



ХҒТАР 55.47.05

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-24-36>

## Ұшу аппаратының композиттік материалының беріктігін көтеру

А.Е. Жакупова<sup>ORCID</sup>, Д.М. Калманова\*<sup>ORCID</sup>, Ғ.А. Әнуар<sup>ORCID</sup>

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

(E-mail: dinara\_kalmanova@mail.ru)

**Аңдатпа.** Металлдар 1930 жылдардан бастап авиация жасау үшін таңдаулы материал ретінде кеңінен қолданылады. Аэроғарыш өнеркәсібінде қолданылатын негізгі металлдар легирленген және термиялық өңделген алюминийден титанға, магнийге және суперқорытпаларға дейін, соңғысы арнайы қолдануға арналған. Алайда, ұшақтың дизайнындағы өзгерістер, әсіресе қолданылатын материалдарға қатысты, 1970 жылдары композиттік материалдар коммерциялық ұшақтарға енгізілген кезде басталды. Композиттік материалдарды пайдаланудың артуының қозғаушы күштерінің бірі – олардың салыстырмалы түрде жеңіл компоненттер мен аэродинамикалық жобаланған конструкцияларды жасау қабілеті, олар жоғары беріктігі мен өнімділігін сақтай отырып, жанармай шығындарын азайтады. Қауіпсіздік авиациядағы маңызды фактор болып табылады, сондықтан материалдарды таңдауға шешуші әсер етеді. Сондықтан, ұшақ дизайнына арналған материалдарды таңдағанда, салмақ пен беріктік сияқты құрылымдық параметрлерді, сондай-ақ сәтсіздік режимдері мен өнімділік сияқты қауіпсіздік факторларын ескеру қажет. Аэроғарыш өнеркәсібі көрсеткендей, композиттік материалдарға көшу кезінде салыстырмалы түрде жаңа материалдардың сәтсіздіктер мен зақымдануларға қалай әсер ететінін түсіну өте маңызды. Бұл мақалада SolidWorks ортасында композиттік материалдарды модельдеу мүмкіндіктерін көрсету үшін ұшақ қанатының дизайнының мысалы қолданылады. Ұшақтарда қолданылатын композиттік материалдардың механикалық қасиеттері және SolidWorks-те осындай конструкцияларды модельдеу процесі туралы жазылады. Бұл зерттеудің мақсаты – SolidWorks Flow Simulation бағдарламасында ағынды есептеуді модельдеу және беріктігін талдау. Әрбір талданған жүктеме түрі үшін әртүрлі орын ауыстыру, кернеу және қауіпсіздік коэффициенті мәндері алынды.

**Түйінді сөздер:** Композиттік материал, беріктік, ұшу аппараты, SolidWorks, құрылым.

Түсті 11.06.2023 Жөнделді 11.07.2023 Мақұлданды 21.12.2023 Онлайн қолжетімді 30.06.2024

\* хат-хабар үшін автор

## Кіріспе

Заманауи инженердің міндеті - өнімді дұрыс бағамен тез жобалау және жасау. Бұл компьютерлік жүйелердің дамуы мен заманауи композиттік материалдардың кең қол жетімділігінің арқасында мүмкін болды. Полимерлі матрицалық композиттер өндірістің төменқұнымен жақсы механикалық қасиеттеріне байланысты қазіргі заманғы өнеркәсіпте кеңінен қолданылады. Олар негізінен симметриялы және асимметриялық қабатты материалдар түрінде ұсынылған. Үздіксіз талшықтармен нығайтылған полимерлі матрицалық композиттер жеңіл салмақпен, жоғары беріктікпен, жоғары қаттылықпен, коррозияға төзімділікпен және дірілді басатын қасиеттерімен ерекшеленеді. Беріктігі, салмағы мен қаттылығының массаға жоғары қатынасына байланысты олар аэроғарыш өнеркәсібінде жеңіл құрылымдарда (планер компоненттері ретінде) қолданылады [1].

Бүгінгі таңда ұшқышсыз ұшу аппараттарының дизайнын жасауда мамандандырылған компаниялар елеулі бәсекелестерге айналуда. Бұл компьютерлік технологиялар мен электрониканың қарқынды дамуының арқасында мүмкін болды. Заманауи автоматтандырылған дизайн құралдары барлық жерде кездеседі және инженерлік білім беруде, өнеркәсіпте де, университеттерде де қолданылады [2]. САХ құралын пайдалану жаңа өнімдердің бастапқы бағасын айтарлықтай төмендетеді. Қауіпсіздік мақсатында сандық талдау нәтижелерін эксперименттік мәліметтермен салыстыру керек. САХ ортасында сіз 3D модельдерін (CAD) жасай аласыз, беріктік талдау (CAE), инженерлік даму (CAM) сияқты сандық есептеулер сериясын және соңында 2D құжаттары жасалады. Алайда, автоматтандырылған дизайн тек инженерлердің қолындағы құрал болғандықтан, нақты объектілердің виртуалды модельдерін құру үшін тиісті стратегияларды таңдау немесе әзірлеу маңызды [3]. SolidWorks сияқты компьютерлік жүйелер композиттік материалдардың құрылымын модельдеуге және олардың механикалық қасиеттерін талдауға арналған құралдарды ұсынады. Бұл бағдарламалық жасақтама материалдардың қасиеттерін сипаттау арқылы материалдардың жаңа түрлерін анықтауға мүмкіндік береді (изотропты материалдар).

## Әдістер

Авиация өнеркәсібінде композициялық материалдардың барлық спектрі қолданылады. Арамидті маталар негізінен фюзеляждың төменгі бөлігін және авиациялық қозғалтқыш тіректерін жасауда пайдаланылады.

Көміртекті маталар авиациялық қозғалтқыштың рульдің беттерін, есіктерін жасау үшін қолданылады.

Шыны талшықтар ауа қысымын қабылдағыштар, қосалқы энергия қондырғысының ауа қабылдағыштары сияқты аз жүктелген құрылымдық бөлшектерді өндіруде қолданылады.

Композиттік материалдарды кеңінен қолданатын орындардың бірі - ұшақтың қанаты. Қанат бойымен орналасқан лонжерондар және күштік элементтері шыны және көміртекті талшық негізінде жасалған. Қаптама шыныдан, көміртекті талшықтан және ішкі көбік толтырғышынан тұратын екі қабатты қабықтан жасалған.

Түбірлік немесе терминалдық бөліктердегі қанат қаптамасының жоғарғы және төменгі қабықшалары және матрицаларда полимерленумен байланыстырушы материалды құю арқылы жасалады, бұл ретте қабықшалар қанаттың алдыңғы және артқы жиектерінде бір-бірімен желім пленкасының көмегімен жалғанған беттерге таратылады. Ішкі қаттылық қабырғалары байланыстырғышты құю арқылы да жасайды. Бұл әдіс сыртқы қанат беттерінің сапасын жақсартады және құрылымның беріктігін қамтамасыз етеді [4,5].

Егер біз үлкен ұзартылған қанаттың серпімді қасиеттерін түзу қаттылық осі бар сәулемен модельдейтін болсақ, онда көтеру коэффициенті:

$$C_y = C_y^\alpha (\alpha + \Delta\alpha) \quad (1)$$

мұнда әуе кемесінің қанаты жағдайында серпімділікке байланысты жеңілдетілген қанат қимасының шабуыл бұрышының өсуі келесідей анықталады [6]:

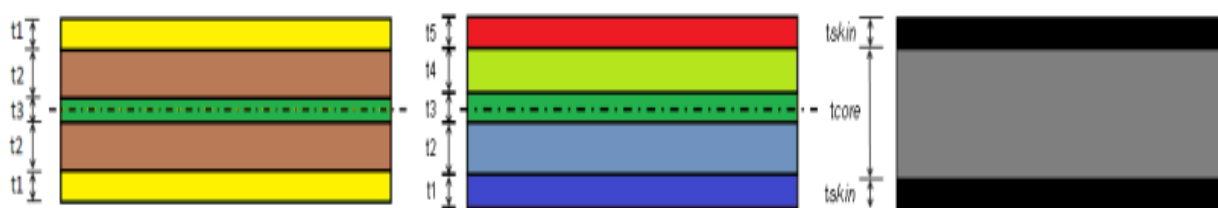
$$\Delta\alpha = \theta \cos x - \omega' \sin x \quad (2)$$

Мұнда бірінші термин бұралуға, ал екіншісі қанат құрылымының иілуіне жауап береді. Терминнің арқасында жеңілдетілген қиманың шабуыл бұрышы азаяды. Ұшқышсыз ұшу аппараты үшін көбінесе тік қанат қолданылады, онда қанаттың иілісі ағынның шабуыл бұрышын өзгертпейді және бұл шабуыл бұрышының серпімділікке байланысты төмендемеуіне әкеледі, сәйкесінше, деформация кезінде қанат жүктемені алып тастамайды. Бұл мақалада композиттік материалдың анизотропты қасиеттерін жүктеме кезінде қанаттың иілуін және бұралуын ұтымды байланыстыру үшін қолдану ұсынылады, бұл шабуыл бұрышын азайтуға, қысым центрін қанатқа қарай жылжыту арқылы иілу моментін азайту және құрылымның салмағын азайту мақсатында жүктемені қанат бойымен қайта бөлуге мүмкіндік береді.

SolidWorks Simulation бағдарламасы композициялық материалдарға негізделген дизайнды модельдеу және талдау құралдарын ұсынады. Бағдарламалық жасақтама ортасы бетті модельдеуге мүмкіндік береді (3D CAD модулі) және құрама құрылымдарды модельдеу үшін жасалған геометрияны қолданады. Тағы бір шешім - алдын-ала қатты күйдегі модельді (3D CAD модулі) құру, содан кейін белгілі бір геометрияға негізделген SolidWorks Simulation модулінде жабын элементтерін құру. Бұл функционалдылық алынған CFD жүктемесіне негізделген кейінгі талдау (күш) кезінде маңызды болады (ағынды модельдеп талдау үшін қатты күйдегі 3D моделі қажет).

Жоғарыда аталған орта 50 түрлі қабатқа дейін күрделі қабаттарды талдауға мүмкіндік береді. SolidWorks қабаттар арасындағы тамаша байланысты ұсынады. Композиттердің ең көп таралған түрлері (сур. 1):

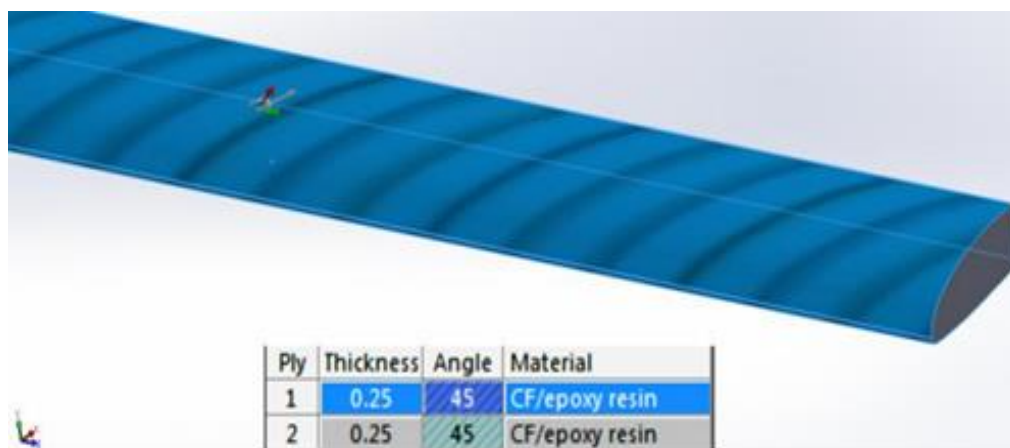
- Симметриялық ламинация – қабат материалының симметриялы орналасуымен, бағытымен, қалыңдығымен, жіптің ортаңғы жазықтықтағы бағытымен анықталады.
- Асимметриялық ламинат медианалық жазықтыққа қатысты симметриясы, бағыты және қасиеттері жоқ қабаттармен сипатталады.
- Көп қабатты композиттер – бұл симметриялы қабаттар, олардың ортаңғы қабаты басқа қабаттарға қарағанда қалыңдығымен және басқа қабаттарға қарағандағы төмен механикалық қасиеттерімен сипатталады. Бұлар иілу кезінде үлкен жүк көтергіштігі қажет болған жағдайда қолайлы.



Сурет 1. Композиттік материалдардың түрлері (оң жақ симметриялы, асимметриялық, сэндвич)

SolidWorks Composite Property Manager көмегімен жобаланған дизайнға қажетті қалыңдығын, бағдарын, қабаттар санын және қабаттардың материалдарын анықтай аламыз. Бұл құралдың графикалық терезесінде ғаламдық координаттар жүйесі, сондай-ақ жеке қабаттардың бағыттары көрсетілген. Белгілі бір композиттік құрылымның орнын оның беттік қабатына қатысты басқаруға болады. Композиттік қасиеттер диспетчері жобаланған қабаттар үйінділерін ортаңғы жазықтықта, үстіңгі, астыңғы және берілген пропорцияларда (орталық бетінен бақылау бетіне дейін өлшенген құрылымның жалпы қалыңдығынан ығысу мәнімен анықталады) орналастыруға мүмкіндік береді. Сурет 2 көміртекті матадан/эпоксидті материалдан және қалыңдығы 0,25 мм болатын екі қабаттан тұратын симметриялы ламинат беткі дисплейге негізделген материалдың координаттар жүйесіне қатысты  $45^\circ$  бұрылған.

Композиттік құрылымдарды модельдеудегі маңызды қадам – материалдың қасиеттерін анықтау. Ортогональді материалдарды толық сипаттайтын SolidWorks ортасында (талдау кезінде қолданылатын композиттер) серпімділік модулі, Пуассон коэффициенті, ығысу модулі, беріктік дәрежесі ығысу кезіндегі, созылу беріктігі және белгілі бір бағытта қысу беріктігі сияқты параметрлер бар [7].



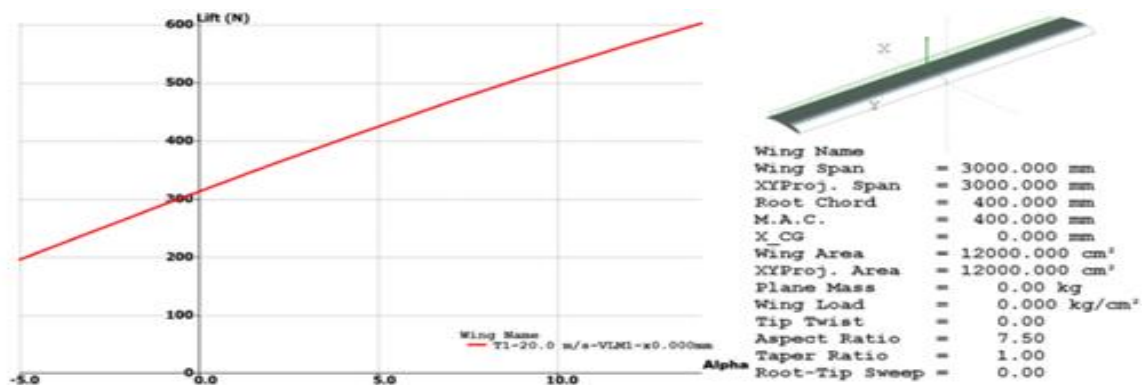
Сурет 2. Композиттің бағыты, қалыңдығы, қабаты, материалы және координаттар жүйесі

Композиттік материалдардың беріктігін талдау кезінде алынған нәтижелер, стандартты беріктікті талдау графиктерінен басқа, келесідей: барлық қабаттардағы максималды кернеу, қабат бағытының бағыты бойынша кернеу және қабат бұрышына көлденең бағыт, әр қабаттың жоғарғы немесе төменгі бетіндегі кернеу, екі түрлі қабат

арасындағы байланыстағы қабат аралық ығысу кернеуі. Айта кету керек, деформациялар мен орын ауыстыру өрістері қарастырылып отырған композиттің қалыңдығы бойынша үздіксіз, ал кернеу өрістері әртүрлі қабаттардағы материалдың әртүрлі бағдары мен қасиеттеріне байланысты үзік-үзік болып табылады.

SolidWorks ламинаттың сыну критерийлерін есептеу үшін қол жетімді үш теорияны қамтиды: Цай-Хилл сыну критерийі, Цай-Бу сыну критерийі және максималды қысым түсіру критерийі. Осы критерийлердің біріне сүйене отырып, жобаланған дизайн үшін қауіпсіздік коэффициентінің (FOS) графиктерін жасай аламыз. Композиттік материалдардың бұзылуы бірнеше кезеңде жүреді. Бірінші қабаттағы немесе қабаттар тобындағы кернеу жеткілікті жоғары болған кезде ол істен шығады. Бұл сыну нүктесі бірінші қабаттың бұзылуы деп аталады, оның сыртында қарастырылып отырған ламинат әлі де жүктемеге төтеп бере алады. Қауіпсіздік мақсатында ламинаттар сынып кетпеу үшін жоғары қысымдарға ұшырамауы қажет [8].

Әуе кемесінің қанатының дизайнын жобалау - бұл әуе кемесінің мақсатын анықтауды, қанатты таңдауды, геометриялық есептеулерді, құрылымды жобалауды, материалды таңдауды, сандық талдауды және техникалық өңдеуді қажет ететін көп сатылы міндет. Ұшақ қанатының конструкцияларын алдын-ала зерттеу жобалық болжамдар мен таңдалған қанаттарға негізделген негізгі геометриялық өлшемдерді есептеуді қамтиды. [9,10]. XFRL5 ортасында жүргізілген алғашқы зерттеудің нәтижелері көрсетілген. Жобаланған геометрия (аэродинамикалық сызығы 400 мм, қанаттарының кеңдігі 3000 мм) ауа жылдамдығы 20 м/с жететін 310 Н көтеру күшімен сипатталады (сур. 3).



Сурет 3. Ұшақ қанатының пішіні

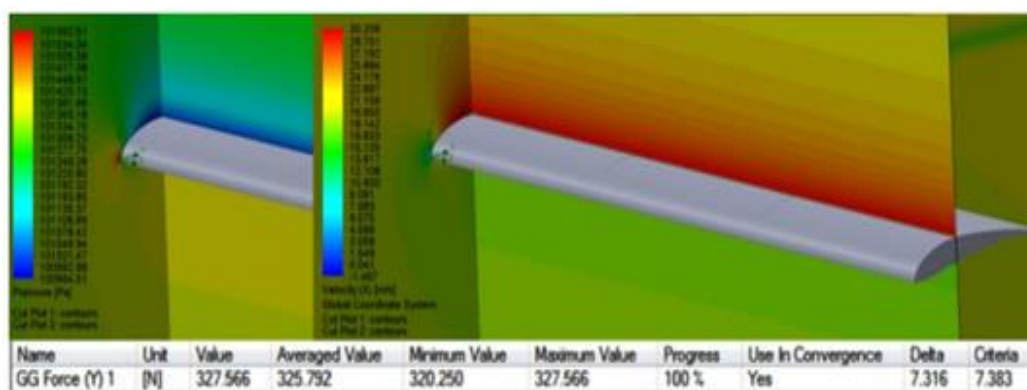
XFRL5 – бұл планердің қанаттары мен жақтауларын сандық талдауға мүмкіндік беретін ақысыз бағдарламалық жасақтама. Модельдеу кезінде бағдарламалық жасақтама сызықтық емес сызықтар әдісін, құйынды тор әдісін (VLM) және 3D панель әдісін қолданады. Бұл бағдарламалық жасақтама Рейнольдс санымен жұмыс істейді [11].

### Нәтижелер және талқылау

Ұшақтың қанаттарына әсер ететін жүктеме түрлерін білу жаңа конструкцияны жобалау процесінде өте маңызды. Ұшақ қанатының конструкциялары үшін қолданылатын

көтеру нәтижесінде пайда болатын иілу және бұралу жүктемелері өте маңызды. CFD модельдеу негізінде олардың түрлері мен мәндерін анықтауға болады. 4-ші суретте қарастырылып отырған қанаттың айналуын модельдеу талдауы және нәтижесінде көтергіш күш көрсетілген. CFD модельдеу негізінде жүктеме түрлері және олардың мәндері алынды: қанатқа әсер ететін орташа қысым 275 Па, қанаттың геометриялық орталығында шоғырланған күш, максималды көтеру күші 327 Н, мәндер арасындағы айырмашылық болып табылады.

XFLR 5 (315N) және SW (327N) ортасындағы көтерілуді модельдеу нәтижелері зерттеу сипатына байланысты. Ағынды модельдеу кезінде есептеу уақытын қысқарту үшін біз талдауды жоғары және төмен қысымды ауа массаларының араласуына байланысты қанаттың ұштарында көтергіштің жоғалуын ескермейтін 2D тапсырмасына дейін жеңілдетілген.



Сурет 4. CFD-қарастырылып отырған қанат пішінін талдау (2D), нәтиже – көтеру күші

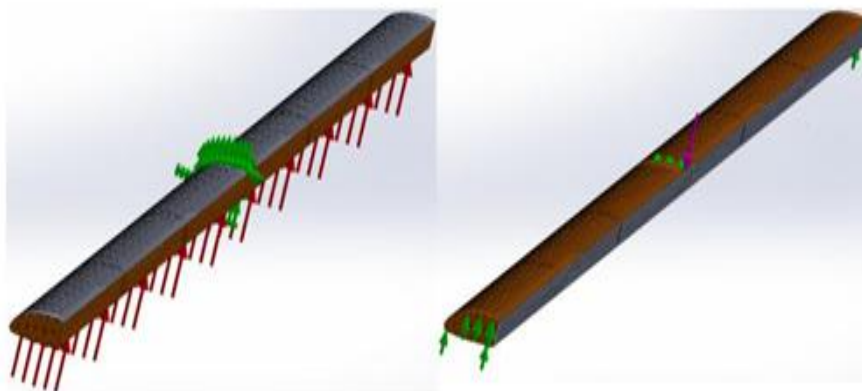
Жобаланған қанат геометриясы (үш өлшемді қатты күйдегі модель) ағынды модельдеу кезінде талданды және геометрия түрі одан әрі зерттеу үшін жүктемелердің мәндері мен түрлеріне қол жеткізу үшін беттік модельге ауыстырылды (композициялық дизайнды модельдеу, беріктікті талдау). Қанат құрылымын қарастырған кезде негізгі құрылымдық элемент - аэродинамикалық күштерді қолдану нәтижесінде пайда болатын иілу және бұралу жүктемелерін беру үшін қолданылатын ұшақ қанаты құрылымының бөлігі. Ол жабық жұқа формада орналасқан. Әрі қарай зерттеуге арналған композиттік құрылымның (имитациялық модульдің) дизайны көміртекті талшықты қаттылық шеттерімен толтырылған қанат қорабының беткі моделіне негізделген. Өндірілген қанат дизайны көміртекті талшық/эпоксидті материалдан жасалған, қалыңдығы 0,25 мм екі қабаттан тұратын симметриялы қабатты материалмен ұсынылған, материалдың координаттар жүйесіне қатысты 45° бұрылған (сур. 2).

Жобаланған қанаттың беріктігін талдау (SW Simulation) жүктеменің әртүрлі түрлерінен туындайтын шекаралық жағдайлардың екі жағдайына арналған. Қанатқа әсер ететін орташа қысым (763 Па) қанаттың ортасында орналасқан көтергіш күшпен және концентрация күшімен (315 Н) анықталады, 2,5 г шамадан тыс жүктеме күйін



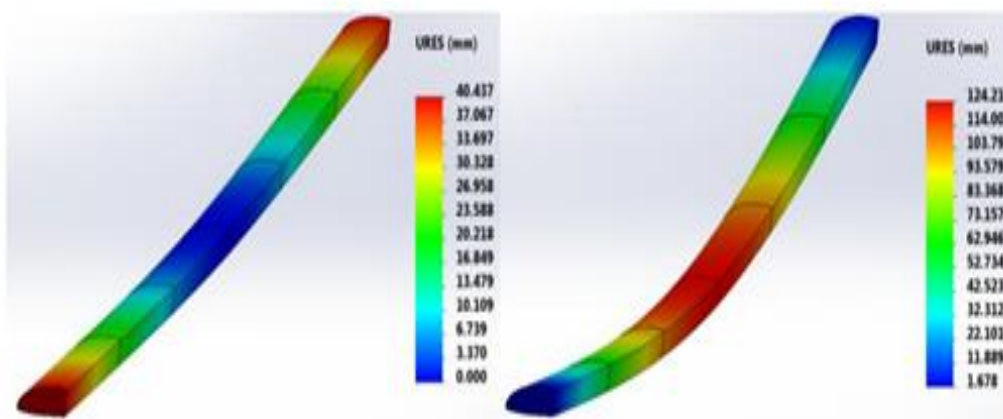
имитациялайды (қауіпсіздік мақсатында) (сур. 5). Талдау бүкіл модель бойынша біркелкі бөлінген соңғы элементтер торын құруды талап етеді (элементтің өлшемі 3,9 мм, төзімділік 0,18). Шекаралық шарттар 5-суретте сипатталған.

Сандық талдау үшін FFE Plus итеративті шешуші қолданылды. Бұл әдіс шешімді есептеу үшін жуықтау әдістерін қолданады және екі дәйекті шешім арасындағы айырмашылық айтарлықтай аз немесе берілген қателік шегінен асып кеткенше процесті қайталайды.



Сурет 5. Қолданылатын жүктемелердің 2 түрі үшін шекаралық шарттар

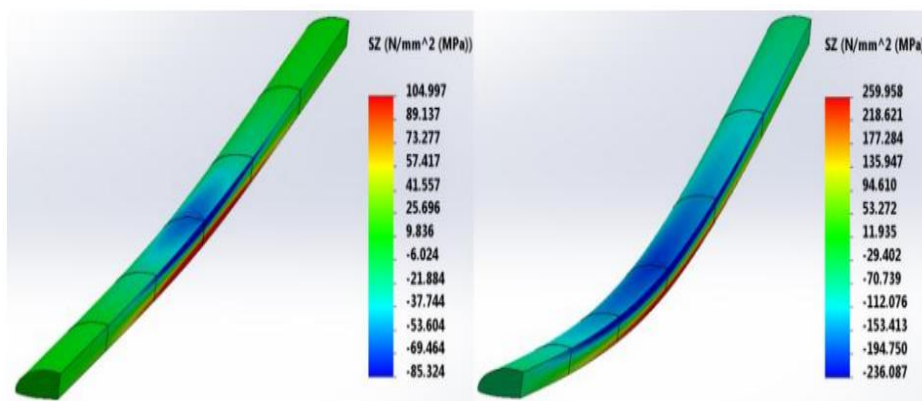
Зерттеу нәтижелерін түсіндіру қозғалыс диаграммасын талдаудан басталады (сур. 6). Қолданылатын күштер мен геометриялық шектеулердің әсерінен талданатын элементтің нәтижесінде орын ауыстыруын көрсетеді (қажетті осьтік орын ауыстыруды тексеруге болады). Статикалық сынақ шарттары ұшу жағдайларын (40 мм) модельдеумен салыстырғанда қанаттың ауытқуының 3 есе (124,2 мм) артуына әкелді. Құрылымның жоғары қаттылығына (аз иілу) қабаттың қалыңдығын арттыру, көбірек қабаттар қосу немесе қабаттардың бұралуын өзгерту арқылы қол жеткізуге болады.



Сурет 6. Көміртекті мата қабатының орын ауыстыруы (сол жақта: концентрацияланған жүктеме, оң жақта: қысу жүктемесі)

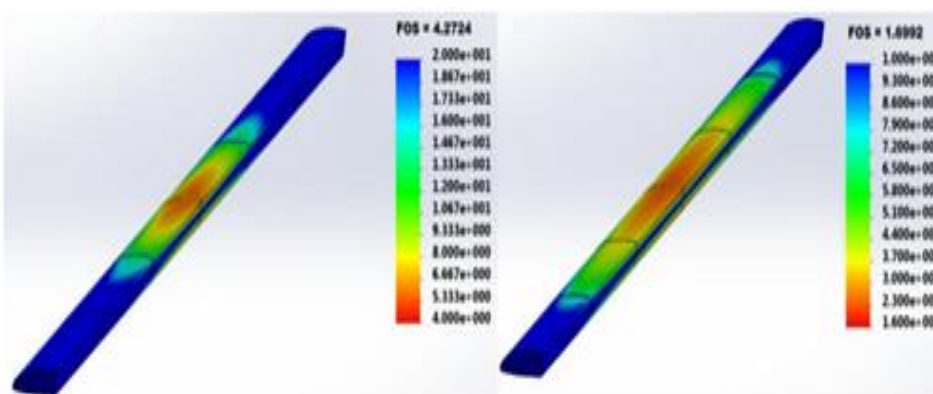
Төмендегі суретте кернеулердің ең жоғары мәндерінің таралуы және олардың зерттелетін құрылымда пайда болатын түрлері көрсетілген. Келесі суретте (сур. 7)

зерттелетін қанаттың көміртекті талшық қабатында пайда болатын созылу және қысу кернеулерінің мәндері мен таралуы көрсетілген. Жеке қабаттар үшін кернеу мәндерін тексеруге болады. Қанаттың ортасында қолданылатын шоғырланған күш статикалық сынақтардың болжамды жағдайларын имитациялады және кернеудің жоғары мәндерін тудырды - 260 МПа созылу кезінде және 236 МПа қысу кезінде. Басып шығару арқылы жүктеуді модельдеу. Созылу кернеуі негізінен құрылымның төменгі жағында, ал қысу кернеуі қанаттың жоғарғы жағында пайда болды.



Сурет. 7. Қарастырылып отырған құрылымның кернеуі созылуы және қысылуы

Соңғы бағаланған диаграмма Цай-Вудың істен шығу критерийлеріне сәйкес қанат дизайны бойынша қауіпсіздік коэффициентінің (FOS) таралуын көрсетеді (сурет. 8). Бұл критерий бұзылуды болжау үшін жалпы деформация энергиясын (деформация және кеңею энергиясы) ескереді. Бұл Цай-Хиллдің сыну критерийіне қарағанда консервативті, өйткені ол қысу мен созылу кезінде сыну беріктігін ажыратады. Цай-Ву сәтсіздік критерийі талшықтың істен шығуы және матрицаның істен шығуы сияқты әртүрлі сәтсіздік режимдерін болжай алмайды. Барлық қабаттар үшін минималды FOS мәні 1,6992 статикалық сынақтарды имитациялайтын зерттеуде алынды. 1,0-ден асатын беріктік коэффициенті ламинаттың сынбайтындығын көрсетеді.

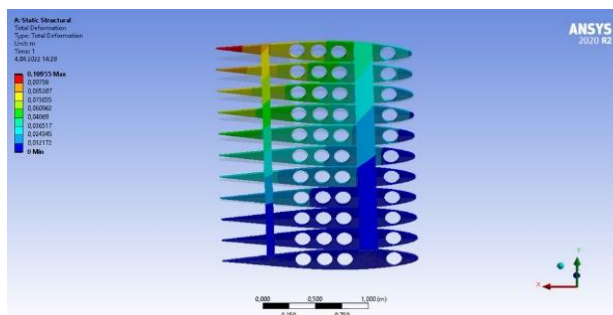


Сурет 8. Екі жүктемеден кейін көміртекті талшық қабатының қауіпсіздік коэффициенті (Цай-Ву стандарты)

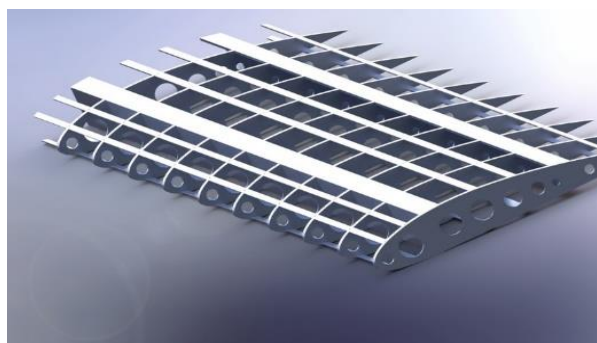


## Қорытынды

Жүргізілген талдаулар берілген геометрия мен қолданылатын материалдарға байланысты пайда болатын дизайн мен кернеудің әрекетін анықтауға мүмкіндік берді. Жиналған ақпарат дизайнерлерге жобанда көрсетілген талаптарға сәйкес құрылымдар жасауға көмектеседі. Композиттердің беріктігін талдау нәтижесінде алынған нәтижелер барлық қабаттардағы, қабат бағыты бойынша және қабат бұрышы бойымен максималды кернеуді, сондай-ақ әр қабаттың жоғарғы немесе төменгі бөлігіндегі кернеуді одан әрі бағалауға мүмкіндік береді. Қауіпсіздік мақсатында ламинат FPF (бірінші қабаттың бұзылуы) тудыратындай қатты жүктелмеуі керек. Композиттік қабаттың айналуын өзгерту арқылы элементтің бірдей массасында құрылымның үлкен беріктігіне (аз иілу) қол жеткізуге болады. Талданған көміртекті ламинат негізіндегі қанат дизайны Цай-Ву сыну критерийлеріне сәйкес келеді және барлық қабаттар үшін 1,6992 минималды FOS мәндеріне жетеді. Сах құралдарының көмегімен жаңа өнімді шығару шығындары айтарлықтай төмендейді. Қауіпсіздік мақсатында сандық талдау нәтижелерін эксперименттік мәліметтермен салыстыру керек. Ұсынылған тәсілді қолдана отырып, біз көміртекті мата-эпоксидті ламинаттарға негізделген ұшақ қанатының дизайнын жасадық (сур. 9, 10).

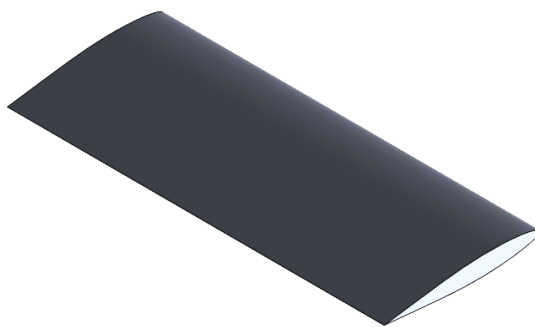


9 а)



9 б)

Сурет 9. SolidWorks модельдеу арқылы ұшақ қанатының дизайнын талдау:  
а) дизайнды талдау, б) Қанат қаңқасы



Сурет 10. 3d қанат моделі Air Challenge 2015

### Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Авторлар осы мақалада ұсынылған зерттеуге және олардың нәтижелеріне әсер етуі мүмкін қаржылық, жеке, авторлық немесе басқа сипаттағыларды қоса алғанда, осы зерттеуге қатысты мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді. Зерттеу қаржылық қолдаусыз жүргізілді.

### Авторлардың қосқан үлесі:

**Жакупова А.Е.** – идея авторы болып табылады, жұмыстың бағыты мен бастапқы мәліметтерді ұсынды.

**Калманова Д.М.** – мақаланың концепциясына, методологиясына үлес қосып, жұмысты аяқтады.

**Әнуар Ғ.А.** – жаңа мәліметтерді жинап, жұмысты редакциялауға үлес қосты.

### Әдебиеттер тізімі:

1. Чеунг Д. Композициялық материалдар-ғылым және қолдану. Springer 2010.
2. Лукашевич А. Өндірістік тәжірибеге арналған SolidWorks негізіндегі Сах оқыту. SolidWorks World 2010, Анахайм, АҚШ, б. 23.
3. Данкворт К., Вайдлих Р., Гюнтер Б., Блаурок Дж.Е. Сах-инженерлік білім тек АЖЖ емес. Автоматтандырылған дизайн, 36 Том, 2004, 1439-1450 ББ.
4. Васильев В.В. Композициялық материалдардан жасалған құрылымдардың механикасы. М.: Машина Жасау, 1988. 24-28 б.
5. Кіру режимі. <https://www.energovector.com/energogznaniebystree-vyshe-prochnee.html> / (өтініш берген күні: 03.12.2020).
6. Дмитриев В.Г., Чижов В.М. Ұшу аппараттарының беріктігі мен күш құрылымын жобалау негіздері. — М.: ЦАГИ, 2005. – 416 б.
7. Планшард С., Планшард М.: SolidWorks 2011 Оқу құралы. Шрофф даму корпорациясы, КС миссиясы, 2011 ж.
8. Ломбард М.: SolidWorks Bible 2010, Wiley Publishing, Индианаполис, АҚШ, 2010.
9. Гродзки В., Лукашевич А. Композиттік материалдарды қолдана отырып, ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ұшқышсыз ұшу аппараттарының) қанат құрылымын жобалау және өндіру. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 46 Том, № 3, 2015, 269-278 ББ.

10. Каракас Х., Коюнқу Э., Иналхан г. МЭС-тің құйрықсыз ұшқышсыз дизайны. Интеллектуалды және роботтық жүйелер журналы, 2013, 69 том, 131 бет.

11. Гродзки В., Лукашевич А. Ұшқышсыз ұшу аппаратын жобалау процесінде САХ құралдары. 1 бөлім аэродинамикалық талдау. Механик, 12 Том, 2013, 95-102 бб.

**А.Е. Жакупова, Д.М. Калманова, Ғ.А. Әнуар**

*Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан*

### **Повышение прочности композитного материала летательного аппарата**

**Аннотация.** Металлы широко используются в качестве предпочтительного материала для авиастроения с 1930-х годов. Основные металлы, используемые в аэрокосмической промышленности, варьируются от легированного и термически обработанного алюминия до титана, магния и суперсплавов, причем последние предназначены для специального использования. Однако изменения в конструкции самолета, особенно в отношении используемых материалов, начались в 1970-х годах, когда композитные материалы были введены в коммерческие самолеты. Одной из движущих сил увеличения использования композитных материалов является их способность создавать относительно легкие компоненты и аэродинамически спроектированные конструкции, которые снижают затраты на топливо, сохраняя при этом высокую прочность и производительность. Безопасность является важным фактором в авиации и, следовательно, имеет решающее влияние на выбор материалов. Поэтому при выборе материалов для конструкции самолета необходимо учитывать конструктивные параметры, такие, как вес и прочность, а также факторы безопасности, такие, как режимы отказов и производительность. Аэрокосмическая промышленность показывает, что при переходе на композитные материалы очень важно понимать, как относительно новые материалы реагируют на отказы и повреждения. В этой статье используется пример конструкции крыла самолета, чтобы продемонстрировать возможности моделирования композитных материалов в среде SolidWorks. О механических свойствах композитных материалов, используемых в самолетах, и о процессе моделирования таких конструкций пишут в SolidWorks. Целью этого исследования является моделирование вычислений потока и анализ надежности в SolidWorks Flow Simulation. Для каждого анализируемого типа нагрузки были получены различные значения смещения, напряжения и коэффициента безопасности.

**Ключевые слова:** композитный материал, прочность, летательный аппарат, SolidWorks, конструкция.

**A.Y. Zhakupova, D.M. Kalmanova, G.A. Anuar**

*L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan*

### **Increasing the strength of the composite material of the aircraft**

**Abstract.** Metals have been widely used as the preferred material for aircraft construction since the 1930s. The base metals used in the aerospace industry range from alloyed and heat-treated aluminum to titanium, magnesium and superalloys, the latter being designed for special use. However, changes

in the design of the aircraft, especially with regard to the materials used, began in the 1970s, when composite materials were introduced into commercial aircraft. One of the driving forces behind the increased use of composite materials is their ability to create relatively lightweight components and aerodynamically engineered structures that reduce fuel costs while maintaining high strength and performance. Safety is an important factor in aviation and therefore has a decisive influence on the choice of materials. Therefore, when choosing materials for the aircraft structure, it is necessary to take into account design parameters such as weight and strength, as well as safety factors such as failure modes and performance. The aerospace industry shows that when switching to composite materials, it is very important to understand how relatively new materials react to failures and damage. This article uses an example of an airplane wing design to demonstrate the capabilities of modeling composite materials in a SolidWorks environment. The mechanical properties of composite materials used in aircraft and the process of modeling such structures are written in SolidWorks. The purpose of this study is to simulate flow calculations and reliability analysis in SolidWorks Flow Simulation. For each analyzed load type, different values of displacement, voltage and safety factor were obtained for each analyzed load type.

**Keywords:** composite material, strength, aircraft, SolidWorks, construction.

## References

1. Heung D. Cheung D. Kompozitsionnoye materialovedeniye i primeneniye. [Composite materials-science and application]. (Springer 2010).
2. Lukashovich A. Obucheniye Cax na osnove SolidWorks dlya proizvodstvennoy praktiki. SolidWorks World 2010, Anaheim, AQŞ, b. 23. [SolidWorks based Cax training for manufacturing practice]. (SolidWorks World 2010, Anaheim, USA, p. 23).
3. Dankworth K, Weidlich R, Guenther B, Blaurock JE. Saks-inzhenernoye obrazovaniye eto ne tol'ko SAPR.. [Sax-engineering education is not only CAD]. (Automated Design, Vol. 36, 2004, pp. 1439-1450).
4. Vasiliev V.V. Mekhanika konstruksiy iz kompozitsionnykh materialov. [Mechanics of structures made of composite materials]. (M.: Mashina Zasu, 1988. p. 24-28).
5. Rezhim vkhoda. [Entry mode]. <https://www.energovector.com/energoznaniybystree-vysheprochnee.html> / (date of application: 03.12.2020).
6. Dmitriev V.G., Chizhov V. M. Osnovy proyektirovaniya silovykh i silovykh konstruksiy letatel'nykh apparatov. [Basics of designing strength and power structures of aircraft]. (M.: TsAGI, 2005. — 416 p).
7. Planshard S., Planshard M.: Uchebnik po SolidWorks 2011. [SolidWorks 2011 Tutorial. Shroff Development Corporation]. (KC Mission, 2011).
8. Lombard M.: [SolidWorks Bible 2010]. (Wiley Publishing, Indianapolis, USA, 2010).
9. Grodzki V., Lukashovich A. Proyektirovaniye i izgotovleniye konstruksii kryla bespilotnykh letatel'nykh apparatov (BPLA) s ispol'zovaniyem kompozitsionnykh materialov. . [Design and manufacture of the wing structure of unmanned aerial vehicles (UAVs) using composite materials]. (Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Vol. 46, No. 3, 2015, pp. 269-278).
10. Karakas H., Koyunku E., Inalkhan g. İnalxan g. Dizayn beskhvostogo drona ITU. Zhurnal intellektual'nykh i robotizirovannykh sistem. [Design of the ITU tailless drone. Journal of Intelligent and Robotic Systems]. (2013, Volume 69, Page 131).

11. Grodzki V., Lukashevich A. Instrumenty CAx v protsesse proyektirovaniya BPLA. [CAx tools in the UAV design process]. (Part 1 aerodynamic analysis. Mechanic, Volume 12, 2013, pp. 95-102).

**Авторлар туралы мәлімет:**

**А.Е. Жақупова** – техника ғылымдарының кандидаты, «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының доценті, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан, 8-705-356-39-19, mira7906@mail.ru.

**Д.М. Калманова** – корреспондент авторы, педагогика ғылымдарының кандидаты, «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан, 8-707-399-93-80, dinara\_kalmanova@mail.ru.

**Ғ.А. Әнуар** – техника ғылымдарының магистрі, «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан, 8-775-665-12-62, galym\_rma@mail.ru

**А.Е.Жақупова** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, 8-705-356-39-19, mira7906@mail.ru.

**Д.М. Калманова** – автор для корреспонденции, кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, 8-707-399-93-80, dinara\_kalmanova@mail.ru.

**Ғ.А. Ануар** – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, 8-775-665-12-62, galym\_rma@mail.ru

**А.У. Zhakupova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Space Technique and Technology of L.N. Gumilyov Eurasian national university, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan, 8-705-356-39-19, mira7906@mail.ru.

**D.M. Kalmanova** – corresponding author, Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department Space Technique and Technology of L.N. Gumilyov Eurasian national university, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan, 8-707-399-93-80, dinara\_kalmanova@mail.ru.

**G.A. Anuar** – master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department Space Technique and Technology of L.N. Gumilyov Eurasian national university, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan, 8-775-665-12-62, galym\_rma@mail.ru



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).