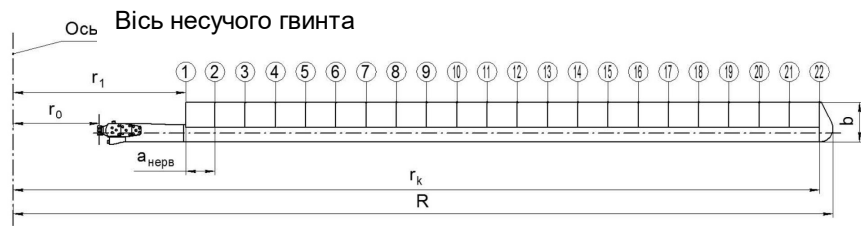
CATIA – одна з найвідоміших універсальних CAD/CAM/CAE/PLM-систем.

Лідерство на світовому ринку досягнуто нею завдяки реалізації всебічного комплексного інтегрованого підходу, що дозволив в одній системі успішно здійснювати весь цикл створення нового виробу – від розроблення концептуальних моделей до випуску необхідних креслень і конструкторсько-технологічної документації.

Дотепер CATIA є повнофункціональною системою технологічної підготовки виробництва, що містить розвинений інтелектуальний інструментарій тривимірного моделювання, підсистеми програмної імітації найскладніших технологічних процесів, засоби аналізу складних механічних агрегатів, розвинену базу даних для зберігання текстової та графічної інформації. Асоціативний двосторонній зв'язок "модель–креслення" дозволяє за створеною просторовою моделлю виробу створювати повну конструкторську документацію і оперативно автоматично її коригувати при внесенні необхідних змін до складу створеного виробу.

За допомогою ліцензійної комп'ютерної інтегрованої системи CAD/CAM/CAE CATIA студенти, викладачі та співробітники університету виконують роботи з конструювання та моделювання різних літальних апаратів і їх конструктивних елементів.

Розроблено метод параметричне моделювання лопаті несучого гвинта гвинтокрилого апарату транспортної категорії В за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM CATIA.



Загальний вигляд лопаті у плані

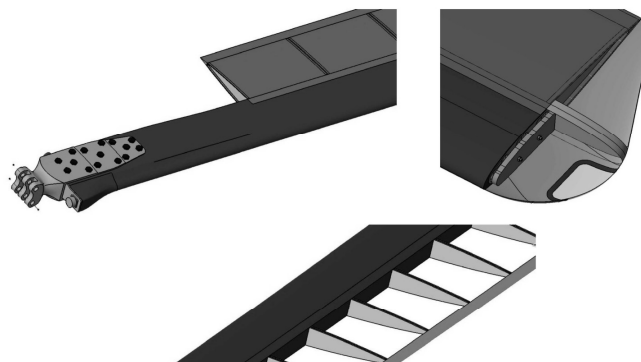
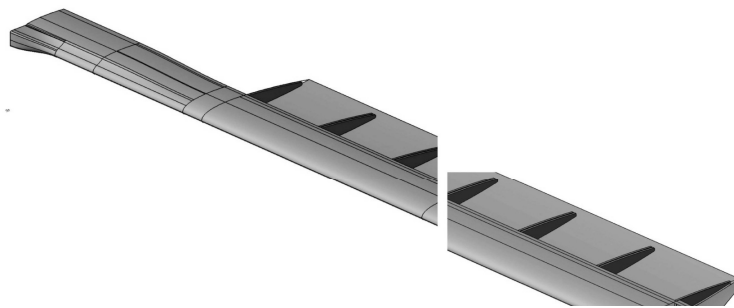
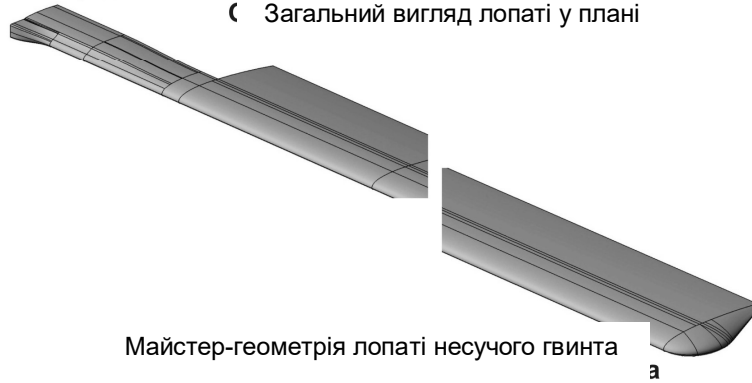


Рис. 4.2. Моделювання лопаті несучого гвинта

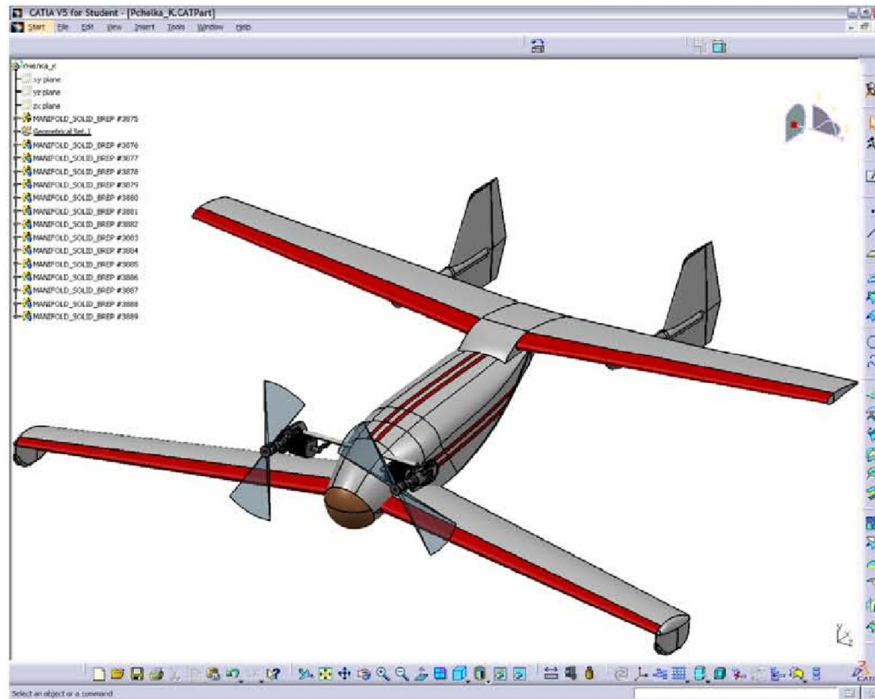


Рис. 4.3. Формування майстер-геометрії безпілотних літальних апаратів “Пчелка”

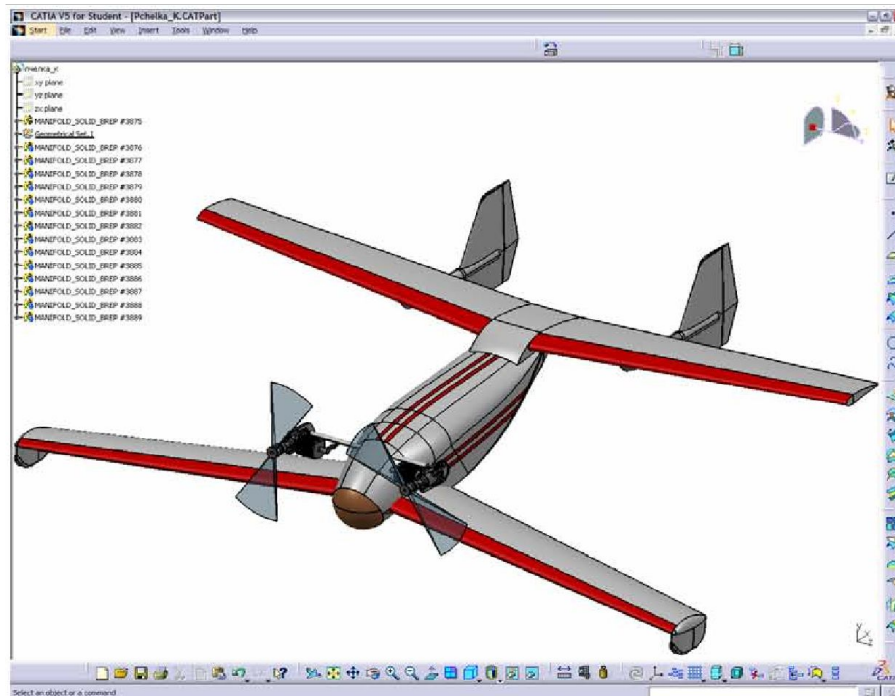


Рис. 4.4. Майстер-геометрія БЛА комплексу “Пчелка-К” змодельована за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM CATIA

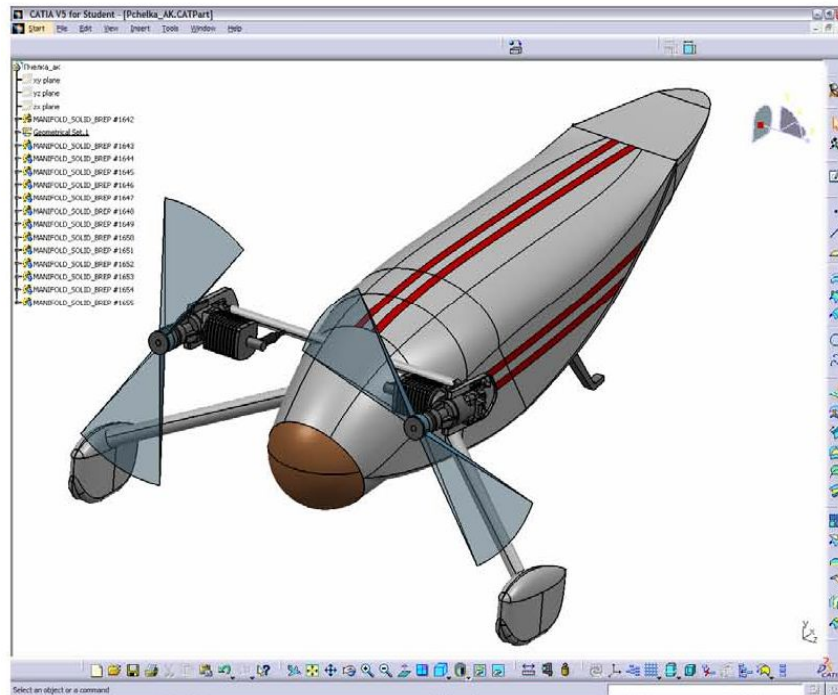


Рис. 4.5. Майстер-геометрія БЛА комплексу “Пчелка-АК” (пароплан умовно не показано), змодельована за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM CATIA

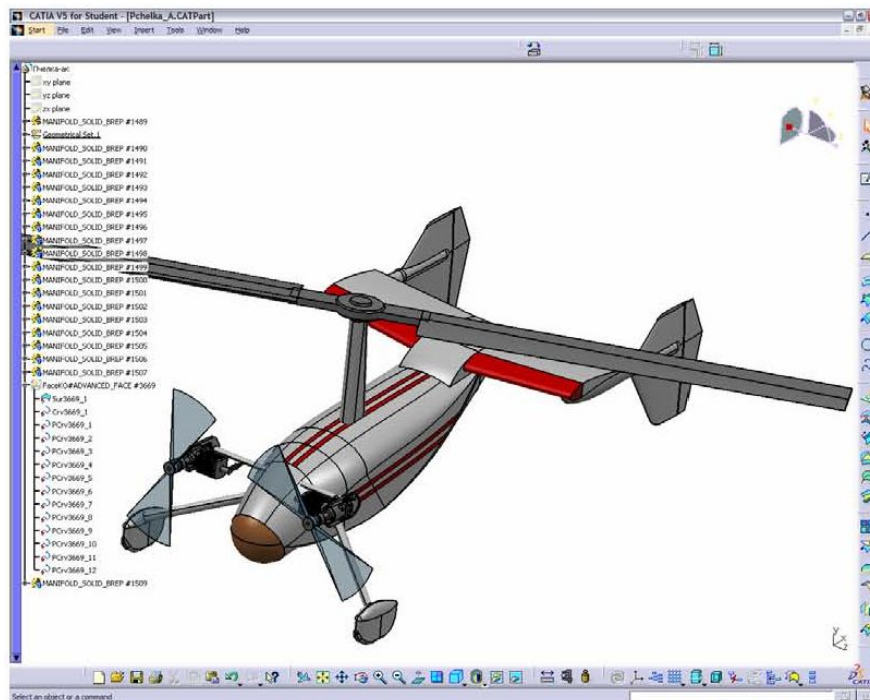


Рис. 4.6. Майстер-геометрія БЛА комплексу “Пчелка-А”, змодельована за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM CATIA

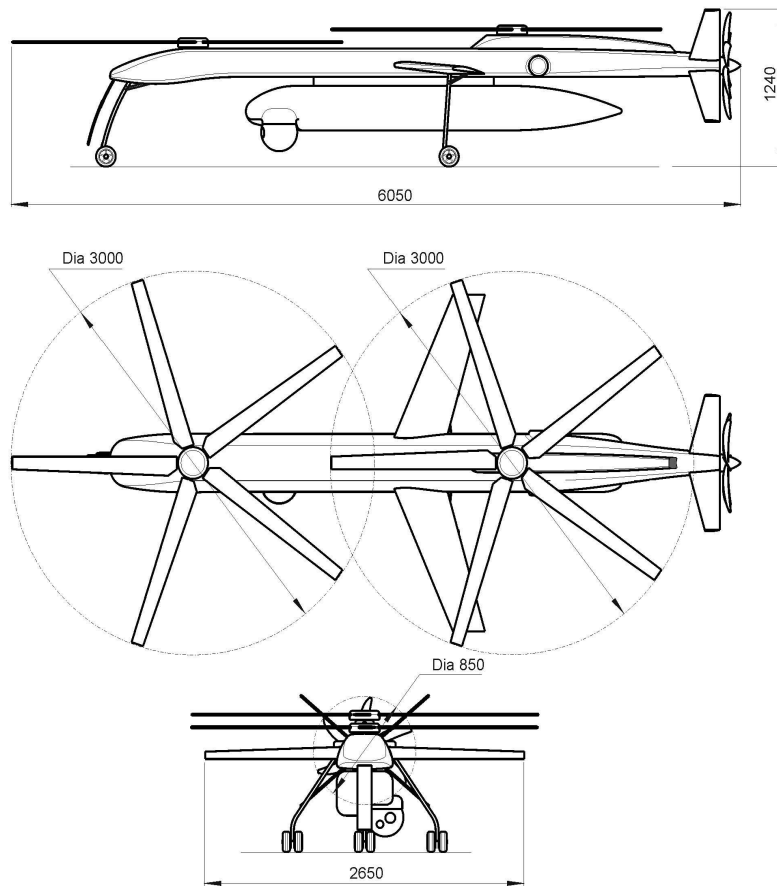


Рис. 4.7. Розроблена комбінована схема швидкісного безпілотного літального апарата за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM CATIA

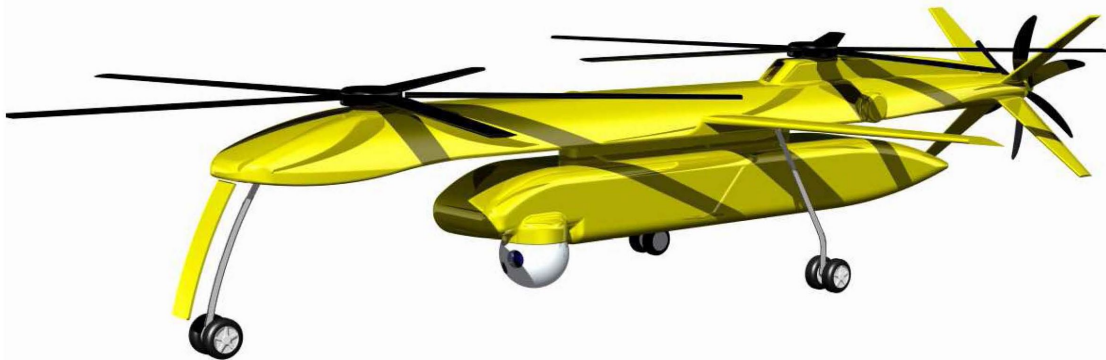


Рис. 4.8. Майстер-геометрія швидкісного БПЛА, змодельована за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM CATIA

Досвід впровадження CAD/CAM/CAE–системи CATIA у навчальний процес

Дипломні роботи та проекти студентів виконані за допомогою системи CAD/CAM/CAE/PLM CATIA:

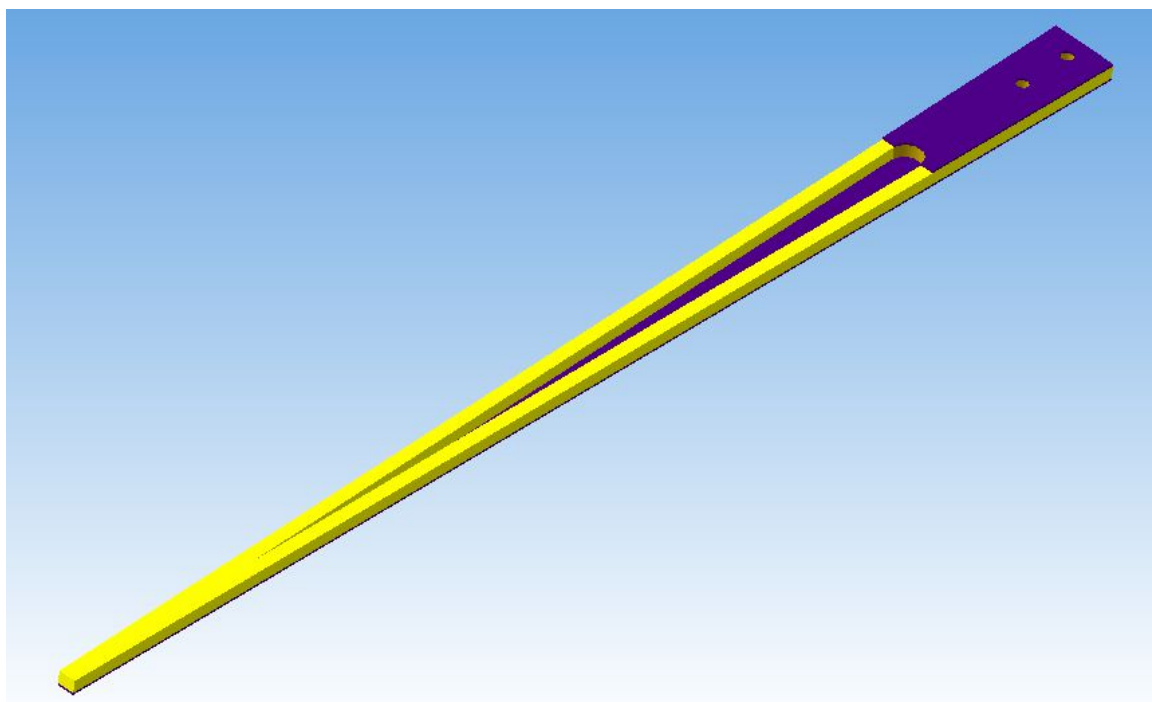


Рис. 4.10. Майстер-геометрія стінки нервюри

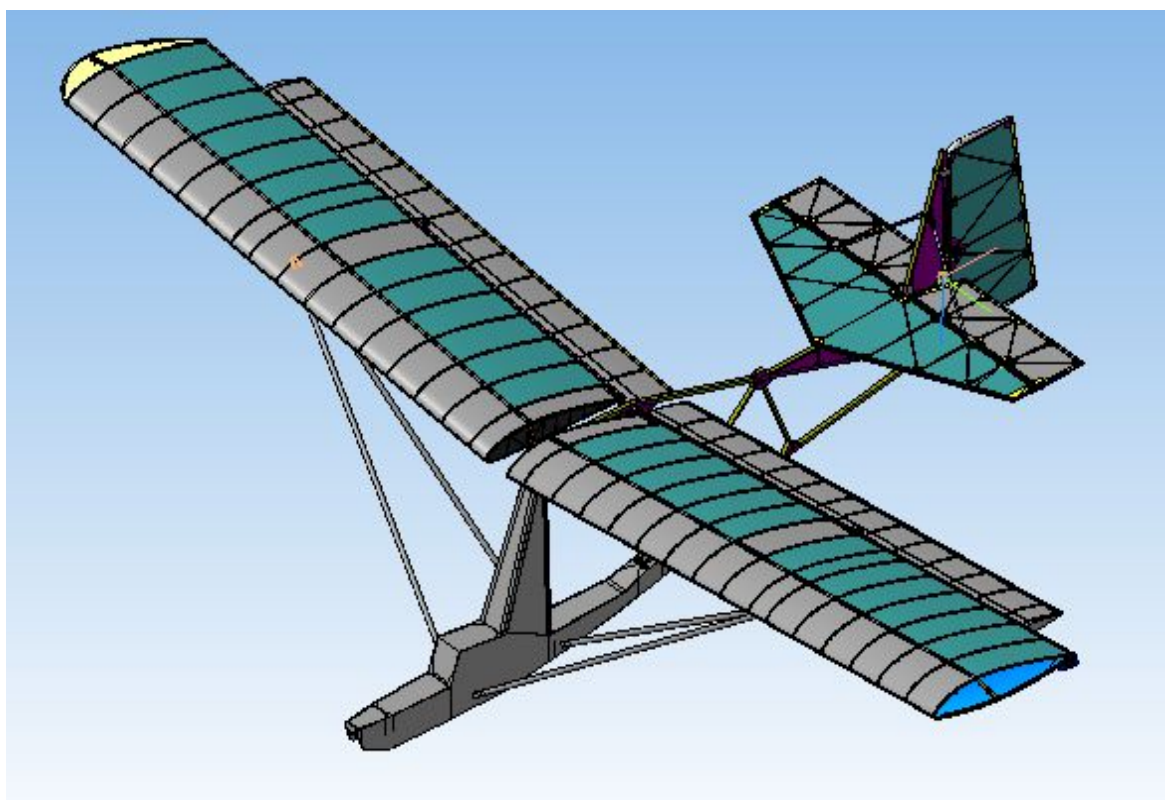


Рис. 4.11. Параметрична модель майстер-геометрії мотопланера



Рис. 4.12. Фото реалістичної моделі навчально-бойового швидкісного літака

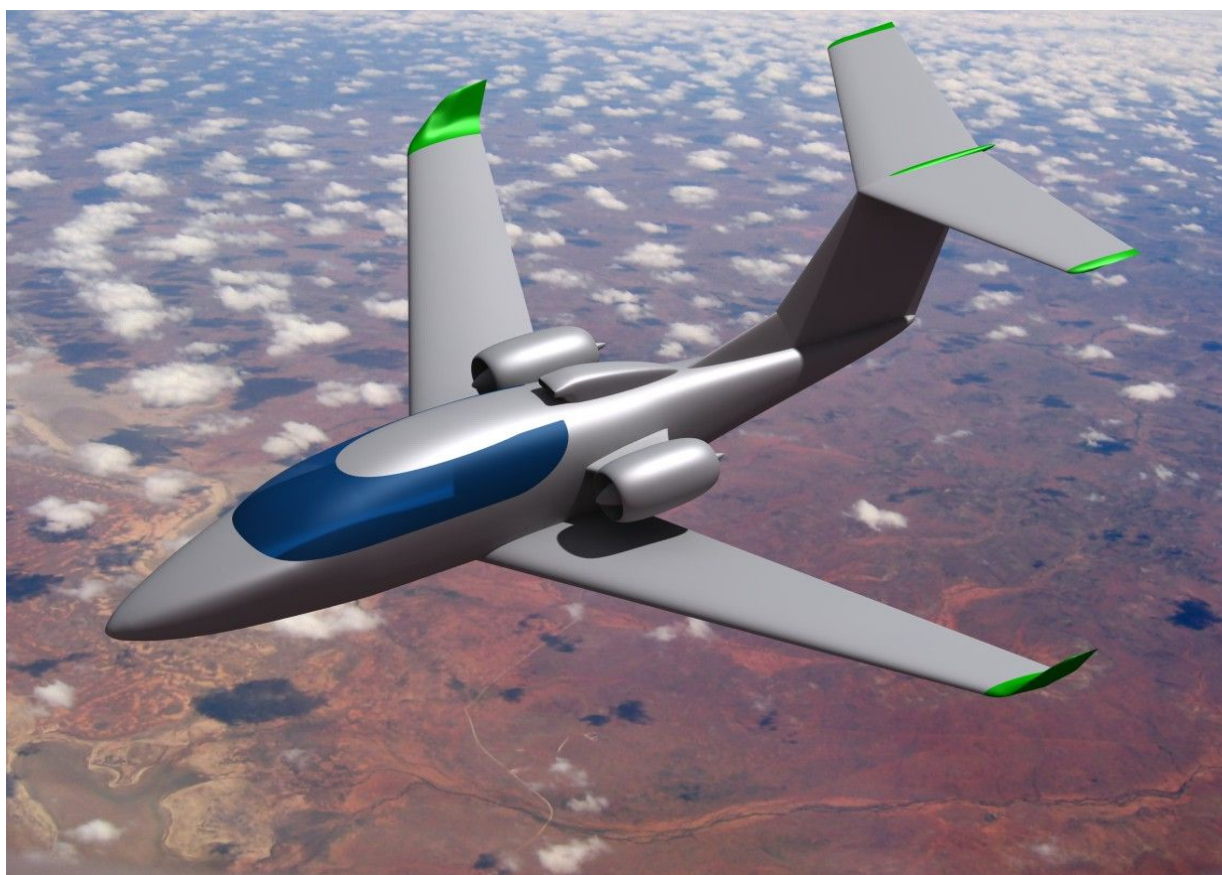


Рис.4.13.Фото реалістичної моделі легкого адміністративного літака

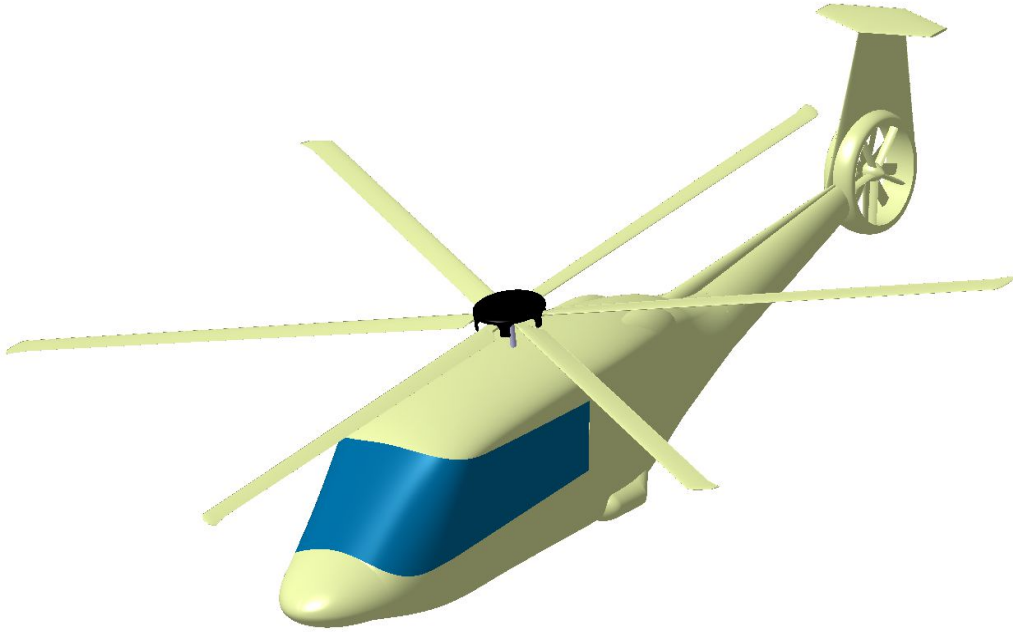


Рис. 4.14. Майстер-геометрія вертольота

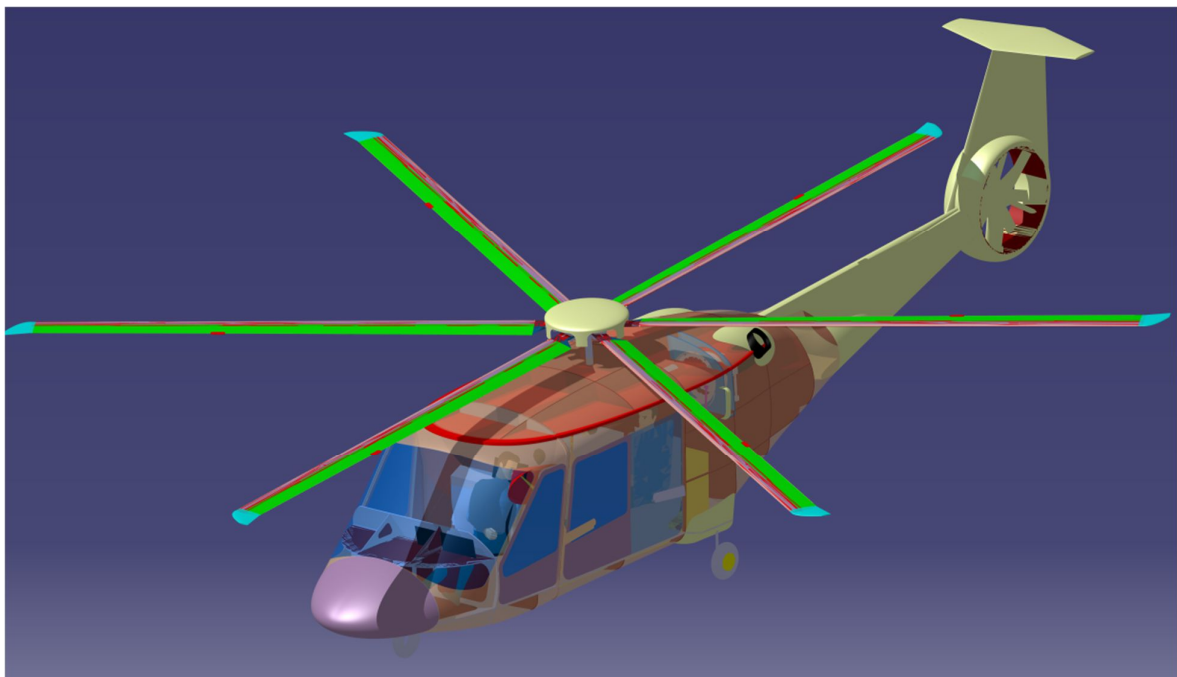


Рис. 4.15. Модель розподілу простору

Наукове стажування

На базі лабораторії моделювання авіаційної техніки за допомогою системи САТІА готують фахівців спільно з ДП «АНТОНОВ» для подальшої можливості здійснення своєї трудової діяльності на цьому підприємстві.

Видавнича діяльність



Рис. 5. Видавнича діяльність навчального центру CAD/CAM/CAE PLM

У 1998 році було надруковано перший випуск збірника наукових праць «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии».

У цьому збірнику публікується інформація, що охоплює питання аеродинаміки, жорсткості конструкцій і технологій виробництва авіаційної техніки, методи інтегрованого проектування, підготування виробництва, інженерного аналізу за допомогою систем CAD/CAM/CAE. Подано методи забезпечення безпеки конструкцій при тривалій експлуатації, системи інформаційного забезпечення життєдіяльного циклу літаків, системи забезпечення безпеки життєдіяльності для літальних апаратів, питання економічного аналізу ризиків, методи підтримки, прийняття управлінських рішень. Видається для фахівців промислових і наукових організацій, викладачів та студентів. ISBN 966-662-129-0. Свідоцтво про державну реєстрацію KB №7975 від 09.10.2003 р.

Фахівці навчального центру CAD/CAM/CAE ХАІ займаються підготуванням та верстанням поданих матеріалів до випуску у типографії. На кінець 2023 року – вже підготовлено і видано 97 випусків наукових праць «Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології».

А також додатково видано 317 статей, 23 навчальні посібники.

Висновки: розроблено та реалізовано наукові основи методології інтегрованого проектування та досягнення регламентованої довговічності збірних конструкцій авіаційної техніки за допомогою систем CAD/CAM/CAE для вирішення великої науково-технічної проблеми забезпечення ресурсу сучасних пасажирських та транспортних літаків.

Нове концептуальне обґрунтування інтегрованого проектування збірних конструкцій АТ та їх з'єднань на усіх етапах життєвого циклу літака у єдиному інформаційному середовищі за допомогою комп'ютерних інтегрованих систем забезпечує підвищення якості створення параметричних аналітичних еталонів збірних конструкцій, підвищення якості та продуктивності роботи конструктора, створення болтових та заклепкових з'єднань мінімальної маси, регламентованих характеристик довговічності, герметичності та якості їх зовнішньої поверхні.

Для вирішення проблем створення збірних конструкцій АТ та їх з'єднань регламентованої довговічності запропоновано комплекс нових наукових принципів, методів та методик:

- Принцип створення аналітичних еталонів збірних конструкцій АТ та майстер-геометрії АТ.
- Принцип проектування регулярних та нерегулярних зон збірних конструкцій АТ.

- Принцип підтримки та досягнення живучості збірних конструкцій АТ.
- Метод створення майстер-геометрії літака за допомогою комп'ютерних інтегрованих систем.
- Інші.

Список літератури

1. Науковці України - еліта держави. Т. VII – Київ : ВИДАВНИЦТВО Н 34 ЛОГОС УКРАЇНА, 2022 – 360 с.
2. Основи загального проектування літаків з газотурбінними двигунами П. В. Балабуєв, С. А. Бичков, О. Г. Гребеніков та ін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харківський. авіац. ін-т», 2015. – 815 с.
3. Концепція створення сучасних реактивних регіональних пасажирських літаків / Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 254 с.
4. Основы компьютерного моделирования с помощью интегрированной системы CAD/CAM/CAE/PLM UNIGRAPHICS NX : учеб. пособие / А. Г. Гребеников, С. В. Удовиченко, А. М. Гуменный [и др.] / – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "Харьков. авиац. ин-т", 2004.– 199 с.
5. Основы компьютерного моделирования с помощью интегрированной системы CAD/CAM/CAE/PLM UNIGRAPHICS NX : учеб. пособие по лаб. практикуму / А. Г. Гребеников, С. В. Удовиченко, А. М. Гуменный, В. В. Парфенюк. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2005. – 104 с.
6. Основы компьютерного моделирования с помощью интегрированной системы CAD/CAM/CAE/PLM CATIA V5: учеб. пособие. А. Г. Гребеников, Д. Ю. Дмитренко, М. В. Кириленко, Н. В. Никифорова, В. В. Парфенюк, С. В. Удовиченко. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т "Харьков : авиац. ин-т", представительство фирмы DASSAULT SYSTEMES, АНТООО "КНК", 2006. – 151 с.
7. Основы компьютерного моделирования с помощью интегрированной системы CAD/CAM/CAE/PLM CATIA V5: – учеб. пособие по лаб. практикуму А. Г. Гребеников, Д. Ю. Дмитренко, М. В. Кириленко, Н. В. Никифорова, В. В. Парфенюк, С. В. Удовиченко. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", представительство фирмы DASSAULT SYSTEMES, АНТООО "КНК", 2007. – 154 с.
8. Интегрированное проектирование винтокрылых летательных аппаратов транспортной категории : учебник в 3 ч. / А.Г.Гребеников, Н.И.Москаленко, В.А.Урбанович, – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2016. – Ч. 1. – 411, Ч. 2. – 454 с., Ч. 3. – 419 с.
9. Конструктивно-технологические методы повышения усталостной долговечности элементов конструкции планера самолета в зоне функциональных отверстий. – Киев / Д.С. Кива, Г. А. Кривов, В. Ф. Семенцов, КВИЦ, 2015. – 188 с.
10. Проектирование с учетом усталости конструктивно-силовых элементов самолетов и вертолетов : учеб. пособие по лаб. практикуму / Е. Т. Василевский, А.Г.Гребеников, И.П.Змиевской, В.Н.Клименко, О. И. Парфенюк, Харьков.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2014. – 83 с.
11. Научные основы интегрированного проектирования самолетов

транспортной категории. Д.С. Кива Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2014. В 3-х ч.

12. Применение CAD/CAM-систем для создания управляющих программ изготовления технологической оснастки на станках с ЧПУ / И. Г. Волокитин, С. А. Лихачев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.– Харьков.: "ХАИ". – 2000. Вып. 8.

References

1. Naukovtsi UkraYini - ellta derzhavi. Tom VII – K.: VIDAVNITsTVO N 34 LOGOS UKRAYiNA, 2022 – 360 s

2. Osnovi zagalnogo proektuvannya lltaklv z gazoturbinnimi dvigunami P.V. BalabuEv, S. A. Bichkov, O. G. Grebenkov ta In. – H.: Nats. aerokosm. un-t Im. M. E. Zhukovskogo «Hark. avlats. In-t», 2015. – 815 s.

3. Kontseptslya stvorenniya suchasnih reaktivnih regionalnih pasazhirskih lltaklv / Harklv : Nats. aerokosm. un-t Im. M. E. Zhukovskogo «Harklv. avlats. In-t», 2020. – 254 s.

4. Naukovo-osvltnya shkola «Proektuvannya I konstruyuvannya effektivnoYi visokoresursnoYi avlatslynoYi tehnlki» kafedri proektuvannya lltaklv I vertolotlv. Naukovo-osvltnl shkoli Natslionalnogo aerokosmlchnogo unlvrsitetu Im. M. E. Zhukovskogo «Harklvskly avlatslyniy Institut» [Tekst] : monograflya / 400 s.

5. Osnovi kompyuternogo modelirovaniya s pomoschy integrirovannoy sistemy CAD/CAM/CAE/PLM UNIGRAPHICS NX : ucheb. posobie / A. G. Grebenikov, S. V. Udovichenko, A. M. Gumennyiy, V. V. Parfenyuk [i dr.] / Nats. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo "Hark. aviats. in-t". – H. : Nats. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo "Hark. aviats. in-t", 2004.– 199 s.

6. Osnovi kompyuternogo modelirovaniya s pomoschy integrirovannoy sistemy CAD/CAM/CAE/PLM UNIGRAPHICS NX : ucheb. posobie po lab. praktikumu / A. G. Grebenikov, S. V. Udovichenko, A. M. Gumennyiy, V. V. Parfenyuk. – H. : Nats. Aerokosmi-cheskiy un-t "HAI", 2005. – 104 s.

7. Osnovi kompyuternogo modelirovaniya s pomoschy integrirovannoy sistemy CAD/CAM/CAE/PLM CATIA V5 / A. G. Grebenikov, D. Yu. Dmitrenko, M. V. Kirilenko, N. V. Nikiforova, V. V. Parfenyuk, S. V. Udovichenko. – Ucheb. posobie. – Harkov: Nats. aerokosm. un-t "Hark. aviats. in-t", predstavitelstvo firmy DASSAULT SYSTEMES, ANTOOO "KNK", 2006. – 151 s.

8. Osnovi kompyuternogo modelirovaniya s pomoschy integrirovannoy sistemy CAD/CAM/CAE/PLM CATIA V5 / A. G. Grebenikov, D. Yu. Dmitrenko, M. V. Kirilenko, N. V. Nikiforova, V. V. Parfenyuk, S. V. Udovichenko. – Uch. posobie po lab. praktikumu. – Harkov: Nats. aerokosm. un-t "Hark. aviats. in-t", predstavitelstvo firmy DASSAULT SYSTEMES, ANTOOO "KNK", 2007. – 154 s

9. Integrirovannoe proektirovanie vintokryilyih letatelnyih apparatov transportnoy kategorii [Tekst]: uchebnyk: v 3 ch. / H. : Nats. aerokosm. un t im. N. E. Zhukovskogo «Hark. aviats. in-t», 2016. – Ch. 1. – 411, Ch. 2. – 454 s., Ch. 3. – 419 s.

10. Konstruktivno-tehnologicheskie metodyi povyisheniya ustalostnoy dolgovechnosti elementov konstruksii planera samoleta v zone funktsionalnyih otverstiy / Kiev: KViTs, 2015. – 188 s.

11. Proektirovanie s uchetom ustalosti konstruktivno-silovyih elementov samoletov i vertoletov. ucheb. posobie po lab. Praktikum E.T. Vasilevskiy, A.G. Grebenikov, I.P. Zmievskoy, V.N. Klimenko, O.I. Parfenyuk, H.: Nats. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo «Hark. aviats. in t», 2014. – 83 s.

12. Nauchnyie osnovyi integrirovannogo proektirovaniya samoletov transportnoy kategorii. D. S. Kiva H.: Nats. aerokosm. un-t im. N.E. Zhukovskogo «Hark. aviats. in-t», 2014. v 3-h chastyah.

13. Primenenie CAD/CAM sistem dlya sozdaniya upravlyayuschih programm izgotovleniya tehnologicheskoy osnastki na stankah s ChP / I. G. Volokitin, S. A. Lihachev // Otkryitye informatsionnyie i kompyuternyie integrirovannyye tehnologii. Vyip. 8. – H.: GAKU "HAI". – 2000 s.

Надійшла до редакції 18.04.2023, розглянута на редколегії 18.04.2023.

Відомості про авторів:

Варшав'як Геннадій Борисович – зав. лаб. навчально-наукового центру CAD/CAM/CAE 103 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», e-mail: g.varshavyak@khai.edu, ORCID: 0000-0002-3299-5079

Олександр Григорович Гребеніков – д-р техн. наук, проф. каф. N 103 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна. e-mail: agrebenikov@khai.edu.

Гуменний Андрій Михайлович – доц. каф. N 103 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». E-mail: a.gumenyy@khai.edu, ORCID: 0000-0003-1020-6304

Гребеніков Вадім Олександрович – зав. лаб. навчально-наукового центру CAD/CAM/CAE 103 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», e-mail: grebenikov@ukr.net

About the Authors

Varshavyak G. B. – Head of laboratory of educational center CAD/CAM/CAE, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", e-mail: g.varshavyak@khai.edu, ORCID: 0000-0002-3299-5079

Oleksandr Grigorovich Grebenikov – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department 103 "Design of Airplanes and Helicopters" of the National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Ukraine, e-mail: o.grebenikov@khai.edu ORCID: 0000-0002-1509-0665.

Humenny A. M. – Assistant professor of Department 103, National Aerospace University named by M. E. Zhukovsky "KhAI". E-mail: a.gumenyy@khai.edu ORCID: 0000-0003-1020-6304

Grebenikov V.O – Head of laboratory of educational center CAD/CAM/CAE, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", e-mail: grebenikov@ukr.net