ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

ӘОЖ: 547.1-326
DOI 10.52167/1609-1817-2025-139-4-45-56

Г. Нысанбаева, А. Молдабеков, Б. Сериков
Civil Aviation Academy, Алматы, Қазақстан
E-mail: a.moldabekov@agakaz.kz

МҰЗДАНУҒА ҚАРСЫ СҰЙЫҚТЫҚТЫҢ ҚҰРАМЫН ФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ НЕГІЗІНДЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аңдатпа. Берілген мақала мұздануға қарсы сұйықтықтардың (МҚ) физикалық қасиеттерін жан-жақты зерттеуге, сондай-ақ тиімділігі жоғарылаған жақсартылған құрамды тәжірибелік әзірлеуге бағытталған. Зерттеу мақсаты, тұтқырлығы, тығыздығы және қолдану шарттары бойынша ерекшеленетін мұзданудың қарсы сұйықтықтардың ең көп таралған түрлерін — I және IV қамтиды. Атап айтқанда, I типті сұйықтықтар бұрыннан қалыптасқан мұз бен қарды ыстық ерітінділермен кетіру үшін, ал IV типті сұйықтықтар ұшақтың бетінде тұрақты қорғаныс қабықшасын жасау үшін қолданылады, бұл ұшу және ұшу кезінде мұздың пайда болуына жол бермейді. Жұмыстың бір бөлігі ретінде тығыздық, кинематикалық және динамикалық тұтқырлық, сондай-ақ кристалданудың ең төменгі температурасы сияқты негізгі физикалық параметрлердің зертханалық өлшемдері жүргізілді. Тығыздықты анықтау үшін зертханалық таразылар мен көлемді дәл мөлшерлейтін стакандар қолданылды. Тұтқырлықты өлшеу HPV4 капиллярлық вискозиметрдің көмегімен жүргізілді, ал кристалдану температурасы гликоль ерітінділерінің әр түрлі концентрациясында жарықтың сынуының өзгеруін тіркей алатын MEGEON 72012 рефрактометрінің көмегімен анықталды. Нәтижелер IV типті сұйықтықтардың жоғары тығыздықпен және тұтқырлықпен сипатталатынын көрсетті, бұл композицияның бетінде ұзағырақ сақталуына және сәйкесінше мұзданудың ұзақ сақталуына ықпал етеді. Сұйықтықтардың осы тобы үшін кристалдану температурасы -72 °С-қа дейін жетеді, бұл оларды қатал климаттық жағдайларда пайдалануға жарамды етеді. Сонымен қатар, I типті сұйықтықтардың тұтқырлығы төмен және тығыздығы төмен, бұл оларды көтерілу алдында бетті алдын ала өңдеуге жарамды етеді, бірақ операциялық қолдануды және көтерілу алдында аз уақыт терезесін қажет етеді.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде химиялық құрамды зерттеуді ғана емес, сонымен қатар физикалық қасиеттерді терең талдауды қамтитын жаңа мұзданудың қарсы құрамдарды әзірлеуге кешенді тәсілдің қажеттілігі туралы қорытындылар жасалды. Алынған мәліметтер негізінде авиациялық конструкцияларда қолданылатын жаңа материалдарды, соның ішінде жылу өткізгіштігі төмен композиттерді ескере отырып, сұйықтықтарды одан әрі оңтайландыру бағыттары ұсынылды.

Түйінді сөздер: мұздыққа қарсы арналған сұйықтық, тұтқырлық, вискозиметр, аэродинамика, ламинарлық және турбулентті ағын.

Кіріспе

Төменгі температурда және жоғарғы ылғалдықта әуе транспортарының мұздануы авиация саласында ең үлкен мәселелердің бірі болып келеді. Әуе кемелерінің маңызды құрылымдарында мұздың пайда болу қозғалтқыш қалақтарына, қаптамаларына және артқы жазықтықтарына үлкен зардаптар әклеуі мүмкін, яғни аэродинаимкалық

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

сипаттамаларның нашарлауы мен тартылыстың төмендеуі мүмкін, соған байланысты төтенше жағдайлар түзілуі жоғарлайды.

Заманауи әуе көліктері алыс қашықтарды жылдам және қықа уақытта ұшып өтуі, қоғам өміріне үлкен рөл атқарады. Сондықтан іуе кемелерінің ұшу қауіпсіздігін қамтамасыз ету ең алғашқы міндеттердің бірі болып саналады. Ұшу қауіпсіздігінің маңызды элементтерінің бірі болып мұздыққа қарсы өңдеу әдісі саналады.

Әуе кемелерінің беттік қабаттарында мұздықтардың болдырмауына ат салысатын ол арнайы химиялық қосылыстардан тұратын мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтар. Мұздыққа қарсы сұйықтықтар мақсатын және жұмыс жасау принциптеріне байланысты екі топқа бөлінеді.

1. De-icing (мұздануға қарсы сұйықтықтар) – яғни, беттік қабатта қалыптасқан мұздықтарды жоюға арналған әдіс. Бұл жерде мұздыққа қарсы сұйықтықтар жоғарғы температураға ие және ұшақтың бетіндегі мұздардың еруіне әсер етеді.

2. Anti-icing (мұзденуды болдырмайтын сұйықтықтар) – яғни, ұшақ беттік қабатында белгілі бір уақытқа дейін мұздардың қайта пайда болмайтынына әсер ететін әдіс. Осы сұйықтықтар әуе кемелерінің қанаттарында, қозғалтқыш қалақтарында жіне басқа да элементтерінде қолданылады.

Мұзденуға қарсы сұйықтықтар қолдануына байланысты бірнеше түрге бөлінеді;

1 түрі – бұл сұйықтық бірінші әдіске арналған мұздыққа қарсы арналған сұйықтық, олар әуе кемелерінің бетіндегі мұздар мен қарларды жоғары температуаларда (60-80^{0}C) тазартуға арналған. Бұл түрлері барлық ұшақтарға қолданылады.

2 түрі – бұл сұйықтықтар екінші әдіске арналған болып табылады, яғни әуе кемелерінің беттік қабаттырын қар және мұздан қорғайтын мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтар, көбнесе ұшу жылдамдығы жоғары үшақтар үшін арналған.

3 түрі – бұл сұйықтықтарда екінші әдіске қолданылады, бірақ ұшу жылдамдығы әлдеқайда төменболатын ұшақтарда пайдалынады. Бұл сұйықтықтардың тұтқырлығы екінші типті сұйықтықтардан төмен болып келеді, сондықтан ұшақтардың аэродинамикасын төмендетеді.

3 түрі – бұлда екінші әдіске арналған сұйықтықтар болып келеді, басқа типті сұйықтықтарға қарағанда тұтқырлығы жоғары болып келеді, сәйкесінше тек жылда ұатын ұшақтарға пайдалынады. Сонымен қатар мұздар мен қарларға ұзақ уақыт қарсы тұра алатын сұйықтықтардың бірі. Бірінші кестеде осы түрлердің қасиеттері мен сипаттамалары берілген

1 кесте

Сұйықтық түрі	Тағайындау	Тұтқырлық	Қолдану	Түсі	Ұшақтар
Түрі I	Мұз бен қарды шығару	Төмен	Тазалау	Қызғылт сары	Ұшақтардың барлық түрлері
Түрі II	Мұзданудың алдын алу	Орташа	Қорғау	Сары	Ұшу жылдамдығы жоғары ұшақтар
Түрі III	Баяу ұшақтарды қорғау	Орташа	Қорғау	Сары	Баяу ұшақтар

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

Түрі IV	Ұзақ мерзімді қорғаныс	Өте жоғары	Ұзақ мерзімді қорғаныс	Жасыл	Ұшу жылдамдығы жоғары ұшақтар

Гохаршенас Могадам және олардың әріптестері [1] мұздың жабысқақтығын төмендететін сұйықтықтар мен төменгі сутекті байланыс донорларын пайдалана отырып, жаңа сұйықтықтарды әзерлеуді көрсетті. Мұндай сұйықтықтар қоршаған ортаның температурасы -35^{0}С тқмен жағдайда өз қасиеттерін сақтай алатынын көрсетті. Линфен Чжао және бірлескен авторлар [4], өздерінің мақалаларында микроқұрылымды беттік мұздардың жабысқақтығын 60-80%-ға төмендету арқылы мұз, сұйық және қатты беттер арасындағы механизмдер туралы зерттеулерді қарастырды. Венфен және бірлескен авторлар [5] өздерінің инновациялық жұмыстарында қайта мұздарды пайда болуын туғызбайтын көп функциялы жабындыларды әзірлеу бағыты қарастырылған. Гришаев және бірлескен авторлардың [2] жұмыстарында әуе кемелерінің материалдарының жылу өткізгіштігі мен кедір-бұдырына мұздан тазартатын сұйықтықтардың әер ететіндігі көрсетілген, яғни жылу отқізгіштігі төмен композитті материалдардан жасалған беттік қабаттар мұздың қатуын жоғарлататыны анықталған. Сондықтан осындай материалдарға экологиялық және аспектілерге сәйкес келетін арнайы өрт сөндіргіш қондырғылар орнату керек. Ван және әріптестерінің [3] еңбектерінде -25^{0}С температурада және 30 минут бойы бетті қорғауды қамтамасыз ететін, сонымен қатар роелогиялық қасиетін сақтай алатын полиакрил қышқылымен және поливинилпирролидонмен қоюланған пропиленгликоль негізіндегі сұйықтық ұынылған, бұл әуежай аймығындағы қоршаған ортаға мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың әсерін төмендетеді.

Вея Цзя [6] және Хайфен Ци [7] жұмыстарында ыстық ауа ағындарының мұзданудан біркелкі қорғануға қамтамсыз ете алатын және әуе кемелерінің құрылымдарының беттеріндегі мұздың айналу жылдамдығының жоғарлауы, мұздың қалыңдығын төмендетінін қарастыратын сандық моделдеу әдісі әзерленіп талданды. Чжао және т.б. [8] зерттеулерінде 20 минуттан артық тұра алатын супергидрофобты жабындылардың тиімділігі зертелініа қарастырылды. VOF моделін қарастыра отырып Кесумен Аттарзаде мен Әли Долатабади [9] ауақалталарын микроқұрылымды беттерде микротамшылардың қату уақытының ұзаратынын және мұздан тазартатын жабындылардың тиімділігі арттатынан сандық әдістер арқылы тәжірибе жүзінде дәлелдеді. Ал Мелоди Дж және әріптестері [10] сыртқы датчиктердің деректері негізінде мұздың қалыңдығын анықтау арқылы жылу жүйелерін уақытында қосуға және авиациялық апаттардың алдын алуға болатынын көрсетті. Осы шешімдер әуе кемелерін жобалау және пайдалану кезінде мұздыққа қарсы сұйықтықтарды және арнайы жылу жүйелерін дұрыс қолдану ұшу қауіпсіздігін арттырады.

Материалдар мен тәсілдер.

Зерттеу барысында қарапайым өлшемдеріне қарамастан мұздыққа қарсы сұйықтардың қату температурасын өлшеуге арналған MEGEON 72012 рефрактометрі қолданылды, әсіресе суық мезгілдерде бұл қондырғы сұйықтықтардың қасиеттерін тез және жоғары дәлдікпен анықтай алады. Оның жұмыс жасау принципі жарықтың сыну көрсеткішін өлшеуге арналған. Басқа сандық құрылғылардан айырмашылығы MEGEON 72012 батареяларды қажет етпейді және толығымен механикалық оптикалық болып келеді, яғни, кез келген суық ауа райында сенімді, ақаусыз жұмыс жасай береді. MEGEON 72012 ұш ерекшілігі бар. Бірінішісі этиленгликольді төмен температураларда өлшеу мүмкінділігі, екіншісі пропиленнгликолді, ал ұшіншісі электролитт тығыздығын

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

өлшеу мүмкіндігі. Этиленгликольді өлшеу көрсеткіші 0-ден 70-ке дейін, пропиленгликолді 0-ден 60-қа дейін, ал электролит тығыздығын 1,10-1,40 г/см^3 болады. MEGEON 72012 рефрактометрі автоматты түрде өтеу қабілеттілігімен жабдықталған және оны пайдалану оңай болып келеді. Шыны призмаға бір тамшы сұйықтық тамызып оны арнайы қақпақпен жауып, окуляр арқылы қараймыз. Өріс арасындағы шекараны жарық пен қараңғы арасын бөліп тұрған шкаладан анықтаймыз. Дәлірек фокустау үшін реттеу сақинасын бұрауға болады. Аспапты қайта калибрлеу үшін дистелденген су және арнайы сұйықтықпен жүзеге асырамыз.

Сұйықтықтың тұтқырлығын өте нәзік және тура дәлелдік капиллярлық HSV-4 шыны вискозиметрмен зерттедік. Бұл аспаптың жұмыс жасауы басқа да аспаптардың жұмыс жасау реттілігіне сәйкес келеді. Бірақ HSV-4 аспабының өзіндік бір ерекшілігі бар, яғни U тәрізде болуы. Жұмыс жасау принципі, капилярлы түтік резервуарға қосылыған соң бағанаға қысым жібереміз, сол кезде алғашқы тамшы пайда болады. Бұл тұрақты кинематикалық тұтқырлықты анықтауға таптырмас құрал болып келеді. Оны өлшеу оңай жүреді, бірақ ұқыптылықты қажет етеді. Арнайы термостатқа 22^{0}Ста капиллярымызды саламыз, екінші жағын бағанаға байлаймыз, содан кейін түтік арқылы қысым жіберіп сорамыз, тоқтаған соң боастамыз, сол кезде сұйықтық төмен қарай жылжыйды, соны жазып аламыз. Еептеу формуласы қарапайым:

$$V = (g/9{,}807)\cdot T\cdot K, \quad (1)$$

мұндағы g — ауырлық күшінің үдеуі

Т — уақыт, секундпен

ал К — түтіктің тұрақты шамасы, мм2/с2-мен өрнектеледі

осы формула арқылы сұйықтықтардың кинематикалық тұтқырлығын анықтауға болады.

Нәтижелер және талқылау.

Мұздануға қарсы арналған сұйықтықтардың тығыздығы

Мұздануіа қарсы арналған сұйықтықтардың тығыздығын анықтау үшін арнайы зертханалық таразыға арнайы сұйықтық құйылған 4мл-лік стакан орналыстырылып, жалпы салмағы анықталды, содан кейін сұйықтықты алып тастап таза стаканның массасы өлшенді. Тығыздығын анықтау үшін келесі формула қолданылды:

$$\rho = \frac{m_{\text{сұйықтар}}}{V_{\text{сұйықтар}}} \quad (2)$$

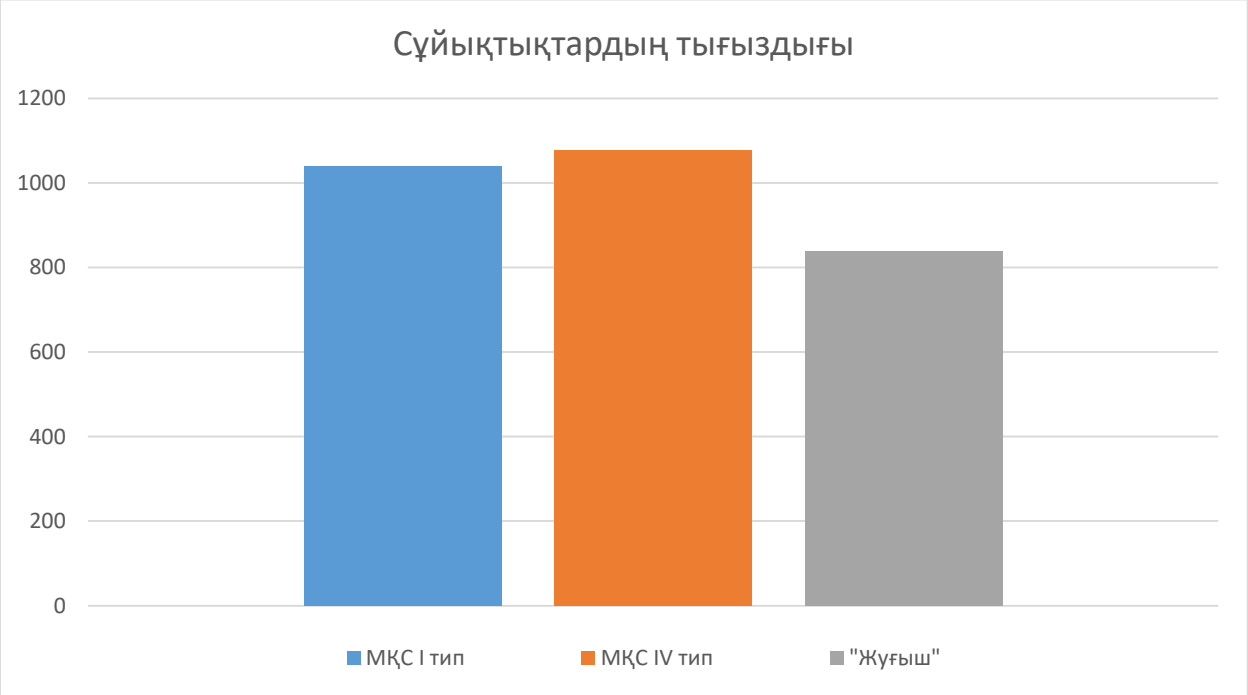
Жалпы мұздыққа қарсы сұйықтықтардың тығыздығы, олардың ең негізгі қасиеттерінің бірі болып келеді. Тығыздығы жоғары болғаны қар және мұздардан қорғауға тиімді екенін көрсетеді. Гистрграммада көрсетілгендей әр түрлі мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың тығыздығы әр түрлі болып келеді. Нәтижесінде, мұздыққа қарсы қолданылатын сұйықтықтар өз фунцияларын толықтай атқара алады.

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

1 сурет - 4 типті мұздыққа қарсы арналған сұйықтың массасын өлшеу

2 сурет - 1 типті мұздыққа қарсы арналған сұйықтың массасын өлшеу

Осы тәжірибе кезінде келесі нәтижелер алынды:



Гистограмма 1 - Сұйықтықтардың тығыздығы

Мұзданuға қарсы арналған сұйықтықтардың тұтқырлығы.

Әуе кемелерінің беттік қабаттарында мұзданuға қарсы арналған сұйықтықтардың тұтқырлығы, оның уақыт бойынша өзгеруімен бүкіл бетке таралуын көрсететін физикалық қасиет болып табылады. Сұйықтықтардың тұтқырлық құрамы олардың белгілі бір өзгерістерге байланысты өзгеруі мүмкін, егерде сұйықтықтарға еріткіштер қосылса немесе қоршаған ортаның температурасы әсер беруі мүмкін.

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

3 сурет - 4 типті мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтың тұтқырлығын анықтау

4 сурет - 1 типті мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтың тұтқырлығын анықтау

Мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың тұтқырлығы жоғарласа немесе азайса, онда ол әуе кемелерінің ұшу аэродинамикасына тікелей әсер беруі мүмкін. Жоғарыда айтып кеткендей, сұйықтықтарды арнайы вискозимтермен тәжірибе жасадық. Мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтың тұтқырлығын анықтау үшін алынған нәтижелерді заттардың вискозиметрлерге арналған нұсқаулықтан, кинетикалық тұтқырлығын анықтау формуласын қолдандық. Тәжірибе Т-26^{0}С температурада жүргізілінді.

Кинематикалық тұтқырлық формуласы:

$$\nu = \frac{g}{9{,}807} * T * K \text{ немесе } \nu = \frac{\eta}{\rho} \qquad (3)$$

мұнда, g – Алматы қаласының ауырлық күшінің әсерінен болатын үдеу. (9,801 м/с^2)

T – секундтардағы сұйықтықтың ағу уақыты[с]

K – вискозиметрдің тұрақты мәні 0,01041 [мм^2/с^2]

η– динамикалық тұтқырлық [Па • бастап]

ρ– заттың тығыздығы [кг/м^3]

Алынған нәтижелерді 2 кестеден көруге болады

2 кесте - Мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың кинематикалық тұтқырлығы

Сұйықтықтың атауы	Заттың кинематикалық тұтқырлығы
I түрі	9,57 * 10^{-7} м^2/с немесе 9,57 * 10^{-1} сСт
IV түрі	2,75 * 10^{-6} м^2/с немесе 2,75 сСт
Жуғыш	1,01 *10^{-6} м^2/с немесе 1,01 сСт

Мұздыққа қарсы сұйықтықтың тұтқырлығын толық тексеру үшін 1 типті сұйықтықтың температурасын 70^{0}С-қа дейін көтердік, өйткені 1 типті мұздыққа қарсы

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

арналған сұйықтық 70^0С-да сумен араластырылып ұшақтың беттік қабаттарын тазартуға арналады. Нәтижесі 3 кестеде көрсетілген

3 кесте - 1 типті мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтың 70^0С-тағы кинематикалық тұтқырлығы

Сұйықтықтың атауы	Заттың кинематикалық тұтқырлығы
I түрі	$3{,}51 * 10^{-6}$ м^2/ с немесе 3,51 сСт

Екінші кестеде алынған нәтижелерге сүйене отырып зерттеу жұмысының динамикалық тұтқырлығын келесіформула арқылы анықтауға болады:

$$\eta = \nu * \rho \quad (4)$$

Алынған динамикалық нәтижелер 4 кестеде көрсетілген:

4 кесте - Мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың динамикалық тұтқырлығы

Сұйықтықтың атауы	Заттың динамикалық тұтқырлығы
I түрі	$9{,}83 * 10^{-1}$ мПа*с немесе $9{,}83 * 10^{-3}$ Пз
IV түрі	2,96 мПа*с немесе $2{,}96 * 10^{-2}$ Пз
Жуғыш	$8{,}47 * 10^{-1}$ мПа*с немесе$8{,}47 * 10^{-4}$ Пз

Тәжірибелер нәтижесінде 4 типті мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтың тұтқырлығы жоғары болып келді, яғни әуе кемелерінің беттік қабаттын ұзақ уақыт мұзданудан сақтап тұруға қабілетті екенін анықтауға болады. Сонымен қатар, 1 типті мұздыққа қарсы арналған сұйықтық ұшақ бетінен тез ағып кететіні көрсетілген, яғни оны алғашқы әдіске толықтау қолдануымызға болады. Автокөлікке арналған жуғышпен салыстрғанда әуе кемелеріне арналған мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтың арасында аралық тұтқырлық бар екенін көруге болады.

Мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың кристаллдану температурасы.

Әуе кемелерінде қолдынылатын мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың кристаллдану температурасы сұйықтықтардың маңызды сипаттаммаларының бірі болып келеді. Кез кезген мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтарды қар мен мұзға қарсы тұра алатын жағдайы болу керек. Егер де кристалдану температурасы төмен болса, онда әуе кемелерінің беттік қабатын қар мен мұздан қорғау қиын болады, яғни ұшақты басқаруда қиындықтау туу мүмкін. Бұл тәжірибеде сұйықтықтар кристалдана бастайтын, яғни қорғаныс қабілетін жоғалтатын төменгі температурасы қарастырылды. Мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың кристалдану температурасын анықтау үшін рефрактометрі қолдандылды. Рефрактометр ретінде MEGEON 72012 аспабы қарастырылды.

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

5 сурет - Рефректометр MEGEON 72012

6 сурет - 1 типті мұздыққа қарсы арналған сұйықтың кристалдану температурасын анықтау

Мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың кристаллдану температурасын рефрактометрмен анықтау нәтижелері 5 кестеде келтірілген

5 кесте - Кристаллдану температурасы

Сұйықтықтың атауы	Өрттің ең төменгі температурасы.
I түрі	-68°
IV түрі	-72°
Жуғыш	-40°

Осы келтірілген нәтижелерге сүйене отырып 1 типті сұйықтық әуе кемелерінің беттік қабатын қорғау үшін ең оңтайлы болып келеді, бірақ 4 типті сұйықтықтың тұтқырлығын ескере отырып және сұйықтық ұшақтың ұшу кезінде олардың беттік қабатына өте жақсы жайылуна байланысты 4 типті сұйықтықты мұзданууға қарсы ең жақсы нәтиже көрсететін атап көрсетуміз міндетті. Ал автокөлікке арналған жуғыш -400С-та кристаллану температурасы болғанмен ұшақтың беттік қабатының қорғаныс талаптарына сәйкес болмауына байланысты әуе кемелеріне мұздыққа қарсы сұйықтық ретінде қолданыла алмайды.

Қорытынды

Зерттеу барысында әуе кемелерінде көп қолданылатын мұздыққа қарсы сұйықтықтармен қатар автокөліктерде пайдалыналтын жуғыш зат салыстырылды. Осы тәжірибе кезінде мұздыққа қарсы сұйықтықтар мен автокөлік жуғыштың келесі физикалық параметрлері анықталды (тығыздығы, тұтқырлығы, кристаллдану

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

температурасы). Бұл жұмыс мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың эталондық сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік берді.

Біз өзіміздің гипотезамызды растадық және мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың физикалық қасиеттерін зерттей отырып жаңа сұйықтық құру векторын анықтай алдық. Сұйықтықтардың физикалық сипаттамаларын зерттей келе олардың құрамы мен түрлерінің айырмашылықтарын растадық.

Қорытындылай келе, мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтардың физикалық қасиеттері олардың тиімділігіне, сондай-ақ қолдану аясына тікелей әсер етеді және мұздыққа қарсы арналған сұйықтықтарды жетілдіру үшін бұл жұмыстың химиялық бөлігін дамыту қажет екенін түсінуге мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Saba Goharshenas Moghadam, Gelareh Momen, Reza Jafari. Ice Reactive Coatings: Assessing the Effect of Hydrogen Bond Donors on the De-icing Performance of Deep Eutectic Solvents/Ionic Liquids // Progress in Organic Coatings. – Vol. 151. – 2021. – Article 106052. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106052.

[2] Viktor Grigorievich Grishaev et al. Efficiency of anti-icing fluid on substrates with different thermal conductivity and roughness // Cold Regions Science and Technology. – Vol. 180. – 2020. – Article 103159. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103159.

[3] Y. Wang et al. Water/glycol based anti-icing fluids thickened with poly(acrylic acid) and poly(vinylpyrrolidone) // Journal of Applied Polymer Science. – Vol. 137. – No. 12. – 2020. – Article 48532. https://doi.org/10.1002/app.48532.

[4] Linfeng Zhao et al. Solid-liquid-ice interfaces for anti-icing materials // Advanced Materials Interfaces. – Vol. 8. – No. 1. – 2021. – Article 2001282. https://doi.org/10.1002/admi.202001282.

[5] Wenfeng Qin et al. Multifunctional MXENE/CNT based laminated film for ice detection, ice prevention and ice removal // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – Vol. 134. – 2020. – Article 105916. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.105916.

[6] Wei Jia et al. Numerical and experimental study of icing of a rotating vane by supercooled large drops // Aerospace Science and Technology. – Vol. 108. – 2021. – Article 106392. https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106392.

[7] Haifeng Qi et al. Numerical studies of icing characteristics of aircraft engines under mixed phase conditions // Applied Thermal Engineering. – Vol. 183. – 2021. – Article 116119. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116119.

[8] Y. Zhao et al. Review of modern literature on icing phenomena: mechanisms of transfer, their modulations and control // Surface and Coatings Technology. – Vol. 394. – 2020. – Article 125888. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125888.

[9] Reza Attarzadeh, Ali Dolatabadi. Ice-repellent properties of superhydrophobic coatings: numerical analysis // International Journal of Heat and Mass Transfer. – Vol. 162. – 2020. – Article 120357. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120357.

[10] Melody J. W. et al. Definition of parameters for detection and characterization of aircraft icing in flight // Aerospace Science and Technology. – Vol. 106. – 2020. – Article 106174. https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106174.

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

REFERENCES

[1] Saba Goharshenas Moghadam, Gelareh Momen, Reza Jafari. Ice Reactive Coatings: Assessing the Effect of Hydrogen Bond Donors on the De-icing Performance of Deep Eutectic Solvents/Ionic Liquids // Progress in Organic Coatings. – Vol. 151. – 2021. – Article 106052. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106052.

[2] Viktor Grigorievich Grishaev et al. Efficiency of anti-icing fluid on substrates with different thermal conductivity and roughness // Cold Regions Science and Technology. – Vol. 180. – 2020. – Article 103159. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103159.

[3] Y. Wang et al. Water/glycol based anti-icing fluids thickened with poly (acrylic acid) and poly(vinylpyrrolidone) // Journal of Applied Polymer Science. – Vol. 137. – No. 12. – 2020. – Article 48532. https://doi.org/10.1002/app.48532.

[4] Linfeng Zhao et al. Solid-liquid-ice interfaces for anti-icing materials // Advanced Materials Interfaces. – Vol. 8. – No. 1. – 2021. – Article 2001282. https://doi.org/10.1002/admi.202001282.

[5] Wenfeng Qin et al. Multifunctional MXENE/CNT based laminated film for ice detection, ice prevention and ice removal // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – Vol. 134. – 2020. – Article 105916. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.105916.

[6] Wei Jia et al. Numerical and experimental study of icing of a rotating vane by supercooled large drops // Aerospace Science and Technology. – Vol. 108. – 2021. – Article 106392. https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106392.

[7] Haifeng Qi et al. Numerical studies of icing characteristics of aircraft engines under mixed phase conditions // Applied Thermal Engineering. – Vol. 183. – 2021. – Article 116119. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116119.

[8] Y. Zhao et al. Review of modern literature on icing phenomena: mechanisms of transfer, their modulations and control // Surface and Coatings Technology. – Vol. 394. – 2020. – Article 125888. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125888.

[9] Reza Attarzadeh, Ali Dolatabadi. Ice-repellent properties of superhydrophobic coatings: numerical analysis // International Journal of Heat and Mass Transfer. – Vol. 162. – 2020. – Article 120357. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120357.

[10] Melody J. W. et al. Definition of parameters for detection and characterization of aircraft icing in flight // Aerospace Science and Technology. – Vol. 106. – 2020. – Article 106174. https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106174.

Gulnur Nysanbayeva, PhD, associate professor, Civil Aviation Academy, Almaty, Kazakhstan, gulnur.83.29@mail.ru

Aidos Moldabekov, candidate of chemical sciences, associate professor, Civil Aviation Academy, Almaty, Kazakhstan, a.moldabekov@agakaz.kz

Darkhan Serikov, student, Civil Aviation Academy, Almaty, Kazakhstan, serickov.daxa@yandex.ru

OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF ANTI-ICING FLUID BASED ON THE STUDY OF ITS PHYSICAL PROPERTIES

Abstract. This article is aimed at a comprehensive study of the physical properties of anti-icing fluids (AIFs), as well as the experimental development of an improved composition with increased efficiency. The study covers the most common types of AIFs - I and IV, which

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

differ in purpose, viscosity, density and application conditions. In particular, type I fluids are used to remove already formed ice and snow using hot solutions, and type IV fluids are used to create a stable protective film on the aircraft surface, preventing the formation of ice during takeoff and the beginning of the flight. The work included laboratory measurements of key physical parameters such as density, kinematic and dynamic viscosity, and minimum crystallization temperature. Laboratory scales and a graduated cylinder with an accurate volume dosage were used to determine the density. Viscosity measurements were performed using a VPZh-4 capillary viscometer, and the crystallization temperature was determined using a MEGEON 72012 refractometer, capable of recording changes in light refraction at different concentrations of glycol solutions. The results showed that Type IV fluids are characterized by higher density and viscosity, which contributes to longer retention of the composition on the surface and, accordingly, longer protection against icing. The crystallization temperature for this group of fluids reaches -72 °C, which makes them suitable for operation in severe climatic conditions. At the same time, Type I fluids have lower viscosity and lower density, which makes them suitable for preliminary surface treatment before takeoff, but requires prompt application and a shorter time window before takeoff.

As a result of the conducted research, conclusions were made about the need for a comprehensive approach to the development of new anti-icing compounds, including not only the study of the chemical composition, but also a deep analysis of the physical properties. Based on the data obtained, directions for further optimization of liquids were proposed, considering new materials used in aircraft structures, including composites with low thermal conductivity.

Keywords: anti-icing fluid, viscosity, viscometer, aerodynamics, laminar and turbulent flow.

Гүлнұр Нысанбаева, PhD, доцент, Civil Aviation Academy, Алматы, Казахстан, gulnur.83.29@mail.ru

Айдос Молдабеков, к.х.н., ассоциированный профессор, Civil Aviation Academy, Алматы, Казахстан, a.moldabekov@agakaz.kz

Дархан Серіков, студент, Civil Aviation Academy, Алматы, Казахстан, serickov.daxa@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПРОТИВОГОЛОЛЕДНОЙ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Аннотация. Целью данной статьи является комплексное исследование физических свойств противообледенительных жидкостей (ПОЖ), а также экспериментальная разработка усовершенствованного состава с повышенной эффективностью. В исследовании рассматриваются наиболее распространённые типы ПОЖ – I и IV, различающиеся вязкостью, плотностью и условиями применения. В частности, жидкости типа I используются для удаления ранее образовавшегося льда и снега горячими растворами, а жидкости типа IV – для создания устойчивой защитной плёнки на поверхности самолёта, предотвращающей образование льда вовремя и в начале полёта. Работа включала лабораторные измерения таких основных физических параметров, как плотность, кинематическая и динамическая вязкость, минимальная температура кристаллизации. Для определения плотности использовались

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №4 (139) 2025

лабораторные весы и мерный цилиндр с точной объёмной дозой. Измерения вязкости проводились с помощью капиллярного вискозиметра ОС-4, а температура кристаллизации – с помощью рефрактометра MEGEON 72012, способного регистрировать изменения интенсивности света при различных концентрациях гликолевых растворов. Результаты показали, что жидкости типа IV характеризуются высокой плотностью и вязкостью, что способствует длительному удержанию состава на поверхности и, соответственно, длительной защите от обледенения. Температура кристаллизации для этих групп жидкостей достигает -72 °C, что делает их пригодными для эксплуатации в суровых климатических условиях. Кроме того, жидкости типа I обладают низкой вязкостью и небольшой плотностью, что делает их пригодными для предполетной обработки поверхности, но требуют быстрого нанесения и короткого времени до полета. В результате проведенных исследований сделаны выводы о необходимости комплексного подхода к разработке новых противообледенительных составов, включающего изучение не только их химического состава, но и глубокий анализ физических свойств.

На основании полученных данных предложены направления дальнейшей оптимизации жидкостей с учетом новых материалов, применяемых в конструкциях самолетов, в том числе композитов с низкой теплопроводностью.

Ключевые слова: противообледенительная жидкость, вязкость, вискозиметр, аэродинамика, ламинарное и турбулентное течение.

Қабылданған күні: 2024 жылғы 28 тамыз
Рецензиядан өткен күні: 2025 жылғы 03 шілде
Мақұлданған күні: 2025 жылғы 08 тамыз