

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Бойченко С.В., Шкільнюк І.О.,
Жолтайли С.Ю., Яковлєва А.В.**

АВІАЦІЙНІ ПАЛИВА: ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ. ДОВІДНИК

Рекомендовано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2025

УДК 665.753.035(035)
А20

*Рекомендовано до друку
Вченою радою
(протокол № 7 від 30 червня 2025 року)*

Рецензенти:

Мікосянчик О.О., завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Аерокосмічного факультету Державного університету “Київський авіаційний інститут”, доктор технічних наук, професор

Pavol Kurdel, Prof., Faculty of Aeronautics, Technical University of Kosice, PhD

Oleksandr Zaporozhets, Centre of Aviation Technologies of the Łukasiewicz Research Network – Institute of Aviation, Doctor of Technical Sciences, professor

Бойченко С.В.

А20 Авіаційні палива: властивості та якість: **Довідник** / Бойченко С.В., Шкільнюк І.О., Жолтайли С.Ю., Яковлева А.В. *За загальною редакцією професора Бойченка С.В.* – Київ: Центр учбової літератури, 2025. – 239 с.

ISBN 978-611-013-587-0

Довідник має загальнотехнічний характер. Буде корисним для авіаційних техніків, лаборантів, інженерно-технічного складу системи авіапаливозабезпечення, служб забезпечення паливом і експлуатаційними матеріалами для раціональної експлуатації авіаційної техніки, у тому числі наземних машин і обладнання для забезпечення польотів. Також буде корисним методичним і довідниковим посібником для студентів (курсантів) навчальних закладів військової та цивільної авіації. Значної уваги приділилось інформації щодо основних параметрів та стандартних вимог до якості авіаційних палив і практичним аспектами взаємозв'язку з експлуатаційними властивостями.

УДК 665.753.035(035)

ISBN 978-611-013-587-0

© Бойченко С.В., Шкільнюк І.О.,
Жолтайли С.Ю., Яковлева А.В. 2025.
© КПІ ім. Ігоря Сікорського (НН ІЕЕ),
2025.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	7
Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВЛАСТИВОСТІ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ	10
Розділ 2. ЯКІСТЬ АВІАЦІЙНИХ БЕНЗИНІВ	75
2.1 Стандартні вимоги до авіаційних бензинів	75
2.1.1 Вуглеводневі неетиловані авіаційні бензини (UL91, UL94)	75
2.1.2 Неетиловані авіаційні бензини, що містять неуглеводневі компоненти (UL82, UL87)	80
2.1.3 Етиловані авіаційні бензини (100VLL, 100LL, 100)	84
2.1.4 Авіаційний неетилований бензин з високим вмістом ароматичних вуглеводнів UL102	91
2.2 Додатки (присадки) до авіаційних бензинів	96
Розділ 3. ЯКІСТЬ ПАЛИВ ДЛЯ ГТД.....	104
3.1 Номенклатура палив для ГТД.....	104
3.2 Стандартні вимоги до якості реактивних палив	104
3.2.1 Вимоги до палив JET A, JET A-1 за ASTM D1655.....	104
3.2.2 Вимоги до авіаційних палив марок JetA та JetA-1 за ASTM D 7566.....	112
3.2.3 Вимоги до якості палив марок TC-1 та PT	121
3.2.4. Вимоги до якості палив марок F-40 (JP-4) і F-44 (JP-5).....	124
3.2.5. Вимоги до якості палив марок JP-8 (F-34), F-35 та JP-8+100 (F-37)	133
3.3 Додатки (присадки) до складу авіаційних палив	145
3.3.1 Номенклатура присадок (додатків) до складу авіаційних палив	145
3.3.2 Принципи підбору присадок (додатків)	151

3.3.2.1 Присадки та добавки об'ємної дії.....	155
3.3.2.2 Присадки та добавки поверхневої дії	158
3.3.3 Допустимі межі присадок (додатків) у складі авіаційних палив згідно вимог ASTM і NATO	166
3.3.3.1 Добавки (присадки) JET A	166
3.3.3.2 Добавки (присадки) для JET A-1	170
3.3.3.3 Добавки (присадки) для JetA та JetA-1 за стандартом ASTM D 7566	174
3.3.3.4 Добавки (присадки) для JET A-1/F-35	177
3.3.3.5 Добавки (присадки) для JP-4.....	180
3.3.3.6 Добавки (присадки) для F-44/JP-5	182
3.3.3.7 Добавки (присадки) для F-34/JP-8 та F-37.....	186
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	
ДОДАТКИ.....	194
Додаток 1. Основні терміни та визначення.....	194
Додаток 2. Схвалені види палива для реактивних двигунів та їх основні характеристики.....	200
Додаток 3. Клас небезпеки, ГДК та характеристики пожежонебезпеки моторних палив	201
Додаток 4. Значення коефіцієнта a для визначення ентальпії рідких нафтопродуктів (до формули (1.44))	202
Додаток 5. Значення коефіцієнта a для визначення ентальпії пари нафтопродуктів (до формули (1.48))	204
Додаток 6. Вплив змін показників якості палив на роботу двигунів	206
Додаток 7. Методи тестування, що використовуються для випробувань авіаційного палива.....	209
Додаток 8. Основні показники якості рідких палив та їх зв'язок з експлуатаційними характеристиками двигунів.....	216
Додаток 9. Стандартна практика оцінки нових авіаційних турбінних палив та паливних додатків за стандартом ASTM D 4054-22	233

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВДЕ – відновлювані джерела енергії
ГДК – гранично допустима концентрація
ГТД – газотурбінний двигун
ПРД – повітряно-реактивний двигун
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання
НПЗ – нафтопереробний завод
ДСТУ – Державний стандарт України
ККД – коефіцієнт корисної дії
ЛА – літальний апарат
НД – нормативний документ
ОЧ – октанове число
ПАР – поверхнево-активні речовини
ПММ – паливно-мастильні матеріали
ППС – паливно-повітряна суміш
ПС – повітряне судно
ТЕС – тетраетилсвінець
ТМС – тетраметилсвінець
ТНП – тиск насиченої пари
АО – Antioxidant (антиоксидант)
API (°API) – American Petroleum Institute gravity (градус API – міра густини нафтопродуктів)
ASTM – American Society for Testing and Materials (Американське товариство з випробування матеріалів)
AVCAT – Aviation Kerosene, NATO term (авіаційний гас, термін НАТО)
AVTUR – Aviation Turbine Fuel (авіаційне турбінне паливо)
CGSB – Canadian General Standards Board (Канадська генеральна служба стандартів)
CI/LI – Corrosion Inhibitor / Lubricity Improver (інгібітор корозії / покращувач змащення)
DEF STAN – Defence Standard (Оборонний стандарт, Велика Британія)
FSII – Fuel System Icing Inhibitor (інгібітор обледеніння паливної системи)
FT-SPK – Fischer-Tropsch Synthesized Paraffinic Kerosene (синтезований парафіновий гас за методом Фішера-Тропша)

HEFA-SPK – Hydroprocessed Esters and Fatty Acids – Synthesized Paraffinic Kerosene (гідрооброблені естери та жирні кислоти – синтезований парафіновий гас)

HRJ – Hydrotreated Renewable Jet Fuel (гідроочищене відновлюване авіаційне паливо)

MDA – Metal Deactivator Additive (деактиватор металів)

MIL-DTL – Military Detail Specification (військова специфікація, США)

ВСТУП

У широкому понятті термін «**паливо**» означає усі матеріали, що використовуються як джерело енергії. За походженням паливо поділяють на **природне** (нафта, газ, вугілля, природні сланці, торф, деревина) і **штучне**, або **синтетичне** (кокс, моторні палива, генераторні гази, біогази та ін.), за агрегатним станом – на газоподібне, рідке, тверде.

Моторні палива – ті види палива, що використовуються в двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ).

Одним з основних напрямів розвитку світової нафтопереробної промисловості є виробництво моторних палив, у тому числі авіаційних.

Виробництво палив для авіаційних двигунів (авіаційних палив) є одним із пріоритетних напрямів нафтопереробної галузі світу. Сьогодні та в перспективі основний обсяг споживання нафтопродуктів залишатиметься домінуючим у транспортному секторі (60%). Споживання палива у світовому транспортному секторі становить близько 91% загального балансу використання джерел енергії, а частка моторних палив у загальному світовому балансі споживання нафтопродуктів – 56–76%. Науково-технічний прогрес у галузі авіабудування разом із посиленням екологічних вимог і умов експлуатації транспортних засобів висуває підвищені вимоги до якості палив.

За першим законом **хіммотології** експлуатаційні властивості палив обумовлюються хімічним складом складових речовин, структурою та енергетичним станом їх молекул. А третій закон вказує, що надійність, економічність і екологічність техніки визначається якістю палив та інших експлуатаційних матеріалів. Іншими словами, кількісне відтворення властивостей моторних палив характеризується їх якісними показниками.

Сучасні **авіаційні й автомобільні бензини** продукують змішуванням (компаундуванням) різних компонентів, якість і вміст яких залежить від марки бензину та від загального балансу продуктів, що продукуються на нафтопереробному заводі (НПЗ).

Якість авіаційних палив має великий вплив на надійність експлуатації авіаційної техніки, як літаків, так і наземних машин і механізмів. У загальному розумінні, якість є мірою відповідності

властивостей палив технічним характеристикам транспортного засобу та умовам його експлуатації.

Практика показала, що в одній марці палива неможливо поєднувати всі вимоги до реактивного палива сучасною авіацією. Тому було створено кілька марок палив, кожна з яких має певні переваги за експлуатаційними властивостями з урахуванням вартості та ресурсів виробництва. Усі палива для повітряно-реактивних двигунів (ПРД) умовно поділяються на дві підгрупи: прямогінні (зі звичайним рівнем схильності до утворення відкладень) та термостабільні (гідрогенізаційні). Сучасна авіаційна техніка експлуатується в різних кліматичних і метеорологічних умовах. Паливні системи літальних апаратів (ЛА) повинні стійко працювати в діапазон зовнішніх тисків від 1 кгс/см² (100 кПа) під час роботи двигуна землі, до 0,1 кгс/см² (10 кПа) і менше під час польоту ЛА на висоті 15 км і вище. Наприклад, наземна техніка працює в діапазоні тисків від 0,9 кгс/см² (90 кПа) до 1 кгс/см² (100 кПа). Діапазон робочих температур ЛА дуже широкий і становить мінус 40–130°C. Протягом одного польоту ЛА перепад температур навколишнього повітря становить 50–80°C, а в окремих випадках може досягати 120°C. Серед багатьох вимог, що висувуються до паливних систем сучасних ЛА, основним є надійне живлення двигуна паливом, що піддається впливу різних температур та тисків. При великих швидкостях польоту у щільних шарах атмосфери внаслідок аеродинамічного гальмування повітряного потоку та тепловиділення рухової установки відбувається нагрівання конструкції ЛА. Обидва ці явища становлять процес взаємодії між середовищем (повітрям, вихлопними газами) і твердим тілом, що обтікається (літаком, двигуном). Внаслідок аеродинамічного нагріву температура палива в агрегатах паливної системи може досягати високих значень (до 300°C). Негативна дія аеродинамічного нагріву позначається на температурі палива через його використання для охолодження систем кондиціонування, електронного обладнання та ін. Тепло від бортових систем літака у паливо відводиться через радіатори-теплообмінники, що встановлюються зазвичай у магістралі, що з'єднують видатковий бак із двигуном, або безпосередньо у видатковому баку. У наземних умовах і за дозвукових швидкостях польоту паливо може зазнавати значного охолодження, особливо в баках-кесонах, аж до температури початку його кристалізації. Це явище небажане через можливе утворення кристалів високомолекулярних алканів нормальної будови, кристалів льоду з води, що знаходилася в розчиненому стані в

нагрітому паливі, та підвищення в'язкості палива. З даних льотних випробувань випливає, що з підйомом на висоту паливо охолоджується повільніше. У польоті температура палива в баках встановлюється для різних НД та різних груп баків на 5–25°C вище температури навколишнього повітря. Найбільш швидке зниження температури палива (10–20°C/год) спостерігається у перші години польоту, потім швидкість охолодження зменшується до 5°C/год, а температура палива може знизитися до мінус 47°C.

Довідник підготовлено групою науковців Національного технічного університету України “КПІ імені Ігоря Сікорського” в рамках грантового проєкту, що фінансувався за рахунок державного бюджету України (реєстраційний номер 2023.04/0146).

У довіднику систематизовано інформацію щодо основних властивостей та стандартних вимог до авіаційних бензинів та палив для ПРД.

Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВЛАСТИВОСТІ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ

Основним сировинним джерелом отримання моторних палив до сьогодні залишається унікальна природна копалина – **нафта**.

Близько 2 тис. років до н. е. до сфери практичних інтересів людини ввійшли нафта і газ, тому про нафту відомо людству вже понад 4 тисячі років. Найбільшу питому частку серед продуктів пере роблення нафти мають **моторні палива**.

Таблиця 1.1

Критерії класифікації різних видів палива

Критерій класифікації	Вид
Агрегатний стан	Рідкі, тверді, газоподібні
Компонентний склад	Вуглеводневі, вуглеводневокисневі (спирти), азотоводневі, палива з домішками (вода, горючий газ, водень, вугільний порошок та ін.)
Калорійність	Висококалорійні, середньокалорійні, низькокалорійні
Технологічні процеси виробництва	Пряма перегонка, піроліз, гідрогенізація, газифікація, електроліз, етерифікація, каталітична конверсія та ін.
Походження	Природні, штучні (синтетичні), з відходів виробництв
Сировина	Нафта, вугілля, торф, сланці, бітумінозні піски, біомаса, природний газ, водорості і та ін.

Таблиця 1.2

Класифікаційні групи та підгрупи палив

Група палив	Підгрупа палив	Позначення підгрупи палив
Бензин	Авіаційні	Б
	Автомобільні	А
	Технологічні	Т
Газотурбінні	Реактивні	Р
	Для суднових і стаціонарних енергетичних установок	Г
Дизельні	Для швидкооборотистих дизельних двигунів	Д

Продовження Таблиці 1.2

Група палив	Підгрупа палив	Позначення підгрупи палив
Суднові	Для середньооборотистих, малооборотистих дизельних двигунів	С
Мазути	Флотські	Ф
	Паливні	М
Побутові	Пічні	П
	Гаси освітлювальні	ГО

Під час експлуатації сучасних двигунів слід використовувати палива лише рекомендованих виробниками двигунів марок, якість яких повністю відповідає вимогам стандартів.

Властивість продукції є первинною характеристикою її якості, тому нами запропоновано розглянути пов'язані з нею основні поняття і терміни. Властивість будь-якої продукції, у тому числі й моторних палив, – це об'єктивна особливість, що виявляється під час її створення, експлуатації або використання (споживання, застосування).

Термін «**експлуатація**» застосовують до такої продукції, що під час використання витрачає свій ресурс, а термін «**споживання**» – до такої, що під час її використання витрачається сама. Під використанням необхідно розуміти всі види (способи) антропологічної діяльності, спрямованої на ефективне та раціональне використання моторного палива. Поняття «**застосування**» поєднує всі процеси, що відбуваються в об'ємі палива з моменту виробництва до безпосереднього використання. Основні терміни та поняття детально представлені у дод. 1.

Властивості можна поділити на прості та складні. Наприклад, надійність продукції є складною властивістю, що обумовлена відносно простими її властивостями – безвідмовністю, довговічністю, ремонтпридатністю та збереженістю.

Ознакою продукції є якісна або кількісна характеристики будь-яких її властивостей чи станів.

Якісна ознака – колір матеріалу, форма виробу, наявність на поверхні деталі антикорозійного або декоративного покриття, спосіб скріплення деталей виробу (зварювання, клепа́ння), спосіб або настроювання (регулювання) технічних пристроїв (ручний дистанційний, напівавтоматичний). Якісні ознаки можуть мати альтернативний характер і два взаємовиключні варіанти, наприклад,

наявність чи відсутність захисного покриття на деталях, або наявність чи відсутність дефектів. Кількісна ознака є параметром продукції та може бути одним із показників її якості.

Показник якості – кількісна характеристика однієї або кількох властивостей продукції, що складають її якість, розглянута стосовно певних умов її створення, експлуатації та використання (споживання). Багато показників якості продукції є функціями її параметрів.

Поняття «ознака», «параметр», «показник якості продукції» дозволяють визначити взаємозв'язок між ними. Наочно цей зв'язок показано на рис. 1.1.

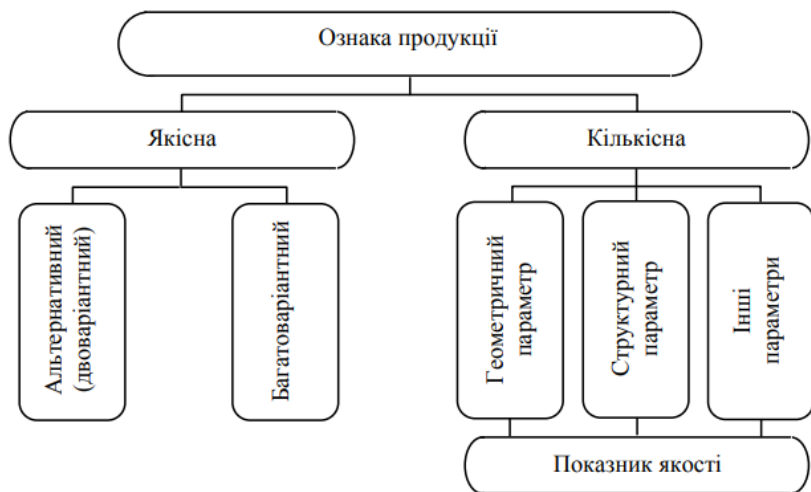


Рис. 1.1. Взаємозв'язок ознак, параметрів і показників якості продукції

Загальна характеристика палива

Будь-яке паливо складається з двох основних частин: **горючої** та **негорючої** (баласту). Горюча частина містить різні органічні сполуки, до яких входять такі хімічні елементи: вуглець С, водень Н, сірка S, кисень О, азот N, а також ті неорганічні сполуки, що під час горіння палива, розкладаючись, утворюють легкі речовини. Склад твердого та рідкого палива визначається у процентах за масою, газоподібного – у процентах за об'ємом. Вуглець – основа горюча складова, зі збільшенням частки якої зростає теплова цінність палива. Вміст вуглецю у різних видах

палива коливається у межах від 50% (дрова) до 98% (антрацит). Водень за теплою згорання майже у 4 рази цінніший за вуглець. Враховуючи, що вміст водню в паливі становить до 25% – це друга за значимістю складова палива. Кисень, що входить до складу палива, не горить, і тому фактично є внутрішнім баластом горючої частини. Вміст кисню становить від 0,5 до 43%. Чим більше в горючій частині кисню, тим менш цінне паливо. Азот, як і кисень, не горить, є внутрішнім баластом горючої частини. У твердому і рідкому паливі вміст азоту невеликий (0,5–1,5%), і тому вплив його на теплову цінність палива незначний. Однак у деякому газоподібному паливі (наприклад, генераторному газі) вміст азоту становить близько 50 %, що різко знижує його теплову цінність. Сірка є горючим елементом і, входячи до складу палива у вільному стані або у вигляді органічних і сульфідних сполук, бере участь у горінні. Але, незважаючи на це, сірка є дуже небажаною складовою палива, тому що під час горіння сірки утворюються сполуки SO_2 , SO_3 , що викликають газову корозію, а, з'єднуючись з вологою, що завжди є у паливі, перетворюються на сірчисту та сірчану кислоти, що викликають корозію металів. Вміст сірки у твердому паливі коливається від 0,01 до 8%, а у нафтах – від 0,1 до 4%. Під час переробки палива намагаються вміст сірки за можливістю довести до мінімуму. Негорюча частина у твердому і рідкому паливі складається з мінеральних домішок (під час згорання утворюють золу А) і вологи W. Ця частина, зменшуючи об'єм горючої частини й відбираючи частину теплоти на своє нагрівання, знижує теплову цінність палива. Крім того, зола прискорює абразивне спрацювання деталей циліндро-поршневої групи двигунів, а волога збільшує корозію та ускладнює експлуатацію установок взимку.

Вміст мінеральних домішок у рідкому паливі вимірюється десятими частинами процента, а у твердому – десятками процентів. Мінеральні домішки і вологу розділяють на зовнішні та внутрішні. Перші – потрапляють у паливо з навколишнього середовища під час його видобування, транспортування, зберігання, другі – входять до його хімічного складу. Залежно від фізичного стану палива, за яким визначають його елементарний склад, розглядають маси: робочу (р), аналітичну (повітряно-суху, лабораторну) (а), суху (с), горючу (г) і органічну (о). Паливо, що надходить до споживачів у природному стані та містить, крім горючої частини, золу і вологу, називають робочим. Елементарний склад палива виражають рівнянням:

$$CP + HP + OP + NP + SP + AP + WP = 100 \% \quad (1.1)$$

У тих випадках, коли паливо піддають лабораторному дослідженню, з нього готують аналітичну пробу, що приводять для повітряно-сухого стану. При цьому паливо містить тільки внутрішню вологу. Суха маса не має води, оскільки одержана штучним сушінням за температури 105 °С. Горюча маса – це паливо, що не має води і золи. А якщо з палива видалити ще й сірку, то отримують органічну масу. Загальний склад палива для різного його стану схематично показано на рис. 1.2.

Елементарний склад палива розраховують на горючу й суху маси, а всі теплові розрахунки ведуть на робочу (дійсну) масу, склад якої залежить від кількості золи і води. Горюча частина газоподібного палива вміщує водень (H), оксид вуглецю (CO), метан (CH₄) та інші вуглеводні (C_nH_m) з числом атомів вуглецю до чотирьох. Негорюча частина – пари води і негорючі гази (CO₂, N₂, O₂).

Споживання двигуном транспортного засобу палива визначається за його енергетичною ефективністю, тобто за кількістю теплоти, що виділилася під час згорання 1 кг палива. Підраховано, що сьогодні лише 12% енергії, що виділяє паливо під час згорання, витрачається на рух автомобіля. На сучасному рівні використання палива людство ще не вирішило проблему високоефективного його спалювання з метою отримання максимальної кількості корисної енергії. На сьогодні на одного жителя Землі за рік видобувається 10 т природних копалин, з яких тільки 1% (100 кг) корисні, а інша частина забруднює атмосферу, ґрунт, водойми.

У науці **хіммотології** властивості моторних палив умовно поділяють на три групи: фізико-хімічні, експлуатаційні, екологічні.

До **фізико-хімічних властивостей** відносять ті, що визначаються в лабораторних умовах і служать для первинної або контрольної оцінки якості в місцях виробництва чи застосування. Основними фізико-хімічними властивостями моторних палив є фракційний склад, тиск насиченої пари (ТНП), густина, в'язкість, молекулярна маса, теплоємність, теплота пароутворення, енергоємність, температура спалаху, займання, самозаймання, помутніння, початок кристалізації, вміст фактичних смол, ароматичних вуглеводнів, водорозчинних кислот і лугів, кислотність, йодне число, показник заломлення тощо.

Під експлуатаційними властивостями розуміють об'єктивні особливості палива, що виявляються у процесі використання їх у техніці (табл. 1.3, 1.4).

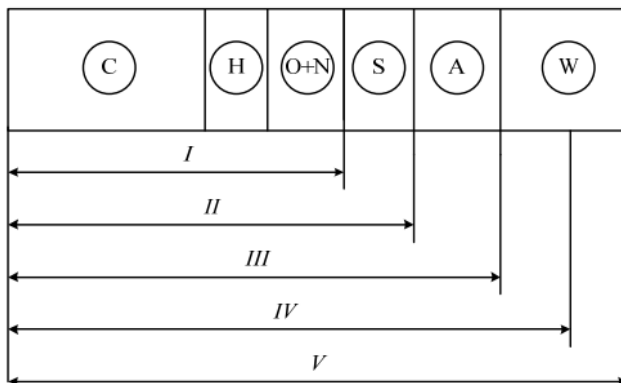


Рис. 1.2. Загальний склад палива:

I – органічна; II – горюча; III – суха; IV – лабораторна (аналітична);
V – робоча маса

Найсучасніші бензинові двигуни мають ефективний **коефіцієнт корисної дії (ККД)** у межах 35–36%, дизельні – 42–44%, газові – 38–45%. ККД використання палива у ДВЗ визначається формулою:

$$\text{ККД} = \frac{0,55E_1 + 0,45E_2}{Q(0,55 \cdot q_1 L_1 + 0,45 \cdot q_2 L_2)} \cdot 100, \quad (1.2)$$

де E_1 , E_2 – теоретично необхідна кількість енергії для міського і шосейного режимів відповідно; Q – теплота згорання палива; q_1 , q_2 – визначена витрата палива для міського та шосейного режимів відповідно; L_1 , L_2 – пробіг автомобіля у міському та шосейному режимах руху відповідно.

Таблиця 1.3

Експлуатаційні властивості, що визначають ефективність використання моторних палив під час експлуатації техніки

Хімотологічні процеси	Сутність процесу	Експлуатаційні властивості
Перекачування палива	Переміщення палива у трубопроводах, паливних системах транспортних засобів, засобам зберігання, транспортування й заправки під впливом зовнішнього тиску й сил гравітації. Припинення подачі в екстремальних температурних умовахі внаслідок забруднення	Прокачуваність
Випаровування	Перехід палива із рідкої у парову фазу в статистичних і динамічних умовах	Випаровуваність
Спалахування	Виникнення джерела полум'я через окиснення паливно-повітряної суміші (ППС) під дією зовнішнього тиску, температури, джерела займання, розряду статистичної електрики	Спалахуваність
Горіння	Розповсюдження полум'я через передачу теплоти і дифузію активних частинок із зони реакції або під дією ударної хвилі (детонаційне розповсюдження полум'я)	Горючість
Утворення відкладень	Утворення смол, осадів і лакових відкладень в умовах низьких високих температур в об'ємі палива на поверхні деталей	Схильність до утворення відкладень
Корозія	Взаємодія палива з металами (хімічна, електрохімічна, газова корозія)	Сумісність з металами
Зношування	Руйнування поверхні тертьових деталей (механічне, молекулярно-механічне, корозійно-механічне)	Протизношувальні властивості

У хімотології прийнято розглядати і вивчати такі експлуатаційні властивості моторних палив: випаровуваність, прокачуваність, займистість і горючість, схильність до утворення відкладень, стабільність (фізична, хімічна (термоокиснювальна), біологічна), сумісність з конструкційними матеріалами, протизношувальні, захисні, охолоджуючі та інші властивості.

Таблиця 1.4

**Експлуатаційні властивості, що визначають збереження якості
моторних палив**

Хімотологічні процеси	Сутність процесу	Експлуатаційні властивості
Окиснення палива киснем повітря у засобах зберігання, транспортування і баках машин	Окиснення вуглеводнів з утворенням кислих продуктів і смолистих речовин під час довгострокового зберігання	Хімічна стабільність
Корозія металевих конструкційних матеріалів засобів зберігання, транспортування і паливних систем	Електрохімічна і хімічна корозія металів	Корозійність
Розкладання компонентів палива під час довготривалого зберігання	Розкладання термодинамічно нестійких компонентів палива під дією різних факторів в умовах зберігання	Хімічна стабільність
Випаровування палива під час зберігання транспортування, перекачуванні	Втрата легких фракцій палива у процесі малих і великих «дихань» резервуарів і під час перекачування	Випаровуваність (фізична стабільність)
Обводнення палив	Поглинання вологи з атмосфери через гігроскопічність палива і порушення герметичності засобів зберігання	Гігроскопічність
Випадання твердої фази	Випадання кристалів високоплавких вуглеводнів і кристалів льоду за низьких температур	Стабільність фазового стану, однорідність (фізична стабільність)
Розшарування палива	Зміна взаємної розчинності компонентів палива різної хімічної будови	Фізична стабільність

Сукупність властивостей палива, що під час використання негативно впливають на здоров'я людини і навколишнє середовище, називають екологічними властивостями (табл. 1.5). До екологічних властивостей (показників) відносять токсичність, канцерогенність, пожежо- і вибухонебезпечність, концентрація шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів, гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у робочій зоні або приміщеннях тощо (дод. 3).

Таблиця 1.5

**Експлуатаційні властивості,
що визначають екологічність моторних палив**

Хімотологічні процеси	Сутність процесу	Екологічні властивості
Випаровування палива під час зберігання транспортування, перекачування і змішування з повітрям	Утворення вибухонебезпечних концентрацій палив у суміші з повітрям	Пожежонебезпечність. Вибухонебезпечність
Спалахування пари палива у суміші з повітрям в умовах зберігання та експлуатації техніки	Спалахування ППС від різних джерел займання (іскра, нагріте тіло, розряд статистичної електрики)	Пожежонебезпечність. Вибухонебезпечність
Спалахування і горіння палива	Стійке розповсюдження полум'я під час розливання і випаровування палива у відкритому просторі	Пожежонебезпечність. Вибухонебезпечність
Електризація палива	Утворення зарядів статичної електрики під час перекачування палива і заправлення техніки	Електризованість
Випаровування палива	Утворення токсичних концентрацій пари палива (компонентів) в атмосфері повітря	Токсичність пари палива
Згорання палива у камерах згорання двигунів	Утворення токсичних речовин у відпрацьованих продуктах згорання	Токсичність відпрацьованих газів

Загальним для всіх видів палив є те, що вони складаються з рідкої, твердої, газової та біологічної фаз. **Рідка фаза** становить 99,9 % мас. **Тверда, газова і біологічна фази** – близько 0,001 % мас. **Механічні домішки** – головна частина твердої фази палива. Вміст механічних домішок у паливі коливається у межах від 0,0003 до 0,00001 % мас. залежно від ступеня його очищення. Однак навіть незначна кількість механічних домішок негативно впливає на надійність експлуатації літака. Тому вміст механічних домішок нормується спеціальним стандартом.

У кожному паливі у розчиненому вигляді присутні азот і кисень – 4–5% за об'ємом, аргон, оксид і діоксид вуглецю – 0,1 % об'ємних. Наявність цих газів призводить до їх інтенсивного виділення з палива, що інтенсифікує процес випаровування, а в умовах набору висоти повітряним судном (ПС), навіть може викликати холодне кипіння палива.

Це призводить до різкого зростання втрат палива. **Біологічна фаза** присутня в основному в умовах жаркої кліматичної зони у вигляді різних грибків та інших мікроорганізмів. Інтенсифікуючим фактором збільшення біологічної фази є температура (вище 20°C), забрудненість палива, наявність вологи. З існуючих у природі 150 тис. видів мікроорганізмів, що здатні розвиватися через вуглеводні нафти і з продуктів її переробки, найбільш поширеними вважаються бактерії *Pseudomonas*, *Micrococcus*; гриби *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*; дріжджі *Candida*, *Torula*. До найбільш активних мікроорганізмів, здатних повністю блокувати роботу паливної системи транспортного засобу, належать міцеліальний (плісневий) гасовий гриб *Cladosporium* (*Hormoconis*) *resinae* і бактерія *Pseudomonas aeruginosa*.

Рідка фаза представлена вуглеводнями різної будови – 99% мас. і гетероорганічними сполуками (кисневі, сірчисті, азотисті) – близько 0,9% мас. Залежно від температури кипіння вуглеводні поділяються на ароматичні – висококиплячі (C_nH_{2n-6}), нафтові – середньокиплячі (C_nH_{2n}) і парафінові (алканові) – низькокиплячі (C_nH_{2n+2}).

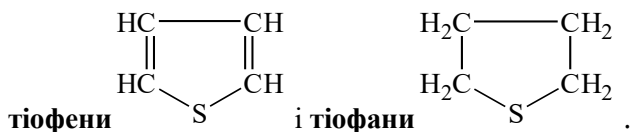
До складу палив входять переважно рідкі парафінові вуглеводні з числом вуглецевих атомів у молекулі від 1 до 15 як нормальної, так і ізобудови. Набільшу перевагу для палив мають нафтові вуглеводні (циклани, циклопарафіни), в основному алканоцикланові. Ароматичні вуглеводні, порівняно з парафіновими і нафтовими, мають вищу температуру кипіння та густину, і більшу об'ємну теплоту згорання. Вони більш реакційноздатні та гігроскопічні. Під час їх згорання утворюється значно більше неповних продуктів згорання. Тому присутність цієї групи вуглеводнів обмежується і нормується відповідними стандартами.

Кисневі сполуки представлені **спиртами** (ROH) – 0,05–0,1% мас., **гідроперекисами** (ROOH) – 0,001–0,00001% мас.,

альдегідами ($R-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow H \end{array}$) і **кетонами** ($R-C \begin{array}{c} \parallel \\ O \end{array} -R'$) – 0,01–0,05 % мас.,

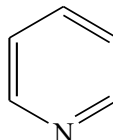
кислотами ($R-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow OH \end{array}$) та $C_5H_9-(CH_2)_n-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow OH \end{array}$ – 0,001–0,08 % мас.

До складу палив завжди входить вільна сірка (S) – 0,25 % мас. та її сполуки (**мерcaptани** (R-S-H), **сульфіди** (R-S-R), **дисульфід** (R-S₂-R),



Внаслідок високої корозійної агресивності цих елементів їх кількість у паливах жорстко обмежується. Азотистих сполук в авіаційних паливах, особливо у легких, дуже мало і розташовуються вони, головним чином, у більш важких фракціях.

Представниками цієї групи є: піридин і його гомологи: хінолін, піррол і індол. Крім того, у складі палив практично завжди



є вода у вигляді емульсії – 0,001–0,01 % мас. Загальний вміст води у паливі залежить від температури, атмосферного тиску, вологості, умов зберігання, транспортування і перекачування палива. Відповідно до вимог, що ставляться до якості палив, вода та механічні домішки в їх складі повинні бути відсутніми.

Характеристичні точки кипіння нафтових фракцій

Нафтові фракції википають у певних інтервалах температур, у зв'язку з цим під час розрахунків користуються поняттям «**середня температура кипіння**».

Розрізняють такі температури кипіння: середньооб'ємну, середньомолекулярну, середньомасову, середньокубічну та усереднену. Значення цих середніх температур можна визначити з таких рівнянь:

- середньооб'ємна температура кипіння

$$t_{\text{с.о.}} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2 + \dots + v_n t_n}{v_1 + v_2 + \dots + v_n} \quad (1.3)$$

- середньомасова температура кипіння

$$t_{\text{с.м.м}} = \frac{G_1 t_1 + G_2 t_2 + \dots + G_n t_n}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} \quad (1.4)$$

- середньомолекулярна температура кипіння

$$t_{\text{с.м.м}} = \frac{N_1 t_1 + N_2 t_2 + \dots + N_n t_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} \quad \text{або} \quad t_{\text{с.м.м}} = \sum x_i t_i, \quad (1.5)$$

$$x_i = \frac{N_1}{\sum N_i}, N_i = \frac{G_i}{M_i};$$

де

- середньокубічна температура кипіння

$$t_{\text{куб}} = \sum_1^m \left[\varphi_i (t_i + 273)^{1/3} \right]^3 - 273; \quad (1.6)$$

- усереднена температура кипіння

$$t_{\text{усеред}} = \frac{t_{\text{с.мол}} \cdot t_{\text{с.куб}}}{2} \quad (1.7)$$

де $G_1, G, \dots G_n$ – маси (або % мас.) окремих фракцій; $V_1, V_2, \dots V_n$ – об'єми (або % об.) окремих фракцій; $N_1, N_2, \dots N_n$ – молі (або % мол.) окремих фракцій; M_i – молекулярна маса окремих фракцій; $t_1, t_2, \dots t_n$ – середньоарифметичні значення температур кипіння фракцій, °C; x_i – вміст вузьких фракцій, мольні частки; φ_i – об'ємна частка компонента.

- Середньооб'ємна температура кипіння $t_{\text{с.об}}$ визначається найпростіше за даними розгонки:

$$t_{\text{с.об}} = \frac{t_{\text{п.к.}} + t_{\text{к.к.}}}{2} \quad (1.8)$$

За відсутності кривої об'ємної розгонки можна застосовувати криву істинних температур кипіння (ІТК), приблизно оцінюючи $t_{\text{с.об}}$. як температуру кипіння фракції, що дорівнює температурі викіпання 50 %.

Густина

Густина – одна з важливих фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей, що дає змогу в сукупності з іншими константами орієнтовно оцінювати хімічний і фракційний склад моторних палив та родинних нафтопродуктів. Густину прийнято виражати абсолютною та відносною величинами. **Абсолютною густиною** речовини ρ називається її маса в одиниці об'єму. Густину вимірюють у кг/м^3 , г/см^3 .

Густина в сукупності з іншими константами дає змогу орієнтовно оцінювати хімічний і фракційний склад палива, а в сукупності з теплотою згорання характеризує його енергетичні властивості. Чим більша густина, тим більшу кількість палива можна завантажити в баки ПС і збільшити у такий спосіб дальність польоту без додаткової заправки. Цей показник також є вихідною величиною для більшості інженерних розрахунків.

Зменшення густини (і в'язкості) палива веде до зміни потужності двигуна і, відповідно, вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах і витрати палива. Тому для оптимізації експлуатаційних характеристик двигуна і зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу максимальна і мінімальна величини густини палива повинні задаватися у досить вузьких межах.

За зменшення густини у відпрацьованих газах легко- і важконавантажених двигунів зменшується вміст сажі, а у важконавантажених – NO_x . Зменшення густини дещо зменшує викиди CO_2 . Це пояснюється більшим співвідношенням водень/вуглець у паливі з низькою густиною, у той час як інші параметри залишаються такими самими. Однак через використання об'ємного принципу впорскування палива у разі зменшення густини збільшується витрата палива і знижується потужність двигуна. Різниця у в'язкості може підсилити вплив густини на потужність (необов'язково на витрату палива).

Подачу палива контролюють за об'ємом. Різниця в густині (і в'язкості) веде до різниці в потужності двигуна і, відповідно, до різниці у викидах і витрат палива. Для того щоб оптимізувати експлуатаційні властивості двигуна і хвостові викиди, потрібно визначити верхню і нижню межі густини у досить вузькому інтервалі.

Отже, виробництво палив пристосовано до стандартної густини, що визначає подачу палива.

На практиці частіше застосовують **відносну густину** $\rho_{t_1}^{t_2}$. Це безрозмірна величина, що показує відношення густини нафтопродукту за

температури t_2 до густини дистильованої води за температури t_1 . Стандартними температурами в європейських країнах прийняті: для води $t_1 = 4^\circ\text{C}$, для нафтопродуктів $t_2 = 20^\circ\text{C}$; в США стандартною температурою для нафтопродуктів і води є $t_1 = t_2 = 60^\circ\text{F}$, що приблизно відповідає 15°C . Тому найчастіше визначають ρ_4^{20} або ρ_{15}^{15} .

Оскільки густина води за температури 4°C дорівнює 1, числові значення відносної та абсолютної густини збігаються.

Для моторних палив як продуктів перероблення нафти характерна зміна густини зі зміною температури. З підвищенням температури густина нафтопродуктів зменшується, а питомий об'єм зростає. Для більшості нафтопродуктів (малопарафіністих), у тому числі й моторних палив, з достатньою точністю можна вважати, що зміна густини залежно від температури відбувається за лінійним законом, відкритим Д. І. Менделєєвим і вираженим формулою:

$$\rho_4^t = \rho_4^{20} - \alpha \cdot (t - 20), \quad (1.9)$$

де ρ_4^t – відносна густина нафтопродукту за заданої температури t ; ρ_4^{20} – відносна густина нафтопродукту за стандартної температури 20°C ; α – середня температурна поправка на зміну густини за зміни температури на 1° .

Значення середньої температурної поправки α наведено в табл. 1.6.

Оскільки коефіцієнт α лінійно залежить від відносної густини нафтопродукту, то його також можна розраховувати за формулою:

$$\alpha = 0,000903 - 0,00132 \cdot (\rho_4^{20} - 0,7) \quad (1.10)$$

Рівняння (1.8) справедливе для інтервалу температур $0-150^\circ\text{C}$ та $\rho_4^{20} = 0,7-1,0$ (похибка становить $5-8\%$).

Для ширшого інтервалу температур (до 300°C) і з меншою похибкою (до 3%) залежність густини від температури можна визначати, користуючись формулою А. К. Мановяна:

$$\rho_4^{20} = 1000 \cdot \rho_4^{20} - \frac{0,58}{\rho_4^{20}} \cdot (t - 20) - \frac{(t - 1200 \cdot (\rho_4^{20} - 0,68))}{1000} \cdot (t - 20) \quad (1.11)$$

Таблиця 1.6

**Середня температурна поправка для підрахунку густини рідких
нафтопродуктів до формули (1.9)**

ρ_4^{20}	A	ρ_4^{20}	α	ρ_4^{20}	A
0,7000– 0,7099	0,000897	0,8000– 0,8099	0,000765	0,9000– 0,9099	0,000633
0,7100– 0,7199	0,000884	0,8100– 0,8199	0,000752	0,9100– 0,9199	0,000620
0,7200– 0,7299	0,000870	0,8200– 0,8299	0,000738	0,9200– 0,9299	0,000607
0,7300– 0,7399	0,000857	0,8300– 0,8399	0,000725	0,9300– 0,9399	0,000594
0,7400– 0,7499	0,000844	0,8400– 0,8499	0,000712	0,9400– 0,9499	0,000581
0,7500– 0,7599	0,000831	0,8500– 0,8599	0,000699	0,9500– 0,9599	0,000567
0,7600– 0,7699	0,000818	0,8600– 0,8699	0,000686	0,9600– 0,9699	0,000554
0,7700– 0,7799	0,000805	0,8700– 0,8799	0,000673	0,9700– 0,9799	0,000541
0,7800– 0,7899	0,000792	0,8800– 0,8899	0,000660	0,9800– 0,9899	0,000522
0,7900– 0,7999	0,000778	0,8900– 0,8999	0,000647	0,9900– 1,000	0,000515

Графічна залежність густини рідких паливно-мастильних матеріалів (ПММ) від температури наведена на рис. 1.3.

За необхідності перерахунку ρ_4^{20} на ρ_{15}^{15} та ρ_{20}^{20} на ρ_4^{20} можна використовувати такі формули:

$$\rho_{15}^{15} = \rho_4^{20} + 5\alpha; \quad (1.12)$$

та

$$\rho_4^{20} = \rho_{20}^{20} \cdot 0,9982. \quad (1.13)$$

Величина, обернена до густини, – питомий об'єм, що широко використовується для розрахунку кількості нафти і нафтопродуктів у резервуарах. Питомий об'єм вимірюється у $\text{см}^3/\text{г}$ і $\text{м}^3/\text{т}$.

Усі нафтопродукти є сумішами вуглеводнів різних груп. Допускаючи адитивність їх об'ємів, середню густину нафтопродукту знаходять за правилом змішування:

$$\rho_{\text{сер}} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} \quad (1.14)$$

або

$$\rho_{\text{сер}} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}{\frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} + \frac{m_3}{\rho_3} + \dots + \frac{m_n}{\rho_n}} \quad (1.15)$$

де $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ – відносні густини компонентів суміші, визначені за однієї і тієї самої температури; $V_1, V_2, \dots, V_n$ – відповідно їх об'єми; $m_1, m_2, \dots, m_n$ – маси компонентів суміші.

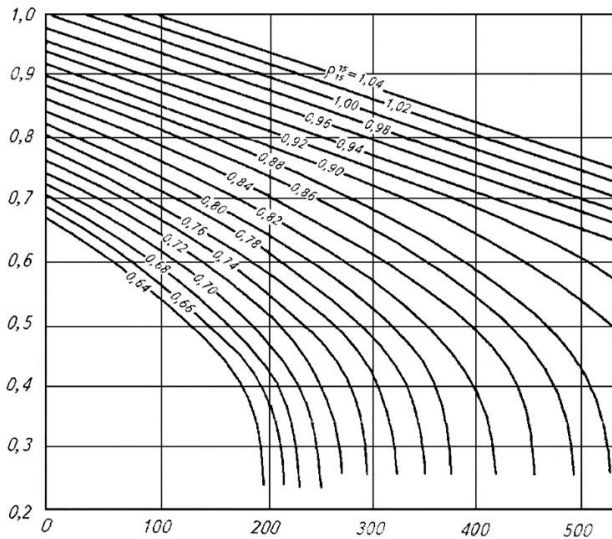


Рис. 1.3. Залежність густини рідких нафтопродуктів від температури

Розрахунок за формулами (1.14) і (1.15) не завжди точний, оскільки в одних випадках змішування супроводжується розширенням суміші (гексан + бензол), а в інших – стискуванням (нафтові фракції дуже різної густини).

Абсолютну густину газів і пари (ρ_r , кг/м^3) за нормальних умов ($T = 273 \text{ K}$, $P = 0,1 \text{ МПа}$) можна знайти, знаючи молекулярну масу (M) і об'єм одного кіломоля газу ($22,4 \text{ м}^3$):

$$\rho_r = \frac{M}{22,4} \quad (1.16)$$

За температури T (К) і тиску P (105 Па) густину газу (кг/м^3) можна знайти за формулою:

$$\rho_r = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{M \cdot P}{T}. \quad (1.17)$$

Переважаю визначають їх відносну густину, тобто відношення густини газоподібного нафтопродукту за температури 20°C до густини повітря за тієї самої температури ($1,293 \text{ кг/м}^3$).

Одним з параметрів, що є функцією густини й дозволяє судити про хімічну природу нафтопродукту, є характеризуючий фактор K :

$$K = \frac{1,216 \cdot \sqrt[3]{T_{\text{с.мол}}}}{\rho_{15}^{15}}, \quad (1.18)$$

де $T_{\text{с.мол}}$ – абсолютна середня молекулярна температура кипіння суміші, К;
 ρ_{15}^{15} – відносна густина нафтової фракції.

Середня молекулярна температура кипіння суміші визначається за формулою:

$$T_{\text{с.мол.}} = \frac{T_1 m_1 + T_2 m_2 + \dots + T_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \quad (1.19)$$

де $T_1, T_2, \dots, T_n$ – температури кипіння компонентів, К; $m_1, m_2, \dots, m_n$ – масові частки компонентів у суміші.

Для парафіністих нафтопродуктів $K = 12,5$ – 13 , для нафтоароматичних $K = 10$ – 11 , для ароматизованих $K \approx 10$ і менше, для крекінгбензину – $K \approx 11,5$ – $11,8$.

У США та деяких інших країнах мірою густини нафт та нафтопродуктів є величина, що вимірюється в градусах API. Вона пов'язана з ρ_{15}^{15} співвідношенням:

$$^\circ\text{API} = \frac{141,5}{\rho_{15}^{15}} - 132,5 \quad (1.20)$$

або у вигляді табличної залежності:

ρ_{15}^{15}	1,075	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
API	0	9,5	16,5	24,5	34	44,5	56,5	69,5	84,3

Молекулярна маса

Молекулярна маса нафти і одержаних із них продуктів – один із найважливіших показників, що широко використовують під час підрахунку теплоти пароутворення, об'єму пари, парціального тиску, а також у разі визначення хімічного складу вузьких нафтових фракцій тощо. **Нафта і нафтопродукти** є сумішшю індивідуальних вуглеводнів та інших сполук, тому характеризуються середньою молекулярною масою, але слово «середня» переважно опускають.

Молекулярна маса нафтових фракцій зростає із підвищенням їх температури кипіння. Водночас виділені з різних нафтових фракцій, що википають в одному і тому самому інтервалі температур, мають різні молекулярні маси, оскільки вуглеводневий склад цих фракцій різний.

У практиці молекулярну масу прийнято визначати за емпіричними формулами. З них найчастіше використовується формула Б.П. Воїнова:

$$M = a + b \cdot t_{\text{с.мол}} + c \cdot t_{\text{с.м.м}}^2 \quad (1.21)$$

де a , b і c – сталі, значення яких різні для кожної групи вуглеводнів; t – середньо-молекулярна температура кипіння продукту, °С.

Для парафінових вуглеводнів і для вузьких бензинових фракцій ця формула має вигляд:

$$M = 60 + 0,3 \cdot t_{\text{с.мол}} + 0,001 \cdot t_{\text{с.м.м}}^2 \quad (1.22)$$

З введенням характеризуючого фактора для нафтових фракцій:

$$M = 7 \cdot K - 21,5 + (0,76 - 0,004 \cdot K) \cdot t_{\text{с.мол}}^2 + (0,0003 \cdot K - 0,00245) \cdot t_{\text{с.м.м}}^2 \quad (1.23)$$

де K – характеризуючий фактор; $t_{\text{с.мол}}$ – середньо-молекулярна температура кипіння, °С.

Результати обчислень за формулою (1.23) відрізняються від експериментально визначених даних на 3–5 %. А. С. Ейгенсон уточнив формулу Б. П. Воїнова для нафтових фракцій підбиранням постійних величин a , b і c залежно від характеризуючого фактора K . Значення констант наведено у табл. 1.7.

Таблиця 1.7

Значення коефіцієнтів a , b і c для розрахунку молекулярної маси

Характеризуючий фактор, K	a	b	c
10,0	56	0,23	0,0008
10,5	57	0,24	0,0009
11,0	59	0,24	0,0010
11,5	63	0,25	0,00115
12,0	69	0,18	0,0014

Зв'язок між молекулярною масою та відносною густиною нафтових фракцій встановлюється формулою Крега

$$M = \frac{44,29 \cdot \rho_{15}^{15}}{1,03 - \rho_{15}^{15}}. \quad (1.24)$$

Молекулярну масу важких фракцій можна визначити за номограмою (рис. 1.4) залежно від в'язкості ($\text{мм}^2/\text{с}$) за температур 50 і 100 °С, або розрахувати за формулами:

$$M = \sqrt{\lg(\nu_{20} + 0,8)} \quad (1.25)$$

$$M = 300 \sqrt{\lg(\nu_{50} + 0,8)} \quad (1.26)$$

Молекулярну масу суміші декількох нафтових фракцій можна знайти за формулою:

$$M_{\text{сум.}} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \dots + \frac{m_n}{M_n}} \quad (1.27)$$

де $m_1, m_2, \dots, m_n$ – маси компонентів суміші, г; $M_1, M_2, \dots, M_n$ – відповідно їх молекулярні маси.

За формулою (1.27) можна підрахувати молекулярну масу сирової нафти, якщо відомі маси і молекулярні маси вузьких фракцій, що входять до її складу. Цією формулою можна користуватися для визначення молекулярної маси залишку від перегонки нафти, якщо наперед відомі молекулярні маси нафти і відігнаних від неї фракцій.

Середню молекулярну масу суміші можна визначити, знаючи мольну частку і молекулярну масу кожного компонента суміші

$$M_{\text{сум.}} = \sum_1^m x_i M_i \quad (1.28)$$

де M_i – молекулярна маса компонента суміші; x_i – вміст компонента в суміші, мольні частки.

У практичних розрахунках під час визначення розмірів реакторів, випарних і ректифікаційних колон необхідно знати мольний об'єм рідких нафтопродуктів або їх пари. Мольний об'єм рідин разраховують за формулою:

$$\frac{V}{N} = \frac{\frac{m}{\rho}}{\frac{M}{N}} = \frac{M}{\rho}, \quad (1.29)$$

де V – об'єм рідини, м^3 ; N – кількість молів; M – маса рідини, кг ; ρ – густина рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Об'єм пари можна визначити за рівнянням Клапейрона

$$V = \frac{m}{M} \cdot \frac{22,4P}{\pi} \cdot \frac{t + 273}{273}, \quad (1.30)$$

де m – маса пари, кг ; M – молекулярна маса нафтопродукту; π – тиск у системі, МПа ; P – атмосферний тиск, МПа ; t – температура, $^{\circ}\text{C}$

Рівнянням (1.30) можна користуватися за тиску в системі, меншому, ніж $0,4 \text{ МПа}$. За вищого тиску враховується поправка на стискування нафтової пари.

Молекулярну масу в лабораторній практиці визначають кріоскопічним методом, що ґрунтується на зниженні температури застигання розчинника під час додавання до нього нафтопродукту. Як розчинник використовують бензол, нафталін тощо. Іноді для визначення молекулярної маси застосовується ебуліоскопічний метод, що

основується на зміні температури кипіння розчинника після введення в нього наважки досліджуваного нафтопродукту.

Тиск насиченої пари

Усі моторні палива характеризуються тиском насиченої пари (пружністю пари). **Тиск насиченої пари** є стандартним показником для авіаційних і автомобільних бензинів, що характеризує випаровуваність, пускові властивості, схильність до утворення парових пробок у системі живлення двигуна.

Під тиском насиченої пари (ТНП) прийнято розуміти тиск, що створюється парою за певної температури в умовах рівноваги з рідиною. Температура, за якої ТНП врівноважується з тиском у системі, називається **температурою кипіння речовини**, а якщо ТНП дорівнює атмосферному тиску, температуру, за якої це досягається, називають **нормальною температурою кипіння**. Тиск насиченої пари нафти і нафтопродуктів деякою мірою характеризує їх випаровування, наявність у них легких компонентів, розчинених газів тощо. Тиск насиченої пари нафти і нафтопродуктів різко збільшується з підвищенням температури. За однакової температури меншим тиском насиченої пари характеризуються високомолекулярні продукти переробки нафти.

Тиск насиченої пари сумішей і розчинів, на відміну від індивідуальних вуглеводнів, залежить не тільки від температури, але й від складу рідкої та парової фаз. Для розчинів і сумішей, що підлягають закону Рауля і Дальтона, загальний ТНП можна вирахувати за формулою

$$\pi = P_1x_1 + P_2x_2 + \dots + P_nx_n, \quad (1.31)$$

де π – загальний ТНП суміші; $P_1, P_2, \dots, P_n$ – ТНП компонентів за заданої температури; $x_1, x_2, \dots, x_n$ – мольні концентрації компонентів.

У площині високих тисків, як відомо, реальні гази не підлягають законам Рауля і Дальтона. У таких випадках знайдений за розрахунковими або графічними методами ТНП уточнюють за допомогою критичних параметрів, фактора стискуваності та фугітивності.

В'язкість

В'язкість є однією з найважливіших характеристик нафти і нафтопродуктів та характеризує прокачування нафти трубопроводами під

час її транспортування, прокачування палив у ДВЗ, поведінку мастильних олив у механізмах тощо.

Розрізняють **динамічну, кінематичну та умовну в'язкості**. **Динамічною** (абсолютною) в'язкістю η називають властивість реальних рідин чинити опір зусиллям зсуву. Її ще називають внутрішнім тертям. Ця властивість проявляється під час руху рідини. Динамічна в'язкість у системі СІ вимірюється в Н·с/м². Це опір, який чинить рідина у разі відносного пересування двох її шарів, площею 1 м², що перебувають на відстані 1 м один від одного і пересуваються під дією зовнішньої сили 1 Н зі швидкістю 1 м/с. Враховуючи те, що Н/м² = Па, динамічну в'язкість часто вимірюють у паскаль-секундах (Па·с) або (мПа·с). У системі CGS розмірність динамічної в'язкості – дін·с/м². Ця величина називається пуазом (1 П = 0,1 Па·с).

У технологічних розрахунках частіше користуються кінематичною в'язкістю (ν), що чисельно дорівнює відношенню динамічної в'язкості моторного палива до його густини за тієї самої температури:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \quad (1.32)$$

де η – динамічна в'язкість, Н·с/м²; ρ – густина, кг/м³.

Одиницею **кінематичної** в'язкості в системі СІ є м²/с або мм²/с. У системі CGS кінематична в'язкість вимірюється у см²/с. Ця величина називається stokсом (1 Ст = 10⁻⁴ м²/с; 1 сСт = 1 мм²/с). Для порівняльної оцінки високов'язких нафт і нафтопродуктів користуються також умовною в'язкістю, що показує відношення часу витікання через калібрований отвір зі стандартного віскозиметра 200 мл досліджуваного нафтопродукту за певної температури t до часу витікання з нього 200 мл дистильованої води за 20°C. Умовна в'язкість за температури t позначається знаком °ВУ _{t} і вимірюється в умовних градусах.

У нафтових дисперсних системах за певних умов, на відміну від ньютонівських рідин, в'язкість є змінною величиною, що залежить від градієнта швидкості зсуву. У цих випадках нафти та нафтопродукти характеризуються ефективною або структурною в'язкістю:

$$\eta_{\text{еф}} = \frac{\tau}{\Gamma}, \quad (1.33)$$

де $\eta_{\text{еф}}$ – ефективна в'язкість, Н·с/м²; τ – зусилля зсуву, Н/м²; Γ – градієнт швидкості зсуву, с⁻¹.

В'язкість рідких нафтопродуктів залежить від їх фракційного та хімічного складу. Зі збільшенням молекулярної маси та підвищенням температур википання нафтової фракції збільшується їх в'язкість. Наявність бокових ланцюгів у молекулах алканів та нафтенів, а також збільшення кількості циклів підвищують в'язкість. Для різних груп вуглеводів в'язкість зростає в ряду «алкани – ацени – нафтени».

Кінематичну в'язкість світлих нафтопродуктів і нафтових олив, що мають порівняно невисоку в'язкість, визначають за допомогою капілярних віскозиметрів. Метод полягає у визначенні здатності рідини перетікати через капіляр (віскозиметри типу ВПЖ, Пінкевича тощо).

Для в'язких нафтопродуктів вимірюють умовну в'язкість у віскозиметрах типу ВУ, Енглера тощо. Витікання рідини в цих віскозиметрах відбувається через калібрований отвір.

Між величинами умовної в'язкості ($^{\circ}\text{ВУ}_t$) та кінематичної існує емпірична залежність:

- для ν від 1 до 120 $\text{мм}^2/\text{с}$

$$\nu_t = 7,31 \cdot ^{\circ}\text{ВУ}_t - \frac{6,31}{^{\circ}\text{ВУ}_t}, \quad (1.34)$$

- для $\nu > 120 \text{ мм}^2/\text{с}$

$$\nu_t = 7,41 \cdot ^{\circ}\text{ВУ}_t. \quad (1.35)$$

В'язкість найбільш в'язких, структурованих нафтопродуктів визначається ротаційним віскозиметром. Метод полягає у вимірюванні зусилля, необхідного для обертання внутрішнього циліндра віскозиметра щодо зовнішнього у разі заповнення простору між ними досліджуванним нафтопродуктом за температури t .

Крім стандартних методів визначення в'язкості, в дослідницькій практиці іноді використовують нестандартні методи, що полягають у вимірюванні в'язкості залежно від тривалості падіння каліброваної кульки між мітками, або у встановленні часу загасання коливань твердого тіла в досліджуваному нафтопродукті (віскозиметри Гуревича, Гепплера тощо).

В усіх описаних методиках, визначають в'язкість за строго визначеної постійної температури, оскільки з її зміною в'язкість істотно змінюється.

Теплофізичні властивості

До теплових властивостей належать питома теплоємність, теплота пароутворення, ентальпія, теплота плавлення та сублимації, теплота згорання, теплопровідність тощо. Лабораторними методами визначати теплові властивості дуже складно, і тому у технологічних розрахунках користуються узагальненими емпіричними формулами або графіками.

Питома теплоємність

Теплоємністю називають кількість тепла, необхідного для нагрівання одиниці маси речовини на один градус. Розрізняють масову (Дж/(кг·К)), мольну (Дж/(кмоль·К)) і об'ємну (Дж/(м³·К)) теплоємності. На практиці найчастіше використовують масову теплоємність. Розрізняють істинну та середню питоми теплоємності, що стосуються 1 кг, 1 м³ або 1 моля речовини.

Теплоємність, що відповідає нескінченно малій зміні температури (можна сказати теплоємність за певної температури), називається **істинною питомою теплоємністю**:

$$C_t = \frac{dQ}{dt}. \quad (1.36)$$

Середньою питомою теплоємністю називається відношення кількості тепла (Q), що підводиться до тіла або відводиться від нього, до різниці температур:

$$C_{\text{сеп}} = \frac{q}{t_2 - t_1}. \quad (1.37)$$

Залежно від умов визначення розрізняють **ізобарну теплоємність** (за постійного тиску C_p), **ізохорну теплоємність** (за постійного об'єму C_v), теплоємність у стані насичення (температура і тиск змінюються відповідно до залежності тиску насичених парів від температури). Теплоємність за постійного тиску C_p завжди більша від теплоємності за постійного об'єму C_v .

Теплоємність рідких продуктів перероблення нафти вперше вивчав М.М. Караваєв у 1913 р. Пізніше багато вчених досліджували це питання. Встановлено, що зі збільшенням густини і молекулярної маси

вуглеводнів їх теплоємність знижується, за винятком ароматичних вуглеводнів. З підвищенням температури теплоємність рідких нафтопродуктів зростає. Теплоємність нафтопродуктів парафінової основи за сталої температури приблизно на 15 % більша, ніж теплоємність нафтопродукту нафтової або ароматичної основи (за умови однакової густини цих нафтопродуктів). Теплоємність вуглеводнів нормальної будови є вищою, ніж теплоємність ізомерів. Для рідин ізобарна теплоємність незначно перевищує ізохорну, тобто $C_p \approx C_v$.

Істинну питому теплоємність рідких нафтопродуктів з відносною густиною 0,72–0,96 в інтервалі температур 0–400 °C можна визначити за формулою Крега:

$$C_t = \frac{0,762 + 0,0034 \cdot T_c}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}}, \quad (1.38)$$

де ρ_{15}^{15} – відносна густина нафтопродуктів; T_c – температура, за якої визначалася теплоємність, К.

Точнішою формулою, що враховує хімічний склад нафтопродуктів, є формула Ватсона і Нельсона:

$$C_p = [1,2807 - 0,7025 \cdot \rho_{15}^{15} + T(0,00615 - 0,0023 \cdot \rho_{15}^{15})] \cdot (0,067 \cdot K + 0,35), \quad (1.39)$$

де K – характеризуючий фактор; ρ_{15}^{15} – відносна густина нафтопродуктів; T – температура, за якої визначалася теплоємність, К.

Теплоємність вуглеводневих газів і пари на відміну від рідких нафтопродуктів залежить не тільки від їх хімічного складу та температури, а й від тиску. Для ідеальних газів ізобарна масова теплоємність (C_p) є більшою, ніж ізохорна (C_v):

$$C_p = C_v = R, \quad (1.40)$$

де R – газова стала, що дорівнює 8,315 кДж/(кг·К).

Теплоємність – це адитивна фізична величина. Знаючи склад суміші, масові теплоємності та концентрації її компонентів, можна визначити масову теплоємність суміші нафтопродуктів за формулою:

$$C_{\text{сум}} = C_1 m_1 + C_2 m_2 + \dots + C_n m_n \quad (1.41)$$

де $C_1, C_2, \dots, C_n$ – масові теплоємності компонентів, кДж/кг·К;
 $m_1, m_2, \dots, m_n$ – масові концентрації компонентів, мас. частки.

Ентальпія

Питома ентальпія рідких нафтопродуктів за температури T – це кількість тепла q_T^p , що необхідно витратити на нагрівання 1 кг рідини від $T_0 = 273$ К до T , К:

$$q_T^p = \int_{T_0}^T C \cdot dT, \quad (1.42)$$

де C – дійсна масова теплоємність нафтопродукту, кДж/кг·К.

Підставляючи в цю формулу значення теплоємності з формули (1.36), одержуємо:

$$q_T^p = \frac{0,0017 \cdot T^2 + 0,762 \cdot T - 334,25}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}} \quad (1.43)$$

Позначивши $a = (0,0017 \cdot T^2 + 0,762 \cdot T - 334,25)$, одержимо спрощене рівняння для розрахунку ентальпії:

$$q_T^p = \frac{a}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}} \quad (1.44)$$

Для зручності значення коефіцієнта a розраховані за різних температур і наведені у таблиці з дод. 4.

Складаючи теплові баланси, часто потрібно підраховувати кількість тепла, затраченого на нагрівання рідкого нафтопродукту від температури T_1 до температури T_2 .

При цьому можна користуватися формулою

$$Q = G \cdot (q_{T_1}^p - q_{T_2}^p) \quad (1.45)$$

де Q – кількість тепла, затраченого на нагрівання нафтопродукту, кДж; G – кількість нафтопродукту, кг; $q_{T_1}^p$ і $q_{T_2}^p$ – ентальпія рідкого нафтопродукту відповідно за температури T_1 і T_2 , кДж/кг.

Величина ентальпії нафтопродукту в паровій фазі складається з кількості тепла, затраченого на нагрівання рідкого нафтопродукту від $T_0 = 273 \text{ К}$ до температури кипіння, на його випаровування та на перегрівання пари від температури кипіння до заданої температури T :

$$q_T^n = q_{\text{нагр.}} + q_{\text{випар.}} + q_{\text{перегр.}} \quad (1.46)$$

де q_T^n – ентальпія нафтопродукту в паровій фазі за температури T , кДж/кг; $q_{\text{нагр.}}$ – кількість тепла, затраченого на нагрівання рідкого нафтопродукту від T_0 до температури $T_{\text{кип}}$ кДж/кг; $q_{\text{випар.}}$ – кількість тепла, затраченого на випаровування нафтопродукту за температури кипіння, кДж/кг; $q_{\text{перегр.}}$ – кількість тепла, затраченого на перегрівання парів нафтопродукту від температури кипіння $T_{\text{кип}}$ до кінцевої температури T , кДж/кг.

Для визначення ентальпії вуглеводневої пари застосовують формулу Б.П. Воїнова:

$$q_T^n = (129,28 + 0,136 \cdot T + 0,000586 \cdot T^2) \cdot (4 - \rho_{15}^{15}) - 309,0 \quad (1.47)$$

або

$$q_T^n = a \cdot (4 - \rho_{15}^{15}) - 309,0 \quad (1.48)$$

де $a = (129,28 + 0,136 \cdot T + 0,000586 \cdot T^2)$, T – температура пари, К; ρ_{15}^{15} – відносна густина.

Для прискорення розрахунків можна користуватися даними таблиці з дод. 5, в яких наведені числові значення величини a , розраховані для різних температур.

Тиск не впливає на ентальпію ідеальних газів. Ентальпія пари нафтопродуктів з підвищенням тиску знижується. Для визначення ентальпії нафтопродуктів за підвищеного тиску спочатку знаходять їх ентальпію за атмосферного тиску і від одержаної величини віднімають поправку на підвищений тиск (рівняння 1.49).

$$q_{TP}^n = q_T^n - \Delta q, \quad (1.49)$$

де q_{TP}^n – ентальпія пари нафтопродукту за температури T і тиску P , кДж/кг; q_T^n – те саме за атмосферного тиску, кДж/кг; Δq – поправка ентальпії пари на підвищений тиск, кДж/кг.

Поправку Δq можна обчислити з рівняння:

$$\frac{\Delta q \cdot M}{T} = \frac{-4,4 \cdot P_{\text{пр}}}{T_{\text{пр}}^2} \quad (1.50)$$

де M – молекулярна маса нафтопродукту; T – температура пари, К;
 $P_{\text{пр}}$ – приведений тиск; $T_{\text{пр}}$ – приведена температура.

Ентальпію суміші можна вважати адитивною величиною, якщо знехтувати теплою розчинення компонентів суміші один в одному:

$$q_{\text{сум.}} = \sum_1^m q_i \cdot x_i \quad (1.51)$$

де q_i та x_i – ентальпія й частка компоненту в суміші.

Теплопровідність

Теплопровідністю називають процес поширення тепла в газоподібних, рідких і твердих тілах, що відбувається без переміщення речовини, з якої складається тіло, без конвекції та випромінювання.

Теплопровідність нафтопродуктів залежить від їх хімічного складу, фазового стану, температури і тиску. Найменшу теплопровідність мають гази і пари, найбільшу – тверді нафтопродукти, проміжне місце займають рідини.

Коефіцієнт теплопровідності індивідуальних вуглеводнів у рідкому стані за тиску 0,1 МПа і температури 273 К можна знайти за формулою:

$$\lambda_{273} = 0,1717 - 0,385 \cdot 10^{-3} \cdot M, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \quad (1.52)$$

де M – молекулярна маса вуглеводню.

Коефіцієнт теплопровідності рідких моторних палив можна розраховувати залежно від їх відносної густини:

$$\lambda_{273} = \frac{117,2}{\rho_{15}^{15}}, \quad (1.53)$$

де ρ_{15}^{15} – відносна густина.

Коефіцієнт теплопровідності нафтових фракцій можна визначити за формулою Расторгуєва залежно від безрозмірного показника складу

фракції Φ :

$$\lambda_{303} = \frac{0,105 + 0,97 \cdot 10^{-4} \cdot (T_{\text{сер.кип.}} - 323)}{\Phi^2}, \quad (1.54)$$

$$\Phi = \rho_4^{20} + \frac{100}{T_{\text{сер.кип.}}}. \quad (1.55)$$

Теплопровідність рідких нафтопродуктів можна розрахувати за формулою Крега:

$$\lambda_T = \frac{0,1175}{\rho_{15}^{15}} \cdot (1,1474 - 0,00054 \cdot T) \quad (1.56)$$

Для більшості рідких нафтопродуктів теплопровідність зменшується з підвищенням температури. Ця залежність описується рівнянням:

$$\lambda_T = \lambda_{293} \cdot [1 - \alpha \cdot (T - 293)], \quad (1.57)$$

де λ_T і λ_{293} – теплопровідність за температури відповідно T і 293 К, Вт/(м·К); α – коефіцієнт, $\alpha = 0,00078$ – $0,00120$; T – температура, К.

З підвищенням тиску теплопровідність рідких нафтопродуктів зростає, однак це зростання дуже незначне і виявляється за тиску, більшому за 3,5 МПа. У разі підвищення тиску до 10 МПа приріст теплопровідності становить усього 2%, а за тиску 68 МПа – близько 20 %.

Теплота згорання

Кількість теплоти, що виділяється під час повного згорання одиниці маси (1 кг рідкого або твердого) або одиниці об'єму (1 м³ газоподібного) палива називають **питомою теплотою згорання (теплотворністю) палива** (далі – **теплота згорання**).

Під час згорання вода, що міститься в паливі та утворюється від згорання водню, перетворюється на пару. На пароутворення води витрачається теплота. Теплоту Q згорання називають вищою Q_v у тому випадку, коли пари води конденсуються і теплота, що затрачена на пароутворення, звільнюється. Якщо ж пари води виносяться з димовими або відпрацьованими газами, частина теплоти втрачається і таку теплоту називають нижчою Q_n . Теплоту згорання визначають експериментально у

спеціальних приладах – калориметрах і розрахунковими методами. Зміст калориметричного методу визначення теплоти згорання палива полягає в тому, що під час спалювання певної кількості палива у спеціально закритих камерах калориметричних установок, теплота продуктів згорання передається воді і при цьому її оцінюють за підвищенням температури в калориметрі.

Під час визначення теплоти згорання розрахунковими методами необхідно знати елементний склад палива. Найчастіше визначають теплоту згорання за законом Г. І. Геса, згідно з яким теплота залежить від складу початкових і кінцевих продуктів та не залежить від проміжних реакцій. Підрахована у такий спосіб теплота згорання буде трохи відрізняться від фактичної, оскільки горючі елементи у паливі перебувають не у вільному стані, а утворюють різні органічні сполуки, на руйнування яких витрачається частина теплоти. Тому згорання палива дає менший тепловий ефект, ніж згорання окремих елементів, що входять до його складу, що і враховується коефіцієнтами формул. На практиці найчастіше для визначення теплоти згорання застосовують формули Д. І. Менделєєва, відповідно до яких теплоту згорання рідких і твердих палив, кДж/кг, визначають так:

$$Q_b = 339C + 1256H - 109(O - S); \quad (1.58)$$

$$Q_n = Q_b - 25(9H + W) = 339C + 1090H - 109(O - S) - 25W, \quad (1.59)$$

де C , H , O , S , W – елементний склад палива, відсотки за масою; 25 – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти, що виносяться продуктами згорання в атмосферу (1 кг пари при виносі в атмосферу забирає 2500 кДж/кг); $9H$ – число масових частин води, що утворюється під час згорання однієї масової частини водню.

Теплоту згорання газоподібного палива, кДж/м³, у розрахунку на суху масу визначають за формулами:

$$Q_b = 128(CO + O_2) + 339CH_4 + 639C_nH_m; \quad (1.60)$$

$$Q_b = 128CO + 108H_2 + 356CH_4 + 589C_nH_m, \quad (1.61)$$

де CO , H_2 , CH_4 , C_nH_m – склад газоподібного палива, проценти за об'ємом за нормальних умов (0 °C, тиск 760 мм рт. ст.).

Теплоту згорання робочої маси газоподібного палива, що містить вологу підраховують за формулами:

$$Q_n^p = Q_b^c \frac{0,805}{0,805 + W}; \quad (1.62)$$

$$Q_n^p = Q_n^c \frac{0,805}{0,805 + W}; \quad (1.63)$$

де 0,805 – маса 1м³ газу, кг.

Для порівняння різних видів палива, а також для обліку загальних запасів палива та складання замовлень встановлений еталон – умовне паливо. **Умовне паливо** – це єдиний еквівалент всіх видів палива за теплою згорання. Розрахункова теплота згорання умовного палива для твердого і рідкого палива дорівнює 29307 кДж/кг, а для газоподібного – 29308 кДж/кг.

Під час порівняння палив визначають їх теплові (калорійні) еквіваленти, що є відношенням теплоти згорання будь-якого палива до теплоти згорання умовного:

$$E = \frac{Q_n^p}{29307} \quad (1.64)$$

Щоб перерахувати фактичне паливо в умовне потрібно його масову кількість помножити на тепловий еквівалент (табл. 1.8).

Основи теорії горіння палива

Горіння будь-якого виду палива – це складний фізико-хімічний процес, що характеризується трьома ознаками:

- 1) хімічним перетворенням, що складається з елементарних хімічних реакцій окиснювально-відновлювального типу;
- 2) виділенням тепла;
- 3) випромінюванням тепла.

Таблиця 1.8

Теплота згорання й теплові еквіваленти палива та вуглеводнів

Найменування палива, сполуки	Теплота згорання, кДж/кг	Тепловий еквівалент
Умовне паливо	29307	1,00
Кам'яне вугілля	29310	1,00
Антрацит	30230	1,03
Буре вугілля	14235	0,49
Торф	13440	0,46
Деревина	12500	0,43
Нафта	41867	1,43
Бензин	44000	1,50
Гас (керосин)	43200	1,47
Дизельне паливо	42600	1,45
Мазут	41150	1,40
Гази:		
- природний	35586	1,21
- водяний	10885	0,37
- світільний	18000	0,63
- зріджений	46000	1,57
Бутан	45800	1,56
Ізооктан	44600	1,52
Бензол	41000	1,40
Метанол	19000	0,65
Етанол	26400	0,90

Розрізняють **гомогенне** (хімічно однорідне) і **гетерогенне** (неоднорідне) горіння. Залежно від фазового стану речовин, що реагують в процесі горіння (тверді, рідкі, газоподібні), хімічні реакції поділяють на гомогенні, що відбуваються між компонентами, котрі перебувають в одній фазі (наприклад, у газоподібному стані), і гетерогенні, що відбуваються на межі двох фаз. Прикладами гомогенного горіння є горіння добре перемішаних газового палива й повітря, а також горіння рідких палив, що швидко випаровуються. При цьому мається на увазі їх перемішування з окиснювачем перед процесом горіння. Прикладами гетерогенного горіння служить горіння твердих палив і горіння крапель рідких важких палив, коли фронт горіння встановлюється на межі розподілу палива і окиснювача. Горіння палива є потоковим процесом і для його перебігу необхідно підведення компонентів (палива і окиснювача) у зоні реакції і відведення з неї продуктів згорання.

Крім того, під час згорання газоподібного палива, розглядають так зване факельне, безполум'яне та каталітичне горіння. **Факельне** горіння спостерігається тоді, коли газ і повітря не змішуються, а подаються в камеру згорання роздільно. **Безполум'яне** горіння здійснюється спалюванням газоповітряної суміші поблизу розжареної вогнетривкої поверхні. **Каталітичне** горіння спостерігається у тому разі, коли спалювання газоповітряної суміші відбувається у середовищі каталізатора (нікель, кобальт, хром, молібден, вольфрам, платина, паладій, іридій, родій).

Прикладом гомогенного горіння є горіння пари, що підіймається з вільної поверхні рідини або горіння газу, що виходить з труби. Прикладом гетерогенного горіння (горіння на поверхні твердої речовини) є горіння антрациту, коксу, деревного вугілля.

Реакція горіння відбувається не безпосередньо між молекулами вихідних речовин (палива і окиснювача), а через проміжні стадії. Цим визначається ланцюговий механізм горіння, розроблений М.М. Семеновим. Реакція горіння є результатом низки ланцюгових реакцій, що перебігають послідовно.

Організація перебігу процесу горіння можлива у ламінарному та турбулентному потоках окиснювача. У загальному випадку час горіння t_r палива складається із часу перебігу фізичних t_f і хімічних t_x процесів:

$$t_r = t_f + t_x \quad (1.65)$$

Швидкість хімічної взаємодії виражається зміною концентрацій речовин, що реагують, за одиницю часу.

Самозайманням називають ініціювання горіння у всьому обсязі реакційної суміші. Самозайманням може статися при досягненні деякого граничного значення температури, що називають температурою самозаймання T суміші. Ця температура не є фізико-хімічною характеристикою, а залежить для кожного палива від умов підведення і відведення теплоти та інших факторів. Температура самозаймання водню перебуває у межах 580–590°C, оксиду вуглецю – 644–658°C, метану – 650–750°C.

У більшості технічних пристроїв горіння ініціюється не самозайманням, а запалюванням за допомогою факела чи електричної іскри.

Для процесу горіння необхідно, щоб горючі речовини й окиснювач

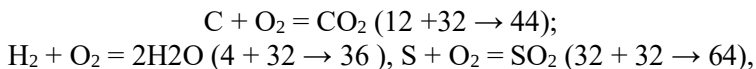
мали деяку (певну для кожної речовини) температуру, за якої порівняно швидко відбувається їх взаємодія. Температура, за якої хімічний процес різко прискорюється у разі зіткнення з відкритим полум'ям і речовина займається, називається **температурою займання**. Якщо займання речовини відбувається за відсутності відкритого полум'я, матимемо **температуру самозаймання**. Подальше горіння продовжується внаслідок безперервного виділення тепла.

Швидкість процесу горіння залежить в основному від умов сумішоутворення. Залежно від цього горіння розділяють на **кінетичне** і **дифузійне**. Якщо процес утворення суміші «паливо – повітря» передусе горінню, то горіння називають кінетичним, і якщо процеси відбуваються одночасно – дифузійним. На практиці, як правило, відбувається змішане горіння – дифузійно-кінетичне.

За температуру горіння беруть температуру, до якої нагріваються газоподібні продукти згорання внаслідок горіння палива. Розділяють температуру горіння теоретичну і дійсну. **Теоретична температура горіння** – це максимальна температура, яка може бути досягнута за відсутності втрат теплоти від теплообміну. У реальних умовах процес горіння супроводжується теплообміном і тепловими втратами, тому продукти згорання мають фактичну температуру горіння, що нижча від теоретичної.

Співвідношення палива й окиснювача, що відповідає хімічній реакції повного окиснення паливних елементів, називається **стехіометричним**.

Кількість кисню, теоретично необхідну для спалювання 1 кг твердого або рідкого палива, можна визначити на основі стехіометричного відношення для реакцій горіння елементів горючої маси палива (C, H, S). Із рівнянь повного згорання цих елементів:



враховуючи їх атомну масу, знаходимо, що для спалювання 12 кг вуглецю потрібно 32 кг кисню, тобто для спалювання 1 кг вуглецю потрібно $32/12 = 2,67$ кг кисню. Аналогічно, для спалювання 1 кг водню потрібно 8 кг кисню, а для спалювання 1 кг сірки – 1 кг кисню.

Тоді формула для підрахунку теоретично необхідної кількості кисню, кг, для спалювання 1 кг палива буде мати вигляд:

$$O_T = \frac{2,67C + 8H + S - O}{100} \quad (1.66)$$

де С, Н, S, О – хімічні елементи горючої частини палива, % за масою.

Для спалювання палива, зазвичай, подається повітря, в якому кисень становить 23,2 % за масою. Тоді теоретичну необхідну кількість повітря, кг, для спалювання 1 кг палива визначають за формулою:

$$L_T = \frac{2,67C + 8H + S - O}{23,2} \quad (1.67)$$

Кількість повітря зручніше визначати в м³/кг. Тоді формула матиме вигляд:

$$L_T = \frac{2,67C + 8H + S - O}{23,2 \cdot 1,29} \quad (1.68)$$

де 1,29 – маса 1 м³ повітря.

Для газоподібного палива кількість повітря (м³/м³) визначають за формулою:

$$L_T = \frac{0,5(H_2 + CO) + \left(n + \frac{m}{4}\right)C_nH_m - O_2}{21}, \quad (1.69)$$

де n – число атомів вуглецю; m – число атомів водню; 21 – вміст кисню у повітрі, % за об'ємом.

Склад газу у формулі наведений у відсотках за об'ємом.

У виробничих умовах здійснити повне спалювання палива з теоретично необхідною кількістю повітря практично неможливо. Тому для повного спалювання, як правило, подають надлишок повітря, тобто процес відбувається не з розрахунковою, а з фактичною (дійсною) кількістю повітря L_d .

Відношення дійсної витрати повітря до теоретично необхідної для спалювання 1 кг (1 м³) палива називають коефіцієнтом надлишку повітря (α):

$$\alpha = L_d / L_T \quad (1.70)$$

Коефіцієнт надлишку повітря визначають за формулами:

- під час повного згорання:

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3,76O_2}{N_2}} \quad (1.71)$$

- під час неповного:

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3,76(O_2 - 0,5CO)}{N_2}} \quad (1.72)$$

де O_2 , CO , N_2 – відсотковий вміст за об'ємом у продуктах згорання відповідно кисню, оксиду вуглецю й азоту (підраховують за різницею $N_2 = 100 - (CO_2 + O_2 + CO)$).

Теплота згорання ППС ($Q_{ппс}$) залежить від кількості теплоти, що виділяється паливом в об'ємі повітря:

$$Q_{ппс} = \frac{Q}{1 + \alpha L_T} \quad (1.73)$$

Для різних видів палива теплота згорання нормальних ППС приблизно однакова – 2770 кДж/кг.

Наприклад, залежність необхідного октанового числа (ОЧ) бензину і потужності двигуна від складу робочої суміші (РС) (коефіцієнта надлишку повітря) ілюструється даними табл. 1.9.

Таблиця 1.9

**Залежність октанового числа й потужності
двигуна від складу робочої суміші**

Коефіцієнт надлишку повітря	0,6	0,7	0,85	0,9	1,0
Необхідне октанове число	65	75	78	77	65
Потужність двигуна, %	93	97	100	100	90

Таким чином, через збагачення РС можна значно знизити ймовірність виникнення та інтенсивність детонації. Проте збагачення РС як засіб зменшення детонації має суттєвий недолік, оскільки під час збагачення РС значно зросте питома витрата бензину.

Паливно-повітряну суміш, що змішалась із залишковими газами від попереднього циклу в циліндрі двигуна, називають робочою. Якщо потрібно визначити її теплоту згорання, то вносять поправку на коефіцієнт надлишкових газів. На практиці теплоту згорання ППС і РС

порівнюють. Характер процесу горіння можна визначити за складом продуктів згорання палива. Для цього існують різні газоаналізатори: хімічні, електричні, магнітні, механічні. Найпоширеніші прості хімічні газоаналізатори, котрі дозволяють визначити у відпрацьованих газах вміст вуглекислого газу, кисню й оксиду вуглецю. Принцип дії газоаналізаторів полягає в поглинанні розчинами певних складових елементів відпрацьованого газу, що послідовно пропускають через ці розчини. За відповідним збільшенням об'єму знаходять відсотковий вміст кожного окремого поглинутого компонента. Так, відсутність оксиду вуглецю свідчить про повне згорання палива, а наявність CO, CH і H₂ про неповне.

Температури спалаху, займання та самозаймання

До температур, що характеризують ті або інші фізичні властивості або фазові переходи нафтопродуктів, зараховують температури спалаху, займання, самозаймання, початку кристалізації, застигання тощо. Усі ці температури впливають на експлуатаційні властивості моторних палив і включені до переліку показників відповідних стандартів.

Температурою спалаху називається температура, за якої нафтопродукт, що нагрівається за стандартних умов, виділяє таку кількість пари, що утворюють з навколишнім повітрям горючу суміш, що спалахує у разі піднесення до неї полум'я.

Для індивідуальних вуглеводнів температуру спалаху можна визначити за формулою:

$$T_{\text{сп}} = 0,736 \cdot T_{\text{кип}}, \quad (1.74)$$

де $T_{\text{сп}}$ – температура спалаху, К; $T_{\text{кип}}$ – температура кипіння, К.

Оскільки моторні палива википають у широкому інтервалі температур, їх температура спалаху пов'язана з середньою температурою кипіння, тобто з випаровуваністю. Що легшою є фракція нафти, то нижча її температура спалаху. Зокрема бензинові фракції мають від'ємні (до мінус 40 °C) температури спалаху, газові – 28–60 °C. Присутність вологи і продуктів розпаду у нафтопродукті впливає на величину його температури спалаху. Цим користуються у виробничих умовах для визначення чистоти нафтових фракцій, що одержують під час перегонки.

Для оливних фракцій температура спалаху показує наявність у них легких вуглеводнів. Серед оливних фракцій різного вуглеводневого складу найвищу температуру спалаху мають оливи з парафіністих малосмолистих нафт. Оливні фракції тієї самої в'язкості, виділені зі смолистих нафто-ароматичних нафт, характеризуються нижчою температурою спалаху.

Стандартизовані два типи методів визначення температури спалаху нафтопродуктів: у відкритому і закритому тиглях. Різниця між температурами спалаху одних і тих самих нафтопродуктів за визначення у відкритому та закритому тиглях доволі велика.

У закритому тиглі необхідна кількість вуглеводневої пари накопичується швидше, ніж у приладах відкритого типу. Крім того, у відкритому тиглі утворена пара вільно дифундує у повітря. Зазначена різниця тим більша, чим вища температура спалаху нафтопродукту. Домішки бензину або інших низькокиплячих фракцій у важчі фракції різко підвищують різницю в температурах їх спалаху у відкритому і закритому тиглях.

Усі речовини, що мають температуру спалаху в закритому тиглі меншу, ніж 61°C , називають легкозаймистими рідинами. Такі рідини поділяються на особливо небезпечні ($T_{\text{сп}} < \text{мінус } 18^{\circ}\text{C}$), постійно небезпечні ($T_{\text{сп}}$ від мінус 18°C до 23°C) і небезпечні за підвищених температур ($T_{\text{сп}}$ від 23°C до 61°C).

За температурою спалаху нафтопродукту прийнято формулювати висновки про можливість утворення вибухових сумішей його пари з повітрям. Суміш пари з повітрям стає вибуховою, коли концентрація горючої пари у ній досягає певного значення. Розрізняють нижню і верхню межу вибуховості суміші пари нафтопродукту з повітрям. Якщо концентрація пари нафтопродукту менша від нижньої межі вибуховості, вибуху не буде, оскільки наявний надлишок повітря поглинає тепло, що виділяється у вихідній точці вибуху, і отже, запобігає загоранню решти палива. Під час концентрації горючої пари у повітрі, вищій за верхню межу вибуховості, вибуху не буде внаслідок нестачі кисню у суміші. Нижню та верхню межі вибуховості вуглеводнів визначають за формулами:

$$N_{\text{н}} = \frac{100}{4,85 \cdot (m - 1) + 1}; \quad (1.75)$$

$$N_B = \frac{100}{1,21 \cdot (m + 1)}, \quad (1.76)$$

де m – кількість атомів кисню, необхідна для горіння однієї молекули вуглеводню.

Нижче наведені межі вибуховості (% об.) сумішей індивідуальних вуглеводнів та деяких сполук з повітрям:

Вуглеводень	Nн	Nв	Вуглеводень	Nн	Nв
Метан	5,0	15,0	Ацетилен	2,5	81,0
Етан	2,9	15,0	Циклогексан	1,2	10,6
Пропан	2,1	9,5	Бензол	1,4	7,1
Бутан	1,8	9,1	Толуол	1,3	6,7
Пентан	1,4	7,8	Оксид вуглецю	12,5	74,0
Гексан	1,2	7,5	Водень	4,0	75,0
Етилен	3,0	32,0	Етиловий спирт	3,6	19,0
Пропілен	2,2	10,3			

У гомологічному ряді парафінових вуглеводнів з підвищенням молекулярної маси нижня та верхня межі вибуховості понижуються, а інтервал вибуховості звужується. Ацетилен, оксид вуглецю та водень характеризуються найширшими інтервалами вибуховості, тому вони найбільш вибухонебезпечні.

З підвищенням температури суміші інтервал її вибуховості трохи звужується. Присутність у суміші інертних газів також звужує інтервал вибуховості. Збільшення тиску зумовлює підвищення верхньої межі вибуховості.

Межі вибуховості пари бінарних і складніших сумішей вуглеводнів можна визначити за формулою:

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_n}{N_n} = \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_n}{N_{\text{сум}}}, \quad (1.77)$$

звідки маємо:

$$N_{\text{сум}} = \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_n}{\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_n}{N_n}}, \quad (1.78)$$

де $N_{\text{сум}}$ – межа вибуховості суміші; $n_1, n_2, \dots, n_n$ – концентрація компонентів суміші, % об.; $N_1, N_2, \dots, N_n$ – нижня або верхня межі вибуховості кожного з компонентів суміші.

Для визначення температури спалаху характерно, що суміш спалахує й одразу ж гасне. Якщо ж рідину продовжувати нагрівати, можна знову спостерігати спалах пари, при цьому продукт певний час горітиме. Найнижча температура, за якої спостерігається описане явище, називається **температурою займання**. Температуру займання визначають у відкритому тиглі на тому самому приладі, що й температуру спалаху.

Якщо нафтопродукт нагріти до високої температури, а потім дати доступ до нього повітрю, то він може самовільно загорітися.

Температуру, за якої контакт нафтопродукту з повітрям спричиняє його займання та стійке горіння без піднесення джерела вогню, називають **температурою самозаймання**. Температура самозаймання нафтопродуктів залежить не від випаровуваності, а від їх хімічного складу. Найвищу температуру самозаймання мають ароматичні вуглеводні, а також нафтопродукти з їх високим вмістом; найнижчу – парафінові вуглеводні. Що вища молекулярна маса вуглеводнів, то нижча їх температура самозаймання, оскільки вона залежить від окиснювальної здатності. З підвищенням молекулярної маси вуглеводнів їх окиснювальна здатність зростає і вони вступають у реакцію окиснення (що й зумовлює горіння) за нижчої температури.

Температуру самозаймання нафтопродуктів визначають у відкритій колбі нагріванням до появи полум'я у колбі. Температура самозаймання є на сотні градусів вищою від температури спалаху та займання.

Нижче наведені температури самозаймання деяких індивідуальних вуглеводнів і нафтопродуктів (°C):

Н-гексан	260,6	Авіаційний бензин	425,0
Циклогексан	270,0	Паливо для повітряно-реактивних двигунів	380,0
Бензол	591,7	Газойль	360,0

Самозаймання нафтопродуктів часто є причиною пожеж у разі порушення герметичності фланцевих з'єднань, ретурбентів у трубчастих печах тощо.

Температура помутніння

Температура помутніння – це максимальна температура, за якої в наскрізному світлі паливо втрачає прозорість (мутніє) порівняно з еталонним взірцем. Регламентують цей показник для авіаційних бензинів, реактивних і дизельних палив.

Температура помутніння визначається стандартним методом у пробірках із подвійними стінками, в яких охолоджують нафтопродукт. Температуру, за якої з'являється мутність у нафтопродукті, що перебуває в охолоджуваній пробірці порівняно з контрольною, приймають за температуру помутніння.

Помутніння нафтопродуктів зумовлене наявністю в них *n*-алканів і незначної кількості води, котрі в разі охолодження першими утворюють дрібні кристали в об'ємі палива.

Температура початку кристалізації

Температура початку кристалізації характеризує низькотемпературні властивості авіаційних палив (бензинів і палив для ПРД), у складі яких практично немає *n*-алканів. Температура початку кристалізації визначається аналогічно, як і температура помутніння. За температуру початку кристалізації беруть максимальну температуру, за якої у досліджуваному паливі неозброєним оком виявляють кристали нафтових і ароматичних вуглеводнів, насамперед бензолу, що за температури 5,5°C переходить у твердий стан. Утворені кристали не впливають на текучість палив, однак вони небезпечні для експлуатації двигунів, оскільки можуть забивати їх паливні фільтри й перешкоджати подаванню до них палива. Тому згідно зі стандартами температура початку кристалізації авіаційних бензинів і палив для ПРД не повинна перевищувати, наприклад, мінус 60°C.

Гранична температура фільтрованості

Гранична температура фільтрованості (ГТФ) характеризує низькотемпературні властивості палив (особливо дизельних палив обваженого фракційного складу). Визначення ГТФ полягає в тому, що

зразок досліджуваного палива, поступово охолоджуючи, прокачують під вакуумом через стандартний фільтр. За ГТФ беруть температуру, за якої проходження палива через фільтр припиняється. Це пов'язано з утворенням в об'ємі палива за низьких температур достатньої кількості кристалів парафіну, що, осідаючи на поверхні фільтра, повністю його забивають. ГТФ звичайно нижча, ніж температура помутніння на 3–8 °С.

Температура застигання

Велике значення під час транспортування та використання нафтопродуктів у зимових умовах має їх рухливість за низьких температур. Температура, за якої нафтопродукт у стандартних умовах випробувань втрачає рухливість, називається **температурою застигання**.

Втрата рухливості може бути спричинена або підвищенням в'язкості нафтопродукту, або утворенням великої кількості кристалів парафіну та загустінням всієї системи. У парафінистих нафтопродуктах у разі зниження температури кристали утворюють тривимірну сітку – кристалічний каркас. Частина нафтопродукту, що не застигла, перебуває всередині сітки, і отже, робиться нерухливою. Форма кристалів, що виділилися, залежить від хімічного складу вуглеводневого середовища, швидкості їх зростання – від в'язкості середовища, вмісту й розчинності парафінових вуглеводнів за певної температури та швидкості охолодження системи. Швидкість зростання кристалів прямо пропорційна концентрації парафінових вуглеводнів і обернено пропорційна в'язкості.

Смолисті та деякі інші поверхнево-активні речовини (ПАР), адсорбуючись на поверхні кристалів, здатні затримувати процес кристалізації парафінів. Тому температура застигання оливних дистилатів після їх очищення від смол підвищується. Відомі також речовини, що у разі додавання до мінеральних олив знижують їх температуру застигання. Такі речовини називаються **депресорними** додатками, або **депресаторами**.

Нафтові фракції, що не містять парафінових вуглеводнів, можуть втрачати рухливість внаслідок їх високої в'язкості за низьких температур і застигати у вигляді аморфних склоподібних тіл.

Методика визначення температури застигання нафтопродукту полягає в тому, що нафтопродукт нагрівають до температури, за якої повністю або частково розплавляються та розчиняються у нафтопродукті тверді смолисті речовини та кристали парафіну. Для нафтопродуктів,

багатих на смоли і бідних на парафіни, попереднє підігрівання спричиняє зниження температури застигання, оскільки смоли, адсорбуючись на кристалах парафіну, перешкоджають утворенню кристалічної ґратки. Навпаки, температура застигання нафтопродуктів, багатих парафінами, після підігрівання підвищується. Це пояснюється тим, що без термічної підготовки рідка фаза нафтопродукту містить менше парафіну, оскільки частина його вже перебуває у виділеному стані.

Після нагрівання нафтопродукт охолоджують до передбачуваної температури застигання. За цієї температури пробірку з нафтопродуктом нахилиють під кутом 45° і спостерігають за його рівнем. Незалежно від того, змістився рівень нафтопродукту або залишився нерухомим, дослід повторюють, а потім охолоджують нафтопродукт до нижчої або вищої температур. Отже, знаходять ту найвищу температуру, за якої рівень нафтопродукту в пробірці, нахилений під кутом 45° , залишається нерухомим протягом певного часу. Цю температуру беруть за температуру застигання нафтопродукту.

Температура розчинення в аніліні (анілінова точка)

Аніліновою точкою називають мінімальну температуру, за якої рівні об'єми аніліну і досліджуваного нафтопродукту повністю розчиняються, перетворюючись на гомогенний розчин. Відомо, що розчинність різних груп вуглеводнів в аніліні різна: в ньому добре розчиняються ароматичні вуглеводні та погано – парафінові. З підвищенням температури розчинність збільшується, але також швидше для ароматичних вуглеводнів і повільніше для парафінових, оскільки анілінова точка для перших є нижчою, ніж для інших.

Анілінова точка нафтопродукту (бензин, дизельне паливо і паливо для ПРД) опосередковано характеризує його груповий хімічний склад. Що вищою є анілінова точка, то більш парафінистим буде нафтопродукт. Що нижчою є анілінова точка, то більше в нафтопродукті виявиться ароматичних вуглеводнів.

Для визначення анілінової точки найчастіше користуються методом рівних об'ємів. Сутність цього методу полягає в охолодженні пробірки з рівними об'ємами аніліну та досліджуваного нафтопродукту до перших ознак мутності у цій суміші. Температура, що відповідає початковій стадії утворення мутності, й буде аніліновою точкою.

Поверхневий натяг

Нафта – це дисперсна система, що складається з дисперсної фази та дисперсійного середовища. Поверхня частинки дисперсної фази (наприклад, асоціат асфальтенів, глобула води тощо) має надлишок вільної поверхневої енергії F_s , прямо пропорційної до площі поверхні розділу фаз, S :

$$F_s = \sigma \cdot S, \quad (1.79)$$

де σ – питома вільна поверхнева енергія.

Величину σ можна розглядати також як силу, прикладену до одиниці довжини контуру, що обмежує поверхню частинки, спрямовану вздовж цієї поверхні перпендикулярно до контуру. Ця сила прагне стягнути або зменшити поверхню частинки. Її називають поверхневим натягом. Отже, **поверхневий натяг** – це величина, що характеризує стан поверхні рідини на межі поділу фаз. Дію поверхневого натягу можна уявити у вигляді сукупності сил, що стягують краї поверхні до центра. Одиницями вимірювання поверхневого натягу є $\text{Дж/м}^2 = 10^3 \text{ ерг/см}^2$ або $\text{Н/м} = 10^3 \text{ дін/см}$.

У результаті дії сил поверхневого натягу рідина прагне зменшити свою поверхню, тому в разі незначної дії сили земного тяжіння рідина набуває форми кулі, що має мінімальну поверхню на одиницю об'єму.

Поверхневий натяг моторних палив значною мірою залежить від їх хімічного складу. За однакової кількості вуглецевих атомів у молекулі найбільший поверхневий натяг мають ароматичні вуглеводні, найменший – парафінові. Нафтові вуглеводні займають проміжне місце. Наприклад, серед товарних моторних палив найменший поверхневий натяг мають авіаційні бензини, найбільший – дизельні палива. Більшість гетероатомних сполук мають поверхневий натяг, нижчий за вуглеводні.

Поверхневий натяг нафтових рідин залежить від багатьох факторів, найважливішими з яких є температура, тиск, хімічний склад рідини, а також фаз (газ або вода), що з нею контактують.

Поверхневий натяг вуглеводнів і нафтових фракцій є лінійною функцією температури. З підвищенням температури поверхневий натяг зменшується і за критичної температури дорівнює нулю. З підвищенням тиску поверхневий натяг у системі «газ–рідина» також знижується.

Поверхневий натяг нафтопродуктів можна визначити за рівнянням:

$$\sigma = 10^{-5} \cdot (5 \cdot \rho_4^{20} - 1,5). \quad (1.80)$$

Перераховувати поверхневий натяг з однієї температури на іншу можна за допомогою формули:

$$\sigma_t = \sigma_o - 10^{-3} K' \cdot (T - T_o), \quad (1.81)$$

де $K' = 0,07-0,1$ – коефіцієнт, що залежить від типу речовини та є її індивідуальною постійною характеристикою.

Коефіцієнт K' зменшується зі збільшенням вмісту ароматичних вуглеводнів у нафтовій фракції та зростає з підвищенням вмісту в них парафінових вуглеводнів. Зі збільшенням молекулярної маси нафтових фракцій коефіцієнт K' зменшується.

У табл. 1.10 наведено значення поверхневого натягу за тем- ператури 20 °С для деяких речовин (Н/м).

Поверхневий натяг нафтових фракцій можна розрахувати також за емпіричною формулою:

$$\sigma = \frac{681,3}{K} \cdot \left[1 - \left| \frac{T}{13,488} \right|^{1,7654} \right]. \quad (1.82)$$

Таблиця 1.10
**Значення поверхневого натягу компонентів
і товарних продуктів**

Найменування продукту	Значення σ	Найменування продукту	Значення σ
Гексан	0,0184	Етиловий спирт	0,0220
Октан	0,0218	Бензин:	
Гексен	0,0249	авіаційний	0,0205
Циклогексан	0,0280	автомобільний	0,0216
Бензол	0,0289	Лігроїн	0,0237
Толуол	0,0284	Гас	0,0266
Нафталін (127 °С)	0,0280	Дизельне паливо	0,0308

Речовини, що розчиняються в рідині, можуть змінювати її початковий поверхневий натяг. Речовини, додавання яких до рідини зменшує її поверхневий натяг, називаються **поверхнево активними**.

Поверхневий натяг нафти і нафтопродуктів залежить від кількості присутніх у них поверхнево активних компонентів (смолистих компонентів, нафтоєвих та інших органічних кислот тощо). Нафтопродукти із низьким вмістом поверхнево активних компонентів

мають найбільше значення поверхневого натягу на межі розділення з водою, а з високим – найменше. Тому очищені нафтопродукти мають високий поверхневий натяг на межі розділення з водою.

Зменшення поверхневого натягу пояснюється явищем адсорбції ПАР на межі розділення фаз. Зі збільшенням концентрації ПАР поверхневий натяг рідини спочатку інтенсивно зменшується, а потім стабілізується, що свідчить про повне насичення поверхневого шару молекулами ПАР. До ПАР, що різко змінюють величину поверхневого натягу нафт і нафтопродуктів, належать спирти, феноли, смоли, асфальтени, нафтенові та інші органічні кислоти.

З поверхневими силами на межі розділення твердої та рідкої фаз пов'язані явища змочування і капілярні явища, на яких ґрунтуються процеси міграції нафти у пластах, піднімання гасу та оливи по гнотах ламп і маслянок тощо. Для експериментального визначення поверхневого натягу нафт і нафтопродуктів використовують багато різних методів, що детально описані у спеціальній літературі. Тому ми зупинимось коротко лише на деяких.

Метод відриву кільця ґрунтується на прямому вимірюванні величини зусилля, необхідного для відриву стандартного кільця від поверхні поділу двох фаз. За капілярного методу вимірюють висоту піднімання рідини у капілярній трубці. Точнішим різновидом капілярного методу є метод висячої краплі, що ґрунтується на вимірюванні маси краплі рідини, що відривається від каліброваного отвору капіляра.

Найпоширенішим і найзручнішим методом вимірювання поверхневого натягу є метод найбільшого тиску бульбашок або краплин рідини. Такий метод ґрунтується на тому, що у разі витискання бульбашок повітря або краплин рідини з вузького капіляра в іншу рідину поверхневий натяг на межі поділу з тією рідиною, в яку випускають краплину, пропорційний найбільшому тиску, що необхідний для витискання краплини.

Поверхневий натяг σ входить у вираз для так званого парахору P – величини, що зв'язує молекулярну масу M вуглеводнів і їх густину у рідкій ρ_p та в паровій ρ_n фазах:

$$P = \frac{M}{\rho_p - \rho_n} \cdot \sigma^{1/4} \quad (1.83)$$

Парахор вуглеводнів залежить від структури їх молекул: зі збільшенням кількості бокових ланцюгів, подвійних зв'язків,

ароматичних і нафтоених циклів величина паракору зменшується. За однакової температури кипіння вуглеводнів паракор зменшується в такому порядку: *алкани – алкени – циклоалкани – арили*.

Оптичні властивості

До оптичних властивостей нафти і нафтопродуктів належать колір, коефіцієнт заломлення, питома рефракція, оптична густина та активність. Усі ці показники залежать від хімічної природи речовини. Тому оптичні властивості нафтопродуктів певним способом характеризують їх хімічний склад.

Колір

Колір нафти та нафтопродуктам надають асфальтено-смолисті речовини, продукти окиснення вуглеводнів і деякі ненасичені та ароматичні вуглеводні. За кольором, наприклад, сирої нафти формують висновок про відносний вміст у її складі асфальтено-смолистих сполук. Зазвичай чим важчий нафтопродукт, тим він темніший. Колір нафтопродукту – надійний показник рівня його очищення від смолистих домішок, що є одним з показників якості товарних оливи.

Пропускаючи нафту або нафтопродукти через шар відбілювальної глини, можна досягти повного їх знебарвлення. Висвітлення нафти у природних умовах відбувається під час її міграції з глибких надр землі у верхні горизонти через шари глини. Це підтверджується знаходженням смолисто-органічних сполук у глинистих пластах. Для визначення кольору користуються приладами, що називаються колориметрами. Визначення кольору нафтопродукту полягає в порівнянні його кольору з еталонами.

Показник заломлення

Показник заломлення (рефракції) характеризує поворот променя світла в шарі нафтопродукту відносно кута його падіння, тобто,

$$n_D^{20} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}, \quad (1.84)$$

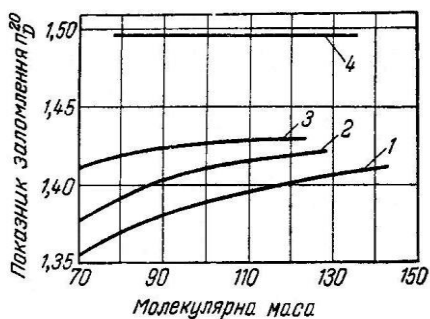
де α_1 і α_2 – кут падаючого променя і кут променя, що проходить через шар нафтопродукту; n_D^{20} – показник заломлення.

За показником заломлення наближено можна робити висновок про груповий вуглеводневий склад нафтопродуктів, а в поєднанні з густиною і молекулярною масою розрахувати структурно-груповий склад нафтових фракцій. Показником заломлення нафтопродуктів широко користуються у науково-дослідних і заводських лабораторіях. Для нафтопродуктів показник заломлення визначають під час проходження світлового променя з повітря в нафтопродукт, тому він завжди більший від 1.

Що більша густина нафтопродукту, то більший його показник заломлення. За однакової кількості вуглецевих атомів у молекулі показник заломлення зростає в такій послідовності: алкани – алкени – циклоалкани – ацени (рис. 1.4).

Рис. 1.4. Залежність показника заломлення вуглеводнів від їх молекулярної маси:

- 1 – парафінові;
- 2 – олефінові;
- 3 – нафтонові;
- 4 – ароматичні



За однакової кількості вуглецевих і водневих атомів у молекулі показник заломлення циклічних вуглеводнів вищий від аліфатичних. Отже, показник заломлення залежить від хімічного складу нафтопродуктів. Крім того, він залежить від температури навколишнього середовища. За підвищення температури нафтопродукту на 1°C його показник заломлення знижується на 0,0004:

$$n_D^t = n_D^{20} - 0,0004 \cdot (t - 20) \quad (1.85)$$

Показник заломлення суміші вуглеводнів або нафтових фракцій визначають за правилом адитивності:

$$n_{D(\text{сум})}^{20} = n_{D(1)}^{20} \cdot x'_1 + n_{D(2)}^{20} \cdot x'_2 + \dots + n_{D(m)}^{20} \cdot x'_m, \quad (1.86)$$

де x'_i – вміст компоненту в суміші, мольна частка; $n_{D_i}^{20}$ – показник заломлення компоненту.

У табл. 1.11 наведені значення густини та показника заломлення деяких вуглеводнів.

Таблиця 1.11

Густина та показник заломлення деяких вуглеводнів

Вуглеводень	Густина, кг/м ³	Показник заломлення
н-Гексан	659,4	1,3749
2,2-Диметилбутан	649,2	1,3688
Гексен-1	673,2	1,3879
Метилциклопентан	748,6	1,4098
Циклогексан	778,6	1,4262
Бензол	879,0	1,5011
Толуол	867,0	1,4969
о-Ксилол	880,2	1,5055

Адитивність властивостей широко використовують для аналізу нафтопродуктів. Прикладом може бути метод визначення відносного вмісту ароматичних вуглеводнів у вузьких фракціях бензину. Для цього знаходять показник заломлення вузької нафтової фракції до n_1 і після вилучення з неї ароматичних вуглеводнів n_2 . За відомим приростом коефіцієнта заломлення нафтової фракції b від додавання до неї 1 % ароматичних вуглеводнів вираховують вміст ароматичних вуглеводнів A за формулою:

$$A = \frac{n_2 - n_1}{b}. \quad (1.87)$$

Найбільшу величину показник заломлення має для променів з найменшою довжиною хвилі, а найменшу – для променів з найбільшою довжиною хвилі. На цій різниці в заломленні променів, що мають різну довжину хвилі, ґрунтується явище дисперсії (розсіювання) світла. Дисперсія, характерна для цієї речовини, визначається різницею показників заломлення двох променів з певною довжиною хвилі $n_{\lambda 1} - n_{\lambda 2}$.

Відношення дисперсії нафтопродукту до його густини є питомою дисперсією:

$$\sigma = \frac{n_{\lambda 1} - n_{\lambda 2}}{\rho} \cdot 10^4, \quad (1.88)$$

де $n_{\lambda 1}$ і $n_{\lambda 2}$ – показники заломлення нафтопродукту для променів відповідно фіолетового (водень) і червоного (водень) частин спектра; ρ – густина нафтопродукту, визначена за тої самої температури, що й показник заломлення.

Питома дисперсія нафтопродуктів відображає залежність між їх

хімічним складом і показником заломлення. Встановлено, що питома дисперсія насичених вуглеводнів (алканів і циклоалканів) лежить у межах 149–158, аренів – у межах 300–500. Цю різницю широко застосовують у хімії нафти для визначення групового складу нафтових фракцій.

Питома рефракція

Питома рефракція (R) – це показник, що пов'язує коефіцієнт заломлення з густиною ρ досліджуваного нафтопродукту (рівняння 1.89).

$$R = \frac{(n_D^{20})^2 - 1}{(n_D^{20})^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho_4^{20}}, \quad (1.89)$$

де n_D^{20} – показник заломлення для променя жовтої частини спектра (лінія натрієвого полум'я); ρ_4^{20} – відносна густина нафтопродукту.

Питому рефракцію застосовують під час визначення структурно-групового вуглеводневого складу олів. Питому рефракцію покладено в основу, так званого, методу «кільцевого аналізу» нафтових фракцій.

Помноживши питому рефракцію на молекулярну масу, одержимо мольну рефракцію:

$$R_M = \frac{(n_D^{20})^2 - 1}{(n_D^{20})^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho_4^{20}} \quad (1.90)$$

Мольна рефракція адитивна для сумішей індивідуальних вуглеводнів, а в поєднанні з такими характеристиками, як паракор, дані спектрального аналізу, вона дає можливість докладніше вивчати вуглеводневий склад нафтових фракцій і будови окремих індивідуальних сполук нафти.

Зокрема встановлено, що збільшення довжини молекули алкану на одну CH_2 групу збільшує мольну рефракцію на 4,6 од.

Оптична активність

Оптична активність – це властивість нафтопродуктів повертати навколо осі площину променя поляризованого світла (переважно праворуч). Природа цього явища відома не до кінця, однак більшість вчених вважають, що воно пов'язане з присутністю у нафтах

поліциклічних нафтенів і аренів. За зменшенням оптичної активності вуглеводні розташовуються в ряді: поліциклічні циклоалкани, циклоалканоарени, поліциклічні ариени, моноциклічні ариени, алкани. Вимірюють кут обертання за допомогою **поляриметрів**.

Електричні властивості

Електричні властивості нафтопродуктів – це явища, що відбуваються в них під дією електричного струму. До найважливіших показників, що характеризують електричні властивості нафто- продуктів, належать електропровідність, електрозбудливість, діелектрична проникність, діелектрична міцність і тангенс кута діелектричних втрат.

Електропровідність – це величина, обернена до електричного опору. Чисті нафтопродукти – погані провідники електричного струму, тому їх часто використовують як електроізолювальні матеріали для кабелів, трансформаторів тощо. Електропровідність рідких нафтопродуктів залежить від вмісту вологи, сторонніх домішок, а також від температури. Чисті вуглеводні та сухі нафтопродукти мають електропровідність від $2 \cdot 10^{-10}$ до $0,3 \cdot 10^{-18}$ (Ом·см)⁻¹. Це дає можливість застосовувати їх як ізолювальне середовище в різноманітних електричних та електронних апаратах високої напруги (трансформаторні та кабельні оливи, парафін, бітум).

Електрозбудливість нафтопродуктів пов'язана з їх здатністю утримувати електричний заряд, що виникає у разі тертя під час руху. За певних умов електричні заряди можуть накопичуватися у нафтопродукті (статична електрика), утворювати іскри та спричинити займання нафтопродукту. Електричний заряд у сотні вольт з'являється, наприклад, у бензині під час полоскання в ньому сухої шерсті або шовку. У разі витягання цих матеріалів з бензину між ними і бензином може проскакувати іскра, що спричинить займання нафтопродукту.

Одним із простих і перспективних методів запобігання накопиченню статичної електрики є додавання до палив спеціальних антистатичних присадок, що одержують на основі продуктів нафтопереробки і нафтохімії. Це нафтенати хрому і кобальту, додецилбензолсульфонат хрому, а також хромові солі синтетичних жирних кислот C₁₇–C₂₀. Якість нафтопродукту з доданим антистатиком характеризується питомою електричною провідністю. Найпростішим засобом, що запобігає накопиченню зарядів, є також заземлення резервуарів, трубопроводів тощо. Діелектрична проникність нафтопродуктів порівняно з іншими діелектриками невелика й доволі

постійна (коливається в межах 2,0–2,5).

Діелектрична міцність нафтопродуктів, або їх *пробивна напруга*, – це величина найменшої напруги електричного струму, за якої між двома дисками (діаметром 25 мм) електродів, занурених у нафтопродукт на відстані 2,5 мм один від одного, проскакує електрична іскра. Цей показник дуже важливий для всіх електричних апаратів високої напруги, заповнених нафтопродуктом, оскільки він визначає їх стійку та безпечну роботу.

Пробивна напруга нафтопродуктів залежить від багатьох чинників, основними з яких є вологість, забрудненість волокнами, пилом тощо, частота струму, температура, тиск. Зі збільшенням вологості пробивна напруга різко знижується. Так, якщо для абсолютно сухої оливи вона становить 200–210 кВ/см, то за вологості оливи 0,002 % мас. пробивна напруга знижується майже вдвічі (120 кВ/см), а у разі вологості 0,01 % мас. сягає 35–40 кВ/см і потім змінюється незначно. Так само впливає забруднення волокнами або твердими частинками.

Вплив температури нафтопродукту на пробивну напругу є екстремальною: до температури 60–80°C вона зростає (наприклад, для олив від 80 до 160 кВ/см), а за подальшого підвищення температури – повільно знижується (до 100 кВ/см за температури 150–160 °C).

За підвищення тиску пробивна напруга лінійно зростає. В умовах вакууму пробивна напруга оливи нижча, ніж за атмосферного тиску.

Для трансформаторних олив пробивна напруга не повинна бути нижчою від 40 кВ/см, а в кабелях з оливним наповненням – не нижче від 150 кВ/см.

Тангенс кута діелектричних втрат

Тангенс кута діелектричних втрат ($\operatorname{tg} \delta$) – показник, що має дуже велике значення для оцінювання ізоляційних властивостей нафтопродуктів.

Під дією електричного поля нагрівається ізоляційна олива. Затрати енергії для нагрівання діелектрика називаються діелектричними втратами. У нейтральних оливах діелектричні втрати пов'язані з електропровідністю, а в оливах з домішками полярних компонентів – і з поляризацією молекул у перемінному електричному полі. Діелектричні втрати, що виникають внаслідок поляризації молекул, характеризуються тангенсом кута діелектричних втрат ($\operatorname{tg} \delta$). Ці втрати сягають максимуму за певної в'язкості оливи і зростають з підвищенням температури. Наприклад, для трансформаторних олив $\operatorname{tg} \delta$ за температури 90 °C не

повинен перевищувати 0,5, а для кабельних олив за температури 100 °С – повинен перебувати у межах 0,01–0,003.

Вивчення діелектричних властивостей олив різного групового вуглеводневого складу показало, що найстійкіші електричні параметри мають оливи, що не містять ароматичних вуглеводнів, асфальто-смолистих речовин і твердих парафінових вуглеводнів.

Розчинність і розчинювальна здатність

Розчинність однієї речовини в іншій переважно визначається Ван-дер-Ваальсовою взаємодією (притяганням) молекул, що можна звести до таких трьох видів:

1) орієнтаційне притягання, що виникає між молекулами, що мають постійні дипольні моменти;

2) індукційне притягання, що виникає між молекулами з постійними та наведеними дипольними моментами;

3) дисперсійне притягання, що виникає в результаті виникнення у разі зближення молекул періодичного збудження електронів, що призводить до тимчасового виникнення диполів. Такі диполі існують дуже короткий час, однак безперервне їх виникнення та узгоджена орієнтація є причиною постійного оновлення міжмолекулярного притягання.

Великий вплив на розчинювальну здатність має водневий зв'язок, що утворюється під впливом електростатичного притягання протону однієї молекули до аніона або електронегативного атома (наприклад, фтору, кисню, азоту, хлору) іншої молекули. Наявність водневого зв'язку призводить до асоціації молекул.

Бензини, наприклад, краще розчиняються у спиртах, ніж у воді. Спирти вибірково розчиняють нафтопродукти: що вища молекулярна маса спирту, то вища його розчинювальна здатність щодо нафтопродуктів. Це пояснюється тим, що вплив вуглеводневої частини молекули спирту переважає вплив гідроксильної групи. На цьому ґрунтується спосіб кількісного визначення парафіну в нафтах. Вибірковою розчинністю за відношенням до спиртів характеризуються також смоли та асфальтени.

Полярні розчинники (фенол, фурфурол, діетиленгліколь тощо) добре розчиняють ароматичні вуглеводні й не розчиняють парафінові та нафтеніві. Що менше бокових ланцюгів у молекулі ароматичних вуглеводнів і що вони коротші, то краща їх розчинність у полярних

розчинниках. Це явище покладено в основу технологічних процесів очищення нафтових фракцій та виділення ароматичних вуглеводнів.

Розчинювальна здатність нафтопродуктів щодо різних речовин неоднакова. Усі вуглеводні розчиняють незначну кількість води – від 0,003 до 0,13% мас. за температури 40°C. Розчинність води у нафтопродуктах зменшується з підвищенням температури їх кипіння (табл. 1.12). Для одного і того самого нафтопродукту розчинність води зростає з підвищенням температури. У ненасичених і ароматичних вуглеводнях вода розчиняється значно краще, ніж у парафінових.

Таблиця 1.12

Розчинність води в нафтопродуктах за різних температур

Найменування нафтопродукту	Розчинність води, % мас, за температур				
	10 °C	20 °C	50 °C	70 °C	95 °C
Бензин	0,004	0,007	0,030	1,000	–
Гас	0,003	0,005	0,024	0,046	0,098
Олива	0,002	0,004	0,013	1,000	0,060

За певних температур і тиску в присутності води вуглеводневі гази здатні утворювати тверді розчини – гідрати ($C_nH_{2n+2} \cdot mH_2O$). Ззовні гідрати нагадують лід або спресований сніг. Утворення гідратів у газопроводах ускладнює їх експлуатацію та може бути причиною аварій. Деякі речовини, розчинні у воді, запобігають гідратуутворенню. У промисловості для запобігання гідратуутворенню використовують метанол. З цією ж метою, а також для осушування вуглеводневих газів використовують ді- і триетиленгліколь.

У нафтах, їх дистилятах і залишках вода може бути у вигляді емульсій, різних за своєю стійкістю та вмістом води.

Утворенню стійких водонафтових емульсій сприяють частинки глини, піску. Смоли, асфальтени, солі (мила) нафтових і жирних кислот. Руйнування емульсій і звільнення нафти від води має велике практичне значення під час транспортування та переробки нафти.

Нафтопродукти є добрими розчинниками рослинних олій та жирів, причому то краще, що менше в жирах гліцеридів і оксикислот, і що більше в розчиннику ароматичних вуглеводнів. Розчинювальна здатність бензинів стосовно жирів залежить від їх фракційного і хімічного складу. Бензини, що містять нафтени та олефіни, мають більшу розчинювальну здатність, ніж бензини, що містять парафінові вуглеводні.

У легкому бензині (фракція 50–70°C), що складається переважно з парафінових вуглеводнів, погано розчиняються оксикислоти. Цю властивість використовують для їх відділення від карбонових кислот і кількісного визначення.

Легкі парафінові вуглеводні – зріджені метан, етан, пропан – не розчиняють смолистих речовин. Це явище покладене в основу промислового процесу деасфальтизації гудрону зрідженим пропаном. Зі збільшенням молекулярної маси парафінових вуглеводнів їх розчинювальна здатність збільшується.

Нафта і нафтопродукти добре розчиняють різноманітні сірчисті сполуки – від газоподібного сірководню до елементної сірки. Здатність нафтопродуктів розчиняти сірчисті сполуки зростає зі збільшенням вмісту в них ароматичних вуглеводнів.

У нафтах і нафтопродуктах добре розчиняються вуглеводневі гази. Нафта, що добувають із земних надр, завжди містить якусь кількість розчинених газів, переважно метану і його гомологів.

Кількість їх тим більша, чим вищий тиск і нижча температура в забої свердловини. Здатність нафтопродуктів поглинати (абсорбувати) вуглеводневі гази широко використовують на нафтопромислах, а також газо- і НПЗ для одержання газового бензину.

Добре розчиняється у нафтопродуктах хлористий водень і аміак.

Горючість та детонаційна стійкість

Властивістю бензину, що визначає характер його горіння в ДВЗ, є детонаційна стійкість. А властивістю, що визначає горіння дизельного палива, є його займистість. Як відомо, для ПРД як паливо використовують газові фракції. Горючість палива для ПРД характеризують такими фізичними властивостями як в'язкість, теплотою згорання, люмінометричне числа (ЛЧ).

Детонаційна стійкість – це здатність палива згорати в циліндрі двигуна з примусовим запалюванням без детонації. Детонація (від лат. *detono* – гриміти) є наслідком аномального горіння ППС в циліндрі ДВЗ. Нормальним вважається горіння бензину, коли від точки запалювання (свічки) фронт полум'я в циліндрі поширюється рівномірно в усі сторони по радіусах сфери з швидкістю 20–50 м/с. Під час аномального горіння одночасно з фронтом нормального горіння в об'ємі ППС, віддаленого від цього фронту, виникають численні джерела самозаймання (мікровибухи), від яких ударна хвиля поширюється з надзвуковою швидкістю – до 2500

м/с. У результаті цього явища робота двигуна супроводжується металічним стуком, що називають детонацією. Детонація спричиняє перегрівання двигуна, зниження його потужності, руйнування деталей шатунно-поршневої групи.

Причиною виникнення детонації є те, що після моменту запалювання тиск у циліндрі двигуна різко зростає. До того ж зростає парціальний тиск кисню, що сприяє інтенсивному окисненню вуглеводнів і утворенню пероксидів і гідрпероксидів – нестійких сполук. Розпадаючись, вони утворюють джерела самозаймання всьому об'ємі ППС. Вони і є причиною різких стрибків тиску в циліндрі ДВЗ, що супроводжуються характерними стуками.

Характер горіння палива визначають такі чинники:

- хімічний склад палива (бензину), тобто співвідношення в ньому різних груп вуглеводнів;
- випаровуваність бензину, тобто його фракційний склад (характеристичні точки – температури википання 50 і 90 % об.);
- якість ППС (коефіцієнт надлишку повітря α).

Серед вуглеводнів, що входять до складу бензинів, найбільшу здатність спричиняти детонацію мають парафінові вуглеводні нормальної будови. Алкани ізобудови та ароматичні вуглеводні, навпаки, характеризуються найвищою детонаційною стійкістю, циклоалкани та алкени займають проміжне місце.

Детонаційна стійкість ізоалканових вуглеводнів підвищується зі збільшенням кількості метильних груп у молекулі. Для аренів і циклоалканів зі збільшенням розгалуженості та зменшенням довжини бокових ланцюгів детонаційна стійкість зростає. Детонаційна стійкість алкенів збільшується з наближенням подвійного зв'язку до центра молекули, з підвищенням їх розгалуженості та із зменшенням молекулярної маси. Нормальні алкани то більше здатні спричиняти детонацію, що більшою є їх молекулярна маса.

Детонаційну стійкість палив для карбюраторних двигунів прийнято виражати ОЧ за умовно прийнятою шкалою. Як еталони для цієї шкали вибрано ізооктан і н-гептан. Антидетонаційні властивості ізооктану (2,2,4-триметилпентану) умовно оцінюють 100 балами, а н-гептану – 0. Октанове число палива (бензину) відповідає відсотковому вмісту ізооктану в суміші з н-гептаном, що за стандартних умов випробування проявляє таку саму детонаційну стійкість, як і досліджуваний бензин.

Октанове число бензинів залежить від співвідношення в них груп вуглеводнів. Саме тому зміною цього співвідношення підбирають

потрібне ОЧ, що перебуває в безпосередній залежності особливостей роботи і параметрів двигуна. Зокрема, що більшими є стискування та діаметр циліндрів двигуна, то вищим повинно бути ОЧ використовуваного бензину.

Для підвищення детонаційної стійкості бензинів до них додають добавки, що запобігають утворенню пероксидних сполук. Їх називають антидетонаторами.

Існує кілька стандартних методів визначення детонаційної стійкості бензинів – моторний (ОЧМ), дослідний (ОЧД), температурний та дорожній, а також метод визначення сортності бензинів.

Моторний і дослідний методи визначення ОЧ полягають у порівнянні детонаційної стійкості бензину з детонаційною стійкістю еталонної суміші за допомогою підбору співвідношення в ній ізооктану та н-гептану. Октанове число на спеціальних установках визначається двома методами: моторним і дослідним.

Визначають ОЧ моторним методом за умов, значно жорсткіших, ніж дослідним методом (табл. 1.13).

Таблиця 1.13

Режим роботи двигуна під час визначення октанового числа карбюраторних палив різними методами

Найменування показника	Метод випробування для палива, що випробовують		
	Моторний	Дослідний	Температурний
	Авіаційні та автомобільні бензини	Автомобільні бензини	Авіаційні бензини
Кількість обертів за хвилину	900	600	1200
Температура, °С		Не контролюється	
робочої суміші оливи в картері охолоджувальної рідини	149 58 100		104,5 66 190,5
Кут випередження запалювання до верхньої мертвої точки, град	26 (за ступеня стискування 5) перемінний	13 для всіх ступенів стискування постійний	35 для всіх ступенів стискування постійний

Тому ОЧ, визначене моторним методом – ОЧМ, відповідає роботі двигуна з підвищеним навантаженням (заміський режим з великими

навантаженнями), а ОЧ, визначене дослідним методом – ОЧД, відповідає порівняно м'яким умовам роботи двигуна (міський режим з невеликими навантаженнями). Октанове число, визначене дослідним методом завжди вище, ніж за моторним. Різницю ОЧ бензину, визначених дослідним і моторним методами називають **чутливістю бензину** (до методу випробовування), що становить від 1–2 до 8–12 одиниць залежно від хімічного складу бензинів.

Метод детонаційних випробовувань повнорозмірних серійних двигунів у стендових та дорожніх умовах є значно складнішим, ніж методи, описані вище. Він призначений для кваліфікаційної оцінки двигунів. За результатами цього методу будують графіки залежності ОЧ бензинів від найважливіших параметрів їх роботи – кута випередження запалювання, частоти обертання колінчастого вала, потужності двигуна тощо.

Відомі аналітичні методи визначення ОЧ бензинів, що використовують його залежність від групового хімічного складу.

Наприклад, для прямогонних бензинів з кінцем кипіння до 200°C запропоновано формулу:

$$\text{ОЧ}_{\text{мм}} = 100A_p + 70Ц + 50I_a - 12H_a = 39,8 + 39A_p = 31,7 + 49Ц = 75,9 + 51I_a \quad (1.91)$$

де A_p , $Ц$, I_a , H_a – масові частки, відповідно, аренів, циклоалканів, ізоалканів та н-алканів у бензині.

Октанове число також можна визначити за емпіричною формулою:

$$\begin{aligned} \text{ОЧ} &= 1020,7 - 64,86 \cdot \\ &\cdot \left[4 \cdot \lg \left[\frac{141,5}{\rho_{15}^{15}} - 131,5 \right] + 2 \cdot \lg(1,8 \cdot t_{10\%} + 32) + 1,3 \cdot \lg(1,8 \cdot t_{90\%} + 32) \right] \end{aligned} \quad (1.92)$$

де $t_{10\%}$, $t_{90\%}$ – температура википання, відповідно, 10 і 90 % бензину.

Перевагою розрахункових методів є те, що вони не вимагають наявності для аналізу великої кількості бензину, що особливо важливо для проведення лабораторних дослідних робіт. Недоліком цих методів є достатньо висока похибка, що може сягати 10 і більше відсотків.

Октанове число бензинів можна підвищити додаванням високооктанових компонентів і антидетонаторів.

Займистість дизельних палив

Дизельне паливо, на відміну від карбюраторного, вводиться в циліндр двигуна не в пароподібному, а у краплинно-рідинному стані. Спочатку в циліндр подається повітря, стискається поршнем до тиску в двигунах без наддуву 5–6 МПа, а у разі наддуву 7–10 МПа, в результаті чого температура стисненого повітря підвищується до 500–700 °С, потім впорскується паливо. Випаровуючись за таких умов, паливо інтенсивно окиснюється та самозаймається. Що менший індукційний період, тобто час від моменту впорскування до самозаймання (затримка самозаймання) палива, що плавніше відбувається згорання, то вищою вважається якість дизельного палива. Характер самозаймання палив у дизельних двигунах виражають цетановим числом ЦЧ і дизельним (цетановим) індексом.

Цетанове число показує відсотковий вміст цетану (н-гексадекану) в суміші з α -метилнафталіном, самозаймистість якої у стандартному двигуні еквівалентна самозаймистості в таких самих умовах досліджуваного палива. Цетанове число цетану умовно прийнято за 100, а α -метилнафталіну – за нуль.

Цетанове число залежить від співвідношення Н:С в молекулі вуглеводню (що воно більше, то вище ЦЧ) і будови молекул. Для різних груп вуглеводнів ЦЧ зменшується в ряді: нормальні алкани – ізоалкани – циклоалкани – ароматичні вуглеводні. Найвище ЦЧ мають алкани, причому зі збільшенням їх молекулярної маси і температури кипіння воно підвищується, а в міру розгалуженості ланцюга – зменшується. Найнижчі ЦЧ мають ароматичні вуглеводні, в яких немає бокових ланцюгів. Арени з боковими ланцюгами мають вищі ЦЧ то більші, що довший боковий парафіновий ланцюг. Ненасичені вуглеводні характеризуються нижчими ЦЧ, однак деякі з них, наприклад цетен, є винятком, ніж відповідні їм за будовою парафінові вуглеводні, а циклоалкани мають невисокі ЦЧ, але більші, ніж ароматичні вуглеводні.

Вплив ЦЧ на роботу дизельного двигуна полягає в тому, що у разі низького ЦЧ палива виникає значна затримка самозаймання, що в результаті спричиняє скорочення тривалості на згорання і неповного згорання палива (наслідок – зниження потужності). За високого ЦЧ спостерігається неповне згорання, що супроводжується зниженням потужності двигуна, оскільки паливо спалахує занадто швидко і горить

відразу біля форсунки. Водночас решта палива, що подається через форсунку, попадає не в повітря, а в продукти згорання (наслідок – нерівномірність згорання палива в об’ємі циліндра). З огляду на це оптимальним ЦЧ є 45–55.

Цетанове число можна визначити трьома методами:

- 1) за критичним ступенем стискування;
- 2) за періодом затримки займання;
- 3) за збігом спалахів.

Найпростіший із них є метод збігу спалахів. Випробовують на одноциліндровій установці, оснащеній двигуном з дизельною головкою.

Метод полягає у підборі суміші з двох еталонів (цетану та α -метилнафталіну у різних співвідношеннях), що має таку саму займистість, як і досліджуване дизельне паливо. Як еталон використовують гексадекан (цетан) і α -метил- нафталін, ЦЧ яких 100 і 0 відповідно. Цетанове число палива числово дорівнює відсотку вмісту цетану за об’ємом у такій суміші з α -метилнафталіном, що у стандартних умовах випробувань рівноцінна за займистістю випробовуваному паливу.

Складність і трудоемність моторного методу оцінювання займистості дизельних палив змусила дослідників шукати простіші розрахункові способи оцінки займистості. В основу цих методів закладена залежність ЦЧ від групового хімічного складу дизельного палива, або величин, від нього залежних. Наприклад, для розрахунку ЦЧ можна користуватися такими формулами:

$$\text{ЦЧ} = 0,85A + 0,1C_a - 0,2A_p, \quad (1.93)$$

де A , C_a , A_p – вміст, відповідно, алканових, циклоалканових та ароматичних вуглеводнів, % мас., або за їх густиною ρ_4^{20} і кінематичною в’язкістю ν_{20} :

$$\text{ЦЧ} = (\nu_{20} + 17,8) \cdot \frac{1,5879}{\rho_4^{20}}. \quad (1.94)$$

або за аніліновою точкою:

$$\text{ЦЧ} = t_a - 15,5. \quad (1.95)$$

де t_a – анілінова точка досліджуваного палива, °С.

Зв'язок між ЦЧ і ДІ індексом показано на рис.1.7. Значення цих параметрів збігаються при $ДІ = ЦЧ = 45$. За більших значення ЦЧ $ДІ > ЦЧ$, а за менших – $ДІ < ЦЧ$.

У практиці нерідко бувають випадки, коли хімічний склад дизельних палив не забезпечує норми за ЦЧ – не менше ніж 45 (недостатній вміст алканів або дуже високий вміст аренів).

Для його підвищення до дизельних палив додають спеціальні добавки – алкілнітрати, гідропероксида та інші сполуки, що прискорюють процес передполум'яного окиснення палива і таким чином полегшують його займання. У разі додавання 1,5–2,0 % об. таких добавок ЦЧ підвищується на 16–20 пунктів.

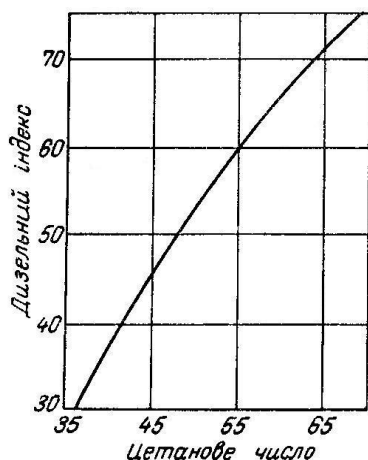


Рис. 1.7. Залежність між цетановим числом і дизельним індексом

Визначають ДІ за допомогою розрахунків залежно від параметрів, що відображають груповий хімічний склад палива:

$$ДІ = \frac{(1,8 \cdot t_a + 32) \cdot (141,5 - 131,5 \cdot \rho_{15}^{15})}{100 \cdot \rho_{15}^{15}}, \quad (1.96)$$

де t_a – анілінова точка досліджуваного палива, °С; ρ_{15}^{15} – відносна густина палива.

За цими формулами можна лише наближено розрахувати ЦЧ. Їх не можна застосувати для палив з добавками, що підвищують ЦЧ,

а також для палив, до складу яких входять бензинові фракції.

Висота некіптявого полум'я

Цей показник нормується і визначається для авіаційних та освітлювальних гасів, для яких утворення нагарів має вагоме значення. Повне згорання нафтопродуктів без кіптяви залежить від декількох чинників, основним з яких є їх хімічний склад. Що більший вміст у паливі ароматичних вуглеводнів, здатних до нагароутворення під час згорання, то гірше відбувається горіння і то нижчим є показник «висота некіптявого полум'я» (ВНП).

Висоту некіптявого полум'я для газів різного призначення визначають за стандартною методикою. Вона полягає у візуальному вимірюванні максимальної висоти полум'я, що можна досягти без утворення кіптяви за час згорання досліджуваного газу в лампі спеціальної конструкції. Контрольні вимірювання проводять на суміші толуол – ізооктан, залежність полум'я, що не дає кіптяви, для якої є відомою. Для різних марок палив для ПРД і газу ВВП звичайно становить 20–35 мм.

Коксівність

Коксівність – це показник, що характеризує коксоутворювальні (коксогенні) властивості нафтопродуктів (важких газойлів, мазутів, гудронів) під час їх нагрівання без доступу повітря за високих температур (500–520°C). Коксівність – це технологічна характеристика, за якою оцінюють можливість коксоутворення під час термічних процесів переробки нафти (термічний крекінг, коксування), або відкладення коксу на поверхні каталізаторів (каталітичний крекінг, гідрокрекінг). Визначають коксівність (за Конрадсоном) прожарюванням наважки нафтопродукту в стандартному тиглі за стандартних умов. Коксівність розраховують як відношення кількості утвореного коксу до маси вихідної наважки нафтопродукту.

Фільтрованість

Усі види палив для сучасних ДВЗ перед тим, як надійти у паливну апаратуру (насоси, форсунки, карбюратор), фільтруються. Стабільна та нормальна робота двигунів залежить від того, наскільки довго працює фільтрувальний елемент паливного фільтра до його забивання. Паливні фільтри забиваються різноманітними домішками, що можуть міститися в паливах (крапельна волога, солі органічних кислот, частинки окалини, каталізаторний пил тощо).

Для оцінювання якості палива з погляду цієї важливої властивості визначають коефіцієнт його фільтрованості КФ за стандартною методикою. Метод ґрунтується на вимірюванні часу проходження певного об'єму досліджуваного палива через стандартний паперовий фільтр. Значення КФ перебувають у межах 1,5–3,5 за норми для більшості дизельних палив $\text{КФ} < 3$.

Корозійна активність

Корозійність моторного палива – властивість спричиняти корозію металевих поверхонь, з якими воно контактує (засоби транспортування, зберігання і перекачування, деталі паливної системи тощо), характеризується корозійною активністю (швидкістю взаємодії).

Корозія металів, що контактують із паливами, може мати чітко хімічний або електрохімічний характер. Вуглеводні, що входять до складу бензинів, не чинять корозійного впливу на метали та сплави.

Корозійна агресивність палив зумовлюється наявністю неуглеводневих домішок і передусім сірчистих і кисневмісних сполук, а також водорозчинних кислот і лугів.

Під час використання бензинів може виникнути руйнування металічних поверхонь під дією хімічних або електрохімічних процесів. Корозія резервуарів, цистерн, паливних баків, трубопроводних магістралей, вузлів і агрегатів системи паливоживлення двигуна відбувається за наявності у складі палива корозійно-агресивних сполук, таких як водорозчинні (мінеральні) кислоти і луги, а також вода.

Корозійну агресивність палив визначають за допомогою випробувань на мідній пластинці (корозію мідної пластинки викликають в основному сполуки сірки). Усі сірчисті сполуки, що містяться у складі палив, за корозійним впливом на метали в умовах звичайних температур поділяють на сполуки «активної сірки» і сполуки «неактивної сірки».

До першої групи належать сірководень, вільна сірка та меркаптани, тобто ті сполуки, що можуть вступати у хімічну взаємодію з металами за звичайних температур зберігання та застосування. Інші сполуки сірки належать до другої групи. Проба на мідну пластинку досить чутлива для оцінювання вмісту у бензинах сірководню та вільної сірки.

Суть методу випробування полягає у витримуванні мідної пластинки у паливі за підвищеної температури й фіксуванні зміни її зовнішнього вигляду, що характеризує корозійну дію палива.

Підготовлену мідну пластинку занурюють у певну кількість зразка, нагрівають і витримують за стандартної температури протягом часу, встановленого для випробуваного матеріалу. Після закінчення цього часу пластинку виймають, промивають і порівнюють з еталонами ступеня корозії.

Еталони для визначення ступеня корозії являють собою кольорові репродукції пластинок з різним ступенем збільшення потьмяніння і корозії, видруковані на алюмінієвій фользі (4 ступені корозії) (табл. 1.14).

Відтворити зовнішній вигляд еталону після проведення випробування навіть за наявності зразка нафтопродукту, що не має корозійних властивостей, неможливо.

Для зберігання еталони корозії поміщають у пластмасовий футляр у формі диска. Вказівки щодо застосування еталонів корозії наведено на зворотному боці кожного диска.

Таблиця 1.14

Класифікація еталонів для визначення ступеня корозії

Класифікація	Ступінь корозії	Колір еталонів
Свіжовідшліфована пластинка	—	Свіжо відшліфована пластинка, що включена в набір еталонів для можливості порівняння
1	Незначне потускніння	Світло-оранжевий, майже такого ж кольору, як і свіжо відшліфована пластинка Темно-оранжевий
2	Помірне потускніння	Темно-червоний Білдо-лиловий Багатокольоровий; лилувато-синій (і/або), темно-червоний зі срібним нальотом Сріблястий Латунно-жовтий або золотистий
3	Сильне потускніння	Пурпурно-червоний, нанесений на пластинку латунно-жовтого кольору Багатокольоровий з червоним або зеленим відтінком (переливчастий), але не сірий
4	Корозія	Прозоро-чорний, темно-сірий або коричневий з ледь помітним переливчасто-зеленим відтінком Колір графіту чи тьмяно-чорний Блискучо-чорний

Еталони, поміщені у пластмасовий захисний футляр, мають бути захищені від світла, щоб уникнути вицвітання. Перевірка на вицвітання виконується порівнянням двох пластинок, одна з яких зовсім не піддавалася впливу світла (нова). Обидві пластинки потрібно розглядати при розсіяному денному світлі (або аналогічному) спочатку з точки, розміщеної безпосередньо над ними, а потім під кутом 45°.

Якщо спостерігається вицвітання, зокрема біля лівого краю пластинки, то диск бракують.

Верхню кольорову частину пластинки покривають 20-міліметровою непрозорою стрічкою (маскувальною). Через певні періоди часу стрічку видаляють і перевіряють, чи не вицвіла незахищена частина пластинки. Вицвілу пластинку-еталон рекомендується замінити. Пластмасовий футляр із глибокими подряпинами на поверхні також підлягає заміні.

Корозійну активність зразка виражають залежно від зовнішнього вигляду досліджуваної пластинки, що збігається з одним з еталонів корозії. Якщо зовнішній вигляд пластинки займає явно проміжне положення між двома сусідніми еталонами, то зразок відповідатиме еталону з більшим ступенем помутніння. Якщо пластинка має більш темний помаранчевий колір, ніж еталон класу 1б, вона все ж відповідатиме класу 1, але за наявності явного червоного кольору пластинка належатиме до класу 2.

Темно-червона пластинка класу 2 може бути помилково сприйнята як пурпурово-червоний колір, нанесений на латунну жовту пластинку класу 3, якщо латунно-жовтий фон пластинки повністю заглушений пурпурово-червоним кольором.

Щоб установити їх відмінність, пластинки занурюють у розчинник. Перша з них набуває темно-оранжевого кольору, а друга залишається без зміни.

Щоб установити різницю між кольоровими пластинками класів 2 і 3, пластинку поміщають для контролю в другу пробірку. Якщо пластинка належить до класу 2, вона стане сріблястого, а потім золотистого кольору. Якщо ж пластинка відповідає класу 3, вона стає прозорочного кольору відповідно до класу 4.

Випробування повторюють, якщо на пластинці виявляють поверхневі вади, такі як відбитки пальців або плями від потрапляння сторонніх частинок або крапель води під час оброблення пластинки.

Випробування повторюють також у випадку, якщо зміна забарвлення гострих країв плоских поверхонь пластинки відповідає більш високим ступеням корозії, ніж забарвлення більшої частини поверхні пластинки.

Кислотність

Кислотність палив – це показник, що показує вміст у паливах органічних кислот. Вимірюється кількістю лугу, витраченого на їх нейтралізацію. Кислотність для світлих нафтопродуктів (у тому числі моторних палив) вимірюється в мг КОН на 100 мл. Для моторних олив і мастил визначають кислотне число (кг КОН на 1 г). Вміст органічних кислот в нафтопродуктах визначають їх титруванням розчином гідроксиду калію у присутності індикатора. Кислотність або кислотне число нормуються для всіх типів товарних палив і олив, оскільки визначають їх корозійні властивості під час зберігання, перекачування та використання в ДВЗ.

Розділ 2. ЯКІСТЬ АВІАЦІЙНИХ БЕНЗИНІВ

Бензини (від франц. benzine) – один з основних видів палива для двигунів сучасної техніки. Близько половини світових обсягів споживання моторних палив припадає на бензин, що служить джерелом енергії для ДВЗ, у яких РС займається від іскри.

Автомобільні бензини являють собою суміш бензинових фракцій різних технологічних процесів переробки нафти – прямої перегонки, термічного крекінгу, каталітичного крекінгу, каталітичного реформінгу, гідрокрекінгу – базових бензинів, а також продуктів ізомеризації, алкілування, ароматизації з додаванням індивідуальних високооктанових вуглеводневих компонентів і присадок, що поліпшують окремі експлуатаційні властивості.

2.1 Стандартні вимоги до авіаційних бензинів

2.1.1 Вуглеводневі неетиловані авіаційні бензини (UL91, UL94)

Вимоги до вуглеводневих неетилованих авіаційних бензинів класів UL91 та UL94 регламентуються стандартом ASTM D D 7547. Нижче наведені основні з цих вимог.

1. Матеріали та виготовлення

1.1 Неетилований авіаційний бензин, якщо не зазначено інше у цій специфікації (ASTMD D 7547), має складатися із сумішей рафінованих вуглеводнів, отриманих із сирої нафти, природного бензину, або їх суміші з синтетичними або ароматичними вуглеводнями, або обома.

1.2 *Додатки (добавки, присадки)* – їх можна додавати до кожного сорту неетилованого авіаційного бензину в кількості та складі, що зазначені в наступному списку затверджених матеріалів. Їх кількість і типи повинні бути заявлені виробником. Додатки, що були додані після точки виробництва, також мають бути заявлені.

1.2.1 *Антиоксиданти*. Наступні інгібітори окиснення можуть додаватись до бензину окремо або разом, загальна концентрація не повинна перевищувати 12 мг інгібітора (не включаючи вагу розчинника) на літр палива:

1.2.1.1 2,6-дитрет бутил-4-метилфенол.

1.2.1.2 2,4-диметил-6-трет-бутилфенол.

1.2.1.3 2,6-дитрет бутилфенол.

1.2.1.4 75 % мінімум 2,6 - дитрет-бутилфенол плюс 25% максимум змішані трет і три-трет бутилфеноли.

1.2.1.5 75 % мінімум ди- та три-ізопропілфенолів плюс 25% максимум ди- та три-трет- бутилфенолів.

1.2.1.6 72 % мінімум 2,4-диметил-6-трет-бутилфенол плюс 28% максимум монометилу і диметил трет-бутилфенолів.

1.2.1.7 N,N'-ди-ізопропіл-пара-фенілендіамін.

1.2.1.8 N,N'-ди-втор-бутил-пара-фенілендіамін.

1.2.2 *Інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)* — один із наведених нижче може використовуватися:

1.2.2.1 *Ізопропіловий спирт (IPA, пропан-2-ол)*, відповідно до вимог Специфікації D4171 (Тип II). Має використовуватись в концентраціях, рекомендованих виробником літака на вимогу власника/оператора повітряного судна.

ПРИМІТКА. Додавання ізопропілового спирту (IPA) може зменшити показники детонації нижче мінімальних значень специфікації (див. XI.2.3 специфікації D7547- 21).¹

1.2.2.2 *Монометилловий ефір діетиленгліколю (Di-EGME)*, що відповідає вимогам Специфікації D4171 (Тип III) можна використовувати в концентраціях від 0,10% об'єму до 0,15% об'єму, якщо цього вимагає власник/оператор повітряного судна.

1.2.2.3 Метод випробування D5006 можна використовувати для визначення концентрації Di-EGME в авіаційному паливі.

1.2.3 *Додаток (присадка) поліпшення електропровідності – Stadis®450²* дозволена в концентрації до 3 мг/л. Коли втрата провідності палива вимагає повторної обробки добавкою (додатком) електропровідності, подальше додавання допустимо до максимального кумулятивного рівня 5 мг/л Stadis ® 450.²

1.2.4 *Додаток (присадка)-інгібітор корозії* – наступні корозійні інгібітори можна додавати до бензину в концентраціях, що не перевищують гранично допустиму концентрацію (ГДК), наведені нижче:

¹ Допоміжні дані зберігаються в міжнародній штаб-квартирі ASTM і можуть бути отримані за запитом на Звіт про дослідження RR:D02-1526. Служба підтримки клієнтів ASTM – за адресою service@astm.org.

² Stadis® 450 є зареєстрованою торговою маркою, що продає Innospec, Inc., Innospec Manufacturing Park, Oil Sites Road, Ellesmere Port, Cheshire, CH65 4EY, UK.

DCI-4A	ГДК = 24 г/м ³
DCI-6A	ГДК = 15 г/м ³
HITEC 580	ГДК = 22,5 г/м ³
NALCO 5403	ГДК = 22,5 г/м ³
NALCO 5405	ГДК = 11,0 г/м ³
UNICOR J	ГДК = 22,5 г/м ³
SPEC-AID 8Q22	ГДК = 24,0 г/м ³
TOLAD 351	ГДК = 24,0 г/м ³
TOLAD 4410	ГДК = 22,5 г/м ³

2. Технічні вимоги

2.1 Неетилований авіаційний бензин повинен відповідати вимогам, що прописані в таблиці 2.1.

2.2 Результати випробувань не повинні перевищувати максимум або бути меншими ніж мінімальні значення, зазначені в таблиці 2.1. Не слід робити поправку на точність методів випробувань. Щоб визначити відповідність вимогам специфікації, результати тесту повинні бути округлені до такого ж значущого числа, як у таблиці 2.1, використовуючи практику E29. У разі отримання декількох значень, необхідно вказати середній результат, округлений відповідно для практики E29.

Таблиця 2.1

Вимоги до якості неетилованого авіаційного бензину^A згідно з ASTM D 7547

УЛ91					УЛ94	Метод випробовування ASTM ^B
Властивість						
ГОРІННЯ						
Корисна теплота згорання, МДж/кг ^D	min	43.5	43.5	D4529 або D3338		
Октанове число ^C						
Детонація, октанове число двигуна ^E	min	91.0	94.0	D2700		
СКЛАД						
Сірка, масових відсотків	max	0.05	0.05	D2622 , D4294 , D5453 або D7220 ^F		
Тетраетилсвинець, г Рb/л	max	0.0130	0.0130	D3237 або D5059		
Вимоги для всіх класів						
НЕСТАБІЛЬНІСТЬ						
Тиск пари, 38 °C, кПа	min max	38,0 49,0		D323 або D5191 ^G		
Густина за t = 15 °C, кг/м ³		Повідомляється		D1298 або D4052		
Дистиляція, °C		Повідомляється		D86		
Початкова точка кипіння		Повідомляється				
Паливо випаровується:						
10 відсотків об'єму за t = °C	max	75				
40 відсотків об'єму за t = °C	min	75				
50 відсотків об'єму за t = °C	max	105				
90 відсотків об'єму за t = °C	max	135				
Кінцева точка кипіння	max	170				
Сума 10% + 50% випаровуваних температур	min	135				
Відсотки відновленого об'єму	min	97				
Відсотки залишків об'єму	max	1.5				
Відсотки об'ємних втрат	max	1.5				
ТЕКУЧИСТЬ						
Точка замерзання, °C	max	-58 ^H		D2386		
КОРОЗІЯ						
Мідна стрічка, 2 год за t = 100 °C	max	№.1		D130		

		Клас UL91	Клас UL94	Метод випробовування ASTM ^B
ЗАБРУДНЮЮЧІ РЕЧОВИНИ				
Окиснювальна стабільність, мг/100 мл (5 год старіння) ¹				D873
Потенційний вміст смол	мах	6		
Свинцевий осад	мах	3		
Реакція води				D1094
Зміни обсягу, мл	мах	±2		
ІНШЕ				
Електрична провідність, пСм /м	мах	600 ¹		D2624

- A. Для відповідності результатів випробувань вимогам таблиці 2.1 див. пункт 2.2.
- B. Методи випробувань, зазначені в цій таблиці, згадуються в розділі 10 стандарту ASTM D 7547-21.
- C. За взаємною згодою між покупцем і постачальником може бути визначено вимогу щодо ОЧ мінімум 98 відповідно до методу випробування D909.
- D. Для всіх оцінок використовуйте рівняння 1 або таблицю 1 у методі випробування D4529 або рівняння 2 у методі випробування D3338. Метод випробування D4809 можна використовувати як альтернативу. У разі суперечки, необхідно використовувати метод випробування D4809.
- E. Показники детонації повинні бути зазначені з точністю до 0,1 октанового числа/коефіцієнту ефективності.
- F. Метод випробування D2622 є арбітражним методом виявлення сірки.
- G. Метод випробування D5191 повинен бути арбітражним методом тиску пари.
- H. Якщо під час охолодження до мінус 58°C не з'явилися кристали, можна повідомити про температуру замерзання нижче мінус 58 °C.
- I. За взаємною домовленістю між покупцем і постачальником може бути визначена вимога щодо витримувannya смол протягом 16 год замість випробування на витримувannya смол протягом 5 год; у такому випадку вміст смол не повинен перевищувати 10 мг/100 мл, а видимий осад свинцю не повинен перевищувати 4 мг/100 мл. У такому паливі допустимий вміст антиоксиданту не повинен перевищувати 24 мг/л.
- J. Застосовується лише тоді, коли використовується Додаток (присадка) для електропровідності; якщо замовник вказує паливо, що містить присадку для електропровідності, застосовуються наступні обмеження електропровідності в місці використання:
Мінімум 50 пСм/м
Максимум 600 пСм/м.
Постачальник повинен повідомити кількість доданого Додатка.

2.1.2 Неетиловані авіаційні бензини, що містять неуглеводневі компоненти (UL 82, UL 87)

Вимоги до неетилованих авіаційних бензинів, що містять у своєму складі неуглеводневі компоненти UL82 та UL87 регламентуються стандартом ASTM D 6227. Нижче наведені основні з цих вимог.

1. Матеріали

1.1 Авіаційний бензин, крім інших, що зазначені в цій специфікації (ASTM D 6227), повинен складатися із сумішей очищених вуглеводнів отриманих із сирої нафти, природного бензину або їх сумішей, з них, зі специфічними аліфатичними простими ефірами, синтетичними вуглеводнями, або ароматичними вуглеводнями. Якщо використовується, трет-метил-бутиловий ефір повинен відповідати вимогам Специфікації ASTM D 5983. Типи та кількість слідів спиртів повинні відповідати вимогам таблиці 2.2 і 1.2.4.2.

1.2 Дозволяються лише Додатки, схвалені цією специфікацією. На додаток до ідентифікаційних барвників, інгібіторів корозії, антиоксидантів та дезактиваторів металів, інгібітори обмерзання паливної системи дозволені відповідно до 1.2.4. Дозволені Додатки можуть додаватись до авіаційного бензину в кількості та складі зазначених у наведеному нижче списку затверджених матеріалів. Їх кількість і типи повинні бути заявлені виробником. Додатки, що були додані після точки виробництва, також мають бути заявлені.

1.2.1 *Антиоксиданти*. Наступні інгібітори окиснення можуть додаватись до бензину окремо або разом, та їх загальна концентрація не повинна перевищувати 12 мг інгібітора (не включаючи вагу розчинника) на літр палива.

1.2.1.1 2,6-ди-трет-бутил-фенол.

1.2.1.2 2,6-дитрет-бутил-4-метил-фенол.

1.2.1.3 2,4-диметил-6-трет-бутил-фенол.

1.2.1.4 2,6-дитрет-бутилфенол, мінімум 75 %.

Трет- та тритрет-бутилфеноли, максимум 25 %.

1.2.1.5 2,4-диметил-6-трет-бутил-фенол, 55% мінімум;

4-метил-2,6-дитрет-бутилфенол 15% мінімум; залишок у вигляді суміші монометилу та диметил-трет-бутил-фенолів.

1.2.1.6 2,4- диметил-6-трет-бутил-фенол, 72 % мінімум.

Суміш трет-бутил-метилфенолів і трет-бутил-диметилфенолів, максимум 28 %.

1.2.1.7 2,6- дитрет-бутил-4-метил-фенол, 35 % мінімум.

Змішані метил-, етил- та диметил трет-бутил-феноли, 65% максимум.

1.2.1.8 2,4 -ди-трет бутилфенол, 60 % мінімум.

Змішаний трет-бутилфенол, 40 % максимум.

1.2.1.9 Бутильовані етилфеноли, 55 % мінімум.

Бутильовані метил- і диметил-феноли, 45 % максимум.

1.2.1.10 Суміш ди- і триізопропілфенолів, 75 % мінімум.

Суміш ди- та тритрет-бутилфенолів, 25 % максимум.

1.2.1.11 N,N' ди-втор-бутил- пара-фенілендіамін.

1.2.1.12 N,N' ди -ізопропіл-пара-фенілендіамін.

1.2.1.13 N-втор-бутил, N'-феніл орто-фенілендіамін

1.2.2 *Металеві деактиватори* – деактиватор металу N, N'-дисаліциліден-1,2-пропандіамін може бути доданий до бензину в кількості не більше 3,0 мг/л.

1.2.3 *Інгібітори корозії* – інгібітори корозії, які відповідають вимогам MIL-PRF-25017F можна додавати до бензину в кількості, що не перевищує гранично допустимих концентрацій, котрі перераховані в останній редакції QPL-25017.

1.2.4 *Інгібітор замерзання паливної системи:*

1.2.4.1 Монометиловий ефір діетиленгліколю, відповідно до вимоги Специфікації ASTM D 4171 (Тип III), може застосовуватись в концентраціях від 0,10 до 0,15 % об'єму.

1.2.4.2 Ізопропіловий спирт, що відповідає вимогам Специфікації ASTM D 4171 (тип II), може використовуватися в концентраціях, рекомендованих виробниками повітряних суден, якщо цього вимагає експлуатант-власник повітряного судна.

2. Детальні вимоги

2.1 Авіаційний бензин повинен відповідати вимогам в Таблиці 2.2.

3. Якість виготовлення

3.1 Готове паливо повинно бути візуально вільним від води, осаду та суспензій.

ПРИМІТКА 1. Див. практику ASTM D 4057 щодо відповідних процедур відбору проб.

Таблиця 2.2

Вимоги до марок авіаційних бензинів^A UL82 та UL87 відповідно до вимог ASTM D 6227

		UL82	UL87	Метод випробовування ASTM ^B
Октанові числа:				
Показник детонації, збіднена суміш,	min	82,0	87,0	D2700
Октанове число за моторним методом,				
Показник детонації,	min	...	95,0	D2699
Октанове число дослідницьким методом				
Колір		нефарбований	нефарбований	D2392
Вміст барвника ^C				
Синій барвник, ^D мг/л	max	немає	немає	
Червоний барвник, ^E мг/л	max	немає	немає	
Жовтий барвник, ^F мг/л	max	немає	немає	
Вимоги для всіх класів				
Густина за $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м ³		Повідомляється		D1298 або D4052
Дистиляція				D86
Випаровування палива				
10 об'ємних % за $t\text{ }^{\circ}\text{C}$	max	70		
50 об'ємних % за $t\text{ }^{\circ}\text{C}$	min	66		
	max	121		
90 об'ємних % за $t\text{ }^{\circ}\text{C}$	max	190		
Кінцева точка, $^{\circ}\text{C}$	max	225		
Відновлення, об'ємні %	min	95,0		
Залишок, об'ємні %	max	2,0		
Втрати, об'ємні %	max	3,0		
Тиск пари 38 $^{\circ}\text{C}$, кПа	min	38		D4953, D5191, D5482
	max	62 ^G		
Точка замерзання, $^{\circ}\text{C}$	max	-58		D2386
Сірка, мас.%	max	0,07		D1266, D2622, D3120, D4294 , D5453 або D7220
Вміст свинцю, г /л		0,013 ^H		D3237 або D5059

Продовження Таблиці 2.2

		UL82	UL87	Метод випробовування ASTM ^B
Корисна теплота згорання, МДж/кг		40.8		D3338, ¹ D4529, ¹ або D4809 ¹
Корозія, мідна стрічка (3 год за $t = 50^{\circ}\text{C}$)	мах	№.1		D130
Потенційні смоли (5 год), мг/100 мл ¹	мах	6		D873
Вміст спиртів та ефірів ^{K,L}		0.3		D4815, D5599 або D5845
Загальний об'єднаний метанол і етанол, мас .%, мах		2.7		
Комбіновані аліфатичні ефіри, метанол, і етанол, як мас.% кисню, макс		0.3		

- A. Вимоги, викладені в цьому документі, підлягають округленню згідно з практикою E29 і не підлягають корекції на допуск методу випробування.
- B. Методи випробувань, зазначені в цій таблиці, згадуються в розділі 10 стандарту ASTM D 6227.
- C. Наведені максимальні концентрації барвника не включають розчинник у барвниках, що постачаються в рідкій формі.
- D. По суті, це 1,4-діалкіламіно-антрахінон.
- E. По суті, це алкільні похідні азобензол-4-азо-2-нафтолу.
- F. По суті це п-діетиламіноазобензол або 1,3 бензендіол 2,4-біс[(алкілфеніл) азо -.
- G. Паливо з тиском пари понад 62 кПа (9,0 psi (фунт-сила на квадратний дюйм)), але що не перевищує 93 кПа (13,5 psi (фунт-сила на квадратний дюйм)), є допустимим, якщо температура навколишнього середовища не перевищує 29 °C (85 °F) під час і в місці доставки, а також дотримано всі федеральні і місцеві норми. Тиск парів допустимого палива, що перевищує 62 кПа (9,0 psi (фунт-сила на квадратний дюйм)), повинен бути вказаний на всіх документах про передачу продукції, включаючи документ про доставку до літака.
- H. Див. X2.10.1 стандарту ASTM D 6227 щодо максимальних обмежень для свинцю та фосфору в нестилованому бензині.
- I. Використовуйте або рівняння 1, або таблицю 1 у методі випробування D4529, або рівняння 2 у методі випробування D3338 . Див. X2.7.2 стандарту ASTM D 6227 щодо обмежень і поправок щодо кисню, що застосовуються до палива, змішаного з аліфатичними ефірами за методами випробувань D3338 і D4529.
- J. Метод випробування D381 на наявність смол може бути засобом виявлення погіршення якості або забруднення, або і того, і іншого, для більш важких продуктів після розподілу від НПЗ до аеропорту; див. X2.9.1 стандарту ASTM D 6227.
- K. Не дозволяється навмисне додавання спиртів, за винятком ізопропілового спирту, що дозволено додавати як додаток (присадка) (див. 1.2.4.2).
- L. Для отримання додаткової інформації та обмежень див. X2.8 стандарту D 6227.

2.1.3 Етиловані авіаційні бензини (100 VLL, 100 LL, 100)

Вимоги до етилованих авіаційних бензинів класів 100VLL, 100LL, 100 регламентуються специфікацією ASTM D 910-21. Нижче наведені основні вимоги за цією специфікацією.

1. Класифікація

1.1 Наведено три класи етилованого авіаційного бензину:

Клас 100

Клас 100LL

Клас 100VLL

ПРИМІТКА 1 - Наведені вище назви марок базуються на їхніх октанових числах/коефіцієнту ефективності, виміряних за застарілим методом випробування D614 (відмінений у 1970 році). Таблиця для перерахунку октанового числа/коефіцієнту ефективності, отриманих за моторним методом в авіаційні рейтинги D2700, востаннє була опублікована в Специфікації ASTM D 910-94 в Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.01.

1.2 Класи 100, 100LL та 100VLL представляють собою авіаційні бензини, ідентичні за мінімальною антидетонаційною якістю, але відрізняються за максимальним вмістом свинцю та кольором. Колір ідентифікує відмінність для двигунів, які мають низький допуск до свинцю.

ПРИМІТКА 2 – Перелік та вимоги до авіаційних бензинів марок 91/98, 108/135 та 115/145 з'явилися у версії цієї специфікації 1967 року. Військова специфікація США MIL-G-5572F від 24 січня 1978 року (відкликана 22 березня 1988 року) також охоплює авіаційні бензини марок 115/145 і доступна у вигляді звіту про дослідження³ Перелік і вимоги до бензинів марок 80 і 91 з'явилися у версіях цієї специфікації 2016 і 2017 років відповідно. Положення щодо неетилованого бензину марки 91, з додатковим випробуванням на наддув D909, було внесено до специфікації D7547.

³ Допоміжні дані зберігаються в міжнародній штаб-квартирі ASTM і можуть бути отримані за запитом на Research Report RR:D02-1255. Зверніться до служби підтримки клієнтів ASTM за адресою service@astm.org.

1.3 Хоча позначення класів показують лише одне октанове число для кожного класу, вони повинні відповідати мінімальним номінальним характеристикам двигуна на збідненій суміші та мінімальним номінальним характеристикам двигуна на багатій суміші з наддувом⁴.

2. Матеріали та виготовлення

2.1 Авіаційний бензин, якщо інше не зазначено в цій специфікації, повинен складатися з сумішей очищених вуглеводнів, отриманих з сирої нафти, природного бензину або їх сумішей, з синтетичними вуглеводнями або ароматичними вуглеводнями, або з тими і іншими.

2.2 *Присадки* – обов'язкові, додаються до кожної марки авіаційного бензину в кількості та у складі, зазначеному в наступному переліку затверджених матеріалів.

2.2.1 *Тетраетилсвинцев* додається у вигляді антидетонаційної суміші, що містить не менше 61% за масою тетраетилсвинцю і достатню кількість етилендіброміду, щоб забезпечити два атоми брому на один атом свинцю. Баланс не повинен містити жодних доданих інгредієнтів, окрім гасу, затвердженого інгібітору окиснення та синього барвника, як зазначено в цьому документі. Максимальна концентрація для кожного сорту бензину вказана в Таблиці 2.3.

2.2.1.1 За взаємною згодою виробника палива та поставника присадок, антидетонаційна суміш тетраетилсвинцю може бути розбавлена 20 % за масою змішаного ароматичного розчинника, що має мінімальну температуру спалаху 60°C згідно з методами випробувань D93 коли виріб потрібно використовувати в холодному кліматі. Вміст тетраетилсвинцю у розбавленому продукті знижується до 49 % масового обсягу, таким чином необхідно відрегулювати кількість антидетонаційної присадки для досягнення необхідного рівня свинцю. Розбавлений продукт доставляє два атоми брому на атом свинцю.

2.2.2 *Барвники* — максимальні межі концентрації для кожного класу бензину вказані в таблиці 2.3.

⁴Марки авіаційного бензину також позначаються двома числами, розділеними похилою лінією (/). Перше число називається показником збідненої суміші, а друге число називається показником збагаченої суміші. Ця специфікація описує три марки авіаційного бензину наступним чином: 100/130, 100/130LL та 100/130VLL. Числа нижче 100 є октановими числами, а числа вище 100 - показниками експлуатаційних характеристик. При 100 октанове число та показник експлуатаційних характеристик рівні. Суфікс LL описує марку, що містить нижчий вміст тетраетилсвинцю, ніж другий сорт з ідентичними показниками збідненої та збагаченої суміші. Суфікс VLL позначає марку, що містить нижчий вміст тетраетилсвинцю, ніж сорт 100/130LL з ідентичними показниками збідненої та збагаченої суміші.

2.2.2.1 Єдиним синім барвником, який повинен бути присутнім у готовому бензині, є 1,4-діалкіламіноантрахінон.

2.2.2.2 Єдиними жовтими барвниками, які повинні бути присутніми в готовому бензині, є п-діетиламіноазобензол (колірний індекс № 11021) або 1,3-бензендіол 2,4-біс [(алкілфеніл)азо-].

2.3 *Додатки (присадки)* – можуть додаватися до кожного сорту авіаційного бензину в кількості та за складом, зазначеними в наступному переліку затверджених матеріалів.⁵ Кількість та типи повинні бути задекларовані виробником. Присадки, додані після виробництва, також повинні бути задекларовані.

2.3.1 *Антиоксиданти* – наступні інгібітори окиснення можуть додаватися до бензину окремо або в комбінації в загальній концентрації, що не перевищує 12 мг інгібітору (не враховуючи маси розчинника) на літр пального.

2.3.1.1 2,6-дитретбутил-4-метилфенол.

2.3.1.2 2,4-диметил-6-третбутилфенол.

2.3.1.3 2,6-дитретбутилфенол.

2.3.1.4 мінімум 75% 2,6-третбутилфенолу плюс 25 % максимум суміші трет- і тритрет- бутилфенолів.

2.3.1.5 мінімум 75% ди- та триізопропілфенолів плюс максимум 25 % ди- та тритретбутилфенолів.

2.3.1.6 мінімум 72% 2,4-диметил-6-третбутилфенолу плюс максимум 28 % монометил- і диметил-третбутилфенолів.

2.3.1.7 N,N'-ди-ізопропіл-пара-фенілендіамін.

2.3.1.8 N,N'-ди-втор-бутил-пара-фенілендіамін.

2.3.2 *Інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)* — один із наведених нижче можна використовувати.

2.3.2.1 *Ізопропіловий спирт (IPA, пропан-2-ол)*, відповідно до до вимог специфікації D4171 (тип II). Може використовуватися в концентраціях, рекомендованих виробником повітряного судна, якщо цього вимагає власник/експлуатант повітряного судна.

ПРИМІТКА 3. Додавання ізопропілового спирту (IPA) може знизити показники детонації нижче мінімальних значень зазначених (див. X 1.2.4 у ASTM D 910-21)⁶.

⁵ Супровідні дані (рекомендації щодо схвалення або несхвалення добавок) були подані до Міжнародної штаб-квартири ASTM і можуть бути отримані за запитом на Research Report RR:D02-1125. Зверніться до служби підтримки клієнтів ASTM за адресою service@astm.org.

⁶ Допоміжні дані зберігаються в міжнародній штаб-квартирі ASTM і можуть бути отримані за запитом на Research Report RR:D02-1526. Зверніться до служби підтримки клієнтів ASTM за адресою service@astm.org.

2.3.2.2 *Монометилловий ефір ди-етиленгліколю (Di-EGME)*, що відповідає вимогам специфікації D4171 (тип III), може використовуватися в концентраціях від 0,10 % до 0,15 % за об'ємом на вимогу власника/експлуатанта ПС.

2.3.2.3 Метод випробування D5006 можна використовувати для визначення концентрації Di-EGME в авіаційному паливі.

2.3.3 Допускається додавання присадки електропровідності-Stadis 450⁷ в концентрації до 3 мг/л. Якщо втрата електропровідності палива вимагає повторної обробки електропровідною присадкою, допускається подальше додавання до максимального кумулятивного рівня 5 мг/л присадки Stadis 450.

2.3.4 *Інгібітор корозії* – наступні інгібітори корозії можуть бути додані до бензину в концентраціях, що не перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК), вказані для кожної з присадок.

DCI-4A	ГДК = 24 г/м ³
DCI-6A	ГДК = 15 г/м ³
HITEC 580	ГДК = 22,5 г/м ³
NALCO 5403	ГДК = 22,5 г/м ³
NALCO 5405	ГДК = 11,0 г/м ³
PRI-19	ГДК = 22,5 г/м ³
UNICOR J	ГДК = 22,5 г/м ³
SPEC-AID 8Q22	ГДК = 24,0 г/м ³
TOLAD 351	ГДК = 24,0 г/м ³
TOLAD 4410	ГДК = 22,5 г/м ³

3. Технічні вимоги

3.1 Авіаційні бензини повинні відповідати вимогам наведеним у таблиці 2.3.

3.2 Результати випробувань не повинні перевищувати максимальні або бути меншими за мінімальні значення, зазначені в таблиці 2.3. Точність методів випробувань не повинна враховуватися. Для визначення відповідності вимогам специфікації результат випробування може бути округлений до тієї ж кількості значущих цифр, що і в таблиці 2.3, використовуючи метод E29. У разі проведення декількох визначень використовують середній результат, округлений відповідно до методу E29.

⁷Stadis 450 є зареєстрованою торговою маркою, яку продає Innospec Inc., Innospec Manufacturing Park, Oil Sites Road, Ellesmere Port, Cheshire, CH65 4EY, UK.

Таблиця 2.3

Технічні вимоги до етилованих авіаційних бензинів^A за ASTM D 910

		100VLL	100LL	100	Метод випробовування ASTM ^B
Властивість					
ГОРІННЯ					
Корисна теплота згорання, МДж/кг ^C	min	43.5	43.5	43.5	D4529 або D3338
Октанове число					
Показник детонації, збіднена суміш ^D					
Октанове число двигуна	min	99,6	99,6	99,6	D2700
Рейтинг ошадливості в авіації	min	100,0	100,0	100,0	D2700
Показник детонації, збагачена суміш					
Октанове число	min				D909
Коефіцієнт ефективності ^{E, F}	min	130,0	130,0	130,0	D909
СКЛАД					
Сірка, масовий відсоток	max	0,05	0,05	0,05	D1266, D2622 або D5453
Тетраетилсвинець ^G					
TEL, мл /л	min max	0,27 0,43	0,27 0,53	0,27 1,06	D3341 або D5059
Pb, г /л	min max	0,28 0,45	0,28 0. 56	0,28 1.12	
Колір		синій	синій	зелений	D2392
Вміст барвника ^H , мг/л					
Синій барвник	max	2.7	2.7	2.7	
Жовтий барвник	max	немає	немає	2.8	
Вимоги для всіх класів					
НЕСТАБІЛЬНІСТЬ					
Тиск пари, за $t = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$, кПа	min max	38,0 49,0			D323 або D5191 ^I
Густина за $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м ³		Повідомляється			D1298 або D4052

Продовження Таблиці 2.3

		100VLL	100LL	100	Метод випробовування ASTM ^B
Дистиляція, °C		Повідомляється			D86
Початкова температура кипіння					
Випаровування палива					
10 об'ємних відсотків за t = °C	max				
40 об'ємних відсотків за t = °C	min				
50 об'ємних відсотків за t = °C	max				
90 об'ємних відсотків за t = °C	max				
Кінцева температура кипіння	max				
Сума температур випаровування 10 % + 50 %	min				
Відсоток об'єму відновлення	min				97
Об'єм залишку у відсотках	max				1.5
Обсяг втрат у відсотках	max				1.5
ТЕКУЧИСТЬ					
Точка замерзання, °C	max	-58 ^J			D2386
КОРОЗИЯ					
Мідна стрічка, 2 год за t = 100 °C	max	№.1			D130
ЗАБРУДНЮЮЧІ РЕЧОВИНИ					
Окиснювальна стабільність, мг /100 мл (5 год старіння) ^{K,L}		6			D873
Потенційний вміст смол	max				
Свинцевий осад	max	3			D1094
Реакція води					
Зміни обсягу , мл	max	±2			
ІНШЕ					
Електрична провідність, пСм/м	max	600 ^M			D2624

- A. Для відповідності результатів випробувань вимогам таблиці 2.3 див. 3.2.
- B. Методи випробувань, зазначені в цій таблиці, згадуються в розділі 11 специфікації ASTM D 910 – 21.
- C. Для всіх оцінок використовуйте рівняння 1 або таблицю 1 у методі випробування D4529 або рівняння 2 у методі випробування D3338. Метод випробування D4809 можна використовувати як альтернативу. У разі суперечки, необхідно використовувати метод випробування D4809.
- D. Необхідно повідомляти як октанове число двигуна, так і значення авіаційної збідненої суміші.
- E. Коефіцієнт ефективності 130,0 еквівалентний значенню детонації, визначеному за допомогою ізооктану плюс 0,34 мл TEL/л.

- F. Показники детонації повинні бути вказані з точністю до 0,1 октанового числа/коефіцієнта ефективності.
- G. Історично склалося так, що дослідження ринку та дані випробувань двигунів вказують на те, що для етилованих авіаційних бензинів за стандартом ASTM D910 концентрація тетраетилсвинцю зазвичай повинна перевищувати 0,28 г свинцю на літр (0,265 мл тетраетилсвинцю на літр) для марок 100, 100LL та 100VLL. Палива, що містять значно менший вміст свинцю, можуть не відповідати вимогам до октанового числа авіаційних двигунів з поршневим іскровим запалюванням, але при цьому відповідати граничним значенням для збіднених і збагачених сумішей, зазначеним у Таблиці 2.3.
- H. Наведені максимальні концентрації барвників не включають розчинник у барвниках, що постачаються в рідкій формі.
- I. Метод випробування D5191 повинен бути арбітражним методом тиску пари.
- J. Якщо при охолодженні до -58 °C не з'явилися кристали, точку замерзання можна повідомити як менше ніж -58 °C.
- K. За взаємною домовленістю між покупцем і постачальником, замість випробування на витримання смол протягом 16 годин може бути зазначено випробування на витримання смол протягом 5 годин; у такому випадку вміст смол не повинен перевищувати 10 мг/100 мл, а видимий осад свинцю не повинен перевищувати 4 мг/100 мл. У такому паливі допустимий вміст антиоксиданту не повинен перевищувати 24 мг/л.
- L. Існуючий метод випробування D381 може слугувати засобом виявлення погіршення якості або забруднення, або і того, і іншого, для більш важких продуктів після розподілу від НПЗ до аеропорту. Див. розділ X1.7.1 специфікації ASTM D 910 – 21.
- M. Застосовується тільки у разі використання присадки до пального з електропровідністю; якщо клієнт вказує паливо, що містить присадку до пального з електропровідністю, повинні застосовуватися наступні межі електропровідності відповідно до умов на місці використання: Мінімум 50 пСм/м; Максимум 600 пСм/м. Постачальник повинен повідомити про кількість доданого додатку (присадки).

2.1.4 Авіаційний нестилований бензин з високим вмістом ароматичних вуглеводнів UL102

Вимоги до авіаційного нестилованого бензину з високим вмістом ароматичних вуглеводнів класу UL102 регламентуються специфікацією ASTM D 7719. Нижче наведено основні вимоги згідно цієї специфікації.

1. Матеріали та виготовлення

1.1 Паливо за ASTM D 7719, якщо інше не зазначено в цій специфікації, повинно складатися з сумішей очищених вуглеводнів. Джерела цих вуглеводнів включають біомасу, природний газ або сиру нафту.

1.1.1 Див. Додаток X1 специфікації ASTM D 7719-21 для конкретного складу, який відповідає параметрам Таблиці 2.4.

1.2 *Присадки* - можуть бути додані до кожного сорту палива ASTM D 7719 в кількості і складу, зазначених в наступному переліку дозволених матеріалів:

1.2.1 *Барвники*. Загальна максимальна концентрація барвника в паливі становить 6,0 мг/л. (Див. X 1.1.1 і X 2.2.7 специфікації ASTM D 7719).

1.2.1.1 Єдиним синім барвником, присутнім у готовому паливі, повинен бути 1,4-діалкіламіноантрахінон.

1.2.1.2 Єдиними жовтими барвниками в готовому паливі повинні бути в основному п-діетиламіноазобензол (колірний індекс № 11021) або 1,3-бензенедіол 2,4-біс [(алкілфеніл)азо-].

1.2.1.3 Єдиним червоним барвником, присутнім у готовому паливі, повинні бути, по суті, алкільні похідні азобензол-4-азо-2-нафтолу.

1.2.1.4 Єдиний помаранчевий барвник, присутній у готовому паливі, повинен бути по суті бензол-азо-2-нафтол (індекс кольору № 12055).

1.2.2 *Інші Додатки* – можуть бути додані в кількості та до складу, зазначених у наступному переліку дозволених матеріалів. Кількість і типи повинні бути задекларовані виробником. Додатки, додані після виробництва, також повинні бути задекларовані.

1.2.2.1 *Антиоксиданти* – Наступні інгібітори окиснення можуть бути додані до палива окремо або в комбінації в загальній концентрації, що не перевищує 12 мг інгібітору (не враховуючи масу розчинника) на літр пального: (1) 2,6 - дитрет бутил-4-метилфенол.

(2) 2,4 - диметил-6-трет-бутилфенол.

(3) 2,6 - дитрет бутилфенол.

(4) 75 % мінімум 2,6-дитрет-бутилфенолу плюс 25% максимум змішаного трет- та тритрет- бутилфенолів.

(5) 75 % мінімум ди- та три-ізопропілфенолів плюс 25% максимум ди- та три-трет-бутилфенолів.

(6) 72 % мінімум 2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу плюс 28% максимум монометил- та диметил- трет- бутилфенолів.

(7) N,N'-ди-ізопропіл-пара-фенілендіамін.

(8) N,N'-ди-втор-бутил-пара-фенілендіамін.

1.2.2.2 *Інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)* — можна використовувати один із таких матеріалів:

(1) *Ізопропіловий спирт (IPA, пропан-2-ол)*, відповідно до вимог Специфікації D4171 (Тип II). Можна використовувати у концентраціях, рекомендованих виробником повітряного судна, якщо цього вимагає власник/оператор повітряного судна.

(2) *Монометилловий ефір діетиленгліколю (Di-EGME)*, що відповідає вимогам Специфікації D4171 (Тип III). Може використовуватися в концентраціях від 0,10% до 0,15% за об'ємом, якщо цього вимагає власник/оператор повітряного судна.

(3) Метод випробування D5006 можна використовувати для визначення концентрації Di-EGME в авіаційному паливі.

1.2.2.3 *Додаток для поліпшення електропровідності* – дозволено використовувати Stadis® 450⁸ у концентраціях до 3 мг/л. Якщо втрата електропровідності палива вимагає повторної обробки електропровідною присадкою, допускається подальше додавання до максимального кумулятивного рівня 5 мг/л Stadis® 450.

1.2.2.4 *Інгібітор корозії* – наступні інгібітори корозії можуть додаватися до палива в концентраціях, що не перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК), вказані для кожної присадки.

DCI-4A	ГДК = 24,0 г/м ³
DCI-6A	ГДК = 15,0 г/м ³
HITEC 580	ГДК = 22,5 г/м ³
NALCO 5403	ГДК = 22,5 г/м ³
NALCO 5405	ГДК = 11,0 г/м ³
UNICOR J	ГДК = 22,5 г/м ³
SPEC-AID 8Q22	ГДК = 24,0 г/м ³
TOLAD 351	ГДК = 24,0 г/м ³
TOLAD 4410	ГДК = 22,5 г/м ³

⁸Stadis® 450 є зареєстрованою торговою маркою компанії Innospec, Inc., Innospec Manufacturing Park, Oil Sites Road, Ellesmere Port, Cheshire, CH65 4EY, UK

2. Технічні вимоги

2.1 Паливо ASTM D 7719 повинно відповідати вимогам, зазначеним у таблиці 2.4.

2.2 Результати випробувань не повинні перевищувати максимальних або бути меншими за мінімальні значення, зазначені в таблиці 2.4. Точність методів випробувань не допускається. Щоб визначити відповідність вимогам специфікації, результат випробування можна округлити до такої ж кількості значущих цифр, як у таблиці 2.4, використовуючи практику E29. Якщо здійснюється багаторазове визначення, слід використовувати середній результат, округлений згідно з практикою E29.

Таблиця 2.4

Технічні вимоги до неетильованого вуглеводневого авіаційного бензину з високим вмістом ароматичних речовин^А згідно з ASTM D 7719-21

Властивість		Клас UL102	ASTM Тест Метод ^В
ГОРІННЯ			
Октанове число	min	102.2	D2700
Детонація, октанове число двигуна ^С			
Корисна теплота згорання, МДж/кг	min	41.5	D4809
СКЛАД			
Сірка, мас. %	max	0,05	D1266, D2622, D4294 або D7220
Тетраетилсвинцеві, г Рв/л	max	0,013	D3237 або D5059
Загальна кількість ароматичних речовин, % (м/м)	min	70	D6733
Бензол, % (м/м)	max	0,1	D3606 ^Д або D5580
Вимоги для всіх класів			
НЕСТАБІЛЬНІСТЬ			
Тиск пари, за $t = 37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, кПа	min	38,0	D323 або D5191 ^Е
	max	49,0	
Густина за $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м ³	min	790	D1298 або D4052
	max	825	
Дистиляція			D86
Початкова точка кипіння, $^{\circ}\text{C}$		Повідомляється	D86
Випаровування палива			D86
10 об'ємних відсотків за $t =\text{ }^{\circ}\text{C}$	max	75	D86
40 об'ємних відсотків за $t =\text{ }^{\circ}\text{C}$	min	75	D86
50 об'ємних відсотків за $t =\text{ }^{\circ}\text{C}$	max	165	D86
90 об'ємних відсотків за $t =\text{ }^{\circ}\text{C}$	max	165	D86
Кінцева температура кипіння, $^{\circ}\text{C}$	max	180	D86
Сума температур випаровування 10 % + 50 %, $^{\circ}\text{C}$	min	135	D86
Відсоток об'єму відновлення	min	97	D86
Об'єм залишку у відсотках	max	1.5	D86
Обсяг втрат у відсотках	max	1.5	D86

ТЕКУЧИСТЬ			
Точка замерзання, °C	max	-58 ^F	D2386
КОРОЗИЯ			
Мідна стрічка, 2 год за $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	max	№.1	D130
ЗАБРУДНЮЮЧІ РЕЧОВИНИ			
Стійкість до окиснення (5 год старіння) ^G			D873
Потенційні смоли, мг/100 мл	max	6	D1094
Реакція води			
Зміна об'єму, мл	max	± 2	
ІНШЕ			
Електропровідність, пС/м	max	600 ^H	D2624

- A. Для відповідності результатів випробувань вимогам таблиці 2.4 див. 2.2 .
- B. Методи випробувань, зазначені в цій таблиці, згадуються в розділі 11 специфікації ASTM D 7719-21.
- C. Показники детонації повинні бути вказані з точністю до 0,1 октанового числа.
- D. У разі суперечки метод випробування D3606 має використовуватися як арбітражний метод.
- E. Метод випробування D5191 повинен бути арбітражним методом тиску пари.
- F. Якщо при охолодженні до $t =$ мінус $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ не з'явилися кристали, точку замерзання можна повідомити як нижчу за $t =$ мінус $58\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- G. За взаємною домовленістю між покупцем і постачальником може бути визначена вимога щодо старіння смол протягом 16 год замість випробування на старіння смол протягом 5 год; в такому випадку вміст смол не повинен перевищувати 10 мг/100 мл. У такому паливі допустимий вміст антиоксиданту не повинен перевищувати 24 мг/л.
- H. Застосовується лише тоді, коли використовується присадка для електропровідності; якщо замовник вказує паливо, що містить присадку для електропровідності, застосовуються наступні обмеження електропровідності за умови в місці використання:
Мінімум 50 пС/м
Максимум 600 пС/м.
Постачальник повинен повідомити кількість доданого додатка (присадки).

2.2 Додатки (присадки) до авіаційних бензинів

Таблиця 2.5

Класифікація та асортимент додатків до бензинів

Тип присадок чи додатків	Тип палива	Концентрація, %	Активний компонент	Принцип дії
<i>Підвищують хімічну, фізичну та біологічну стабільність</i>				
Антиоксиданти		0,005–0,03	Екрановані феноли; N, N – діалкілпарафенілендіаміни	Інгібірують радикально-ланцюгове окиснення вуглеводнів
Деактиватори металів		0,001–0,01	Біс-саліциліден-алкілендіаміни	Інгібірують окиснювальну дію міді, заліза та інших металів
Стабілізатори		0,01–0,05	Композиції антиоксидантів, деактиваторів металів, нейтралізуючих агентів та диспергаторів	Запобігають смоло- та осадотворенню внаслідок окиснення та інших реакцій ущільнення
Знижують випаровування		0,001–0,01	Поліалкіл-силоксани, четвертинні солі амонію та інші поверхнево-активні речовини (ПАР)	Утворюють міцну адсорбційну плівку на поверхні бензину, що запобігає його випаровуванню
Стабілізатори паливних композицій		0,1–0,5	Аліфатичні спирти, ПАР різної будови	Запобігають розширюванню паливно-спиртових сумішей, підвищують стабільність водопаливних емульсій
Коагулюючі (Коагулянти)		0,01–0,1	ПАР	Прискорюють коагуляцію забруднень. Потребують наступного відстоювання та фільтрування

Продовження таблиці 2.5

Тип присадок чи додатків	Тип палива	Концентрація, %	Активний компонент	Принцип дії
Біоциди		0,0001–0,005	Целозольви. Сполуки нікелю, міді, інших металів, гетероциклічні сполуки	Запобігають біокорозії паливних баків та забрудненню палив продуктами життєдіяльності організмів
<i>Модифікатори спалахування</i>				
Антидетонатори	Бензини	0,01–0,1	Металоорганічні сполуки свинцю, заліза та марганцю; 1-2 N-метиланілін	Запобігають передчасному спалахуванню бензину у двигунах з примусовим спалахуванням
«Витискувачі» металів (спільно з антидетонаторами)	Бензини	0,01–0,05	Галогеновуглеводні. Сполуки фосфору та бору.	Запобігають відкладенню металів на свічках та інших деталях двигуна за рахунок утворення летких сполук
<i>Модифікатори горіння</i>				
Антинагарні		0,05–0,01	Термостійкі ПАР у поєднанні з модифікаторами нагару (оксигенати)	Видаляють нагар з камери згорання, запобігають закоксуванню поршневих кілець
Антидимні		0,05–0,2	Теплорозчинні сполуки барію, заліза та інших металів	Прискорюють вигорання сажі на останніх стадіях процесу горіння
Ініціатори горіння (промоутери)		0,001–0,01	ПАР з Додатками каталізаторів горіння – сполук металів	Інтенсифікують (прискорюють) процес горіння палива

Продовження таблиці 2.5

Тип присадок чи додатків	Тип палива	Концентрація, %	Активний компонент	Принцип дії
Каталізатори горіння		0,1–0,2	Сполуки заліза, нікелю та інших металів, що легко йонізуються, з Додатками ПАР	Полегшують сумішоутворення та прискорюють горіння залишкових палив
<i>Миючі</i>				
Очищувачі карбюратора	Бензини	0,005–0,05	Аміно-аміди	Видаляють забруднення із поверхні заслінки карбюратора
Очищувачі впускної системи	Бензини	0,05–0,1	Полібутенаміни, полієфіраміни	Запобігають відкладенням на поверхні впускних клапанів з безпосереднім вприскуванням бензину
Очищувачі камери згорання		0,05–0,1	Основи Манніха алкілфеноли, сукциніміди	Запобігають утворенню нагару у камері згорання, знижуючи показникові вимоги до ОЧ
<i>Присадки, що сприяють ефективній експлуатації палив за низьких температур</i>				
Антиводокристалізаційні		0,01–0,05	ПАР різного складу, компоненти миючих присадок	Запобігають обмерзанню паливної апаратури, утворюючи на поверхні захисну плівку
<i>Модифікатори тертя</i>				
Протизносні		0,01–0,1	Карбонові кислоти, зокрема ВЖК	Утворюють на поверхні тертя плівку, що захищає від зносу
Антифрикційні	Бензини та дизельні палива	0,01–0,5	Сполуки молібдену, ПАР	Підвищують механічний ККД двигуна через зниження втрати на тертя

Продовження таблиці 2.5

Тип присадок чи додатків	Тип палива	Концентрація, %	Активний компонент	Принцип дії
<i>Маркуючі</i>				
Барвники	Бензини та дизельні палива	0,0005–0,001	Паливорозчинні пігменти типу фталоціанінів, азосполук, похідних антрахінону	Свідчать про наявність у бензині свинцю або підвищеному вмісті сульфуру у дизельних паливах
<i>Антикорозійні</i>				
Антиіржавні	Усі види палив	0,005–0,05	Похідні алкенілянтарного ангідриду, деякі ПАР	Зменшують електрохімічну корозію металів на межі розділу фаз системи «паливо-повітря»
<i>Підвищуючі безпеку використання</i>				
Антистатичні	Реактивні палива	0,00005–0,0005	Композиції ПАР з солями металів (хрому)	Знижують пожежну безпеку під час роботи з паливом через зменшення статичної електрики
Одоранти	Бензини та дизельні палива	0,0001–0,001	Похідні терпенів, ефірні масла	Надають паливам приємний запах
Дезодоранти	Бензини та дизельні палива	0,0001–0,001	Ефірні масла	Маскують неприємний запах компонентів палив
<i>Модифікатори поверхнево-активних властивостей</i>				
Деемульгатори	Дизельні та залишкові палива	0,005–0,01	Оксиетильовані спирти, кислоти, аміни та деякі ПАР	Прискорюють відділення води від палива з наступним відстоюванням і розділенням
Антипінні	Бензини та середнє дистильатні палива	0,0001–0,001	Полісілоксани та деякі ПАР	Зменшують спінювання палива при наливанні, транспортуванні.

Таблиця 2.6

Класифікація та асортимент антидетонаційних і екологічних (антиемісійних) додатків у складі авіаційних бензинів

Найменування (марка)/виробник	Компонентний склад/активний компонент	Кон- цент- рація	Сфера застосування	Основні фізико-хімічні характеристики
На основі сполук свинцю: Тетраетилсвинець (ТЕС), тетраметилсвинець (ТМС), триметилетилсвинець (ТМЕС), діетилдіметилсвинець (ДЕДМС), метилтриетилсвинець (МТЕС) / Innospec Inc. (США), BASF, (Німеччина), Exxon Mobil Corporation (США), Tianjin Zhongxin Chemtech Co., Ltd (Китай)	свинець	0,01– 0,1 % (0,17 г Pb/л)	Відомий з 1921 р. («General motors research corporation») Для попередження вибухового розкладу продуктів передполум'яного окиснення палива перед згоранням паливно- повітряної суміші (ППС). Підвищує ОЧ.	Дуже високотоксична та канцерогенна речовина. Разом з ТЕС рекомендовано додавати виносник – етилендібромід і барвник. Дібромід етилену діє як поглинач свинцю. Під час згорання бензину, свинець у ТЕС перетворюється на оксид свинцю, що накопичується на клапанах і свічках запалювання. Згодом це може пошкодити двигун. А етилендібромід реагує з оксидом свинцю, утворюючи та перетворюючи його на суміш броміду свинцю та оксибромідів свинцю. Так як ці сполуки є леткими, вони виходять із двигуна разом із рештою продуктів згорання, що захищає двигун. За додавання цих антидетонаторів в еталонну суміш з 70% ізооктану та 30% н-гептану у кількості 2,0, 1,6 та 1,7 мг/кг відповідно приріст ОЧ суміші, визначеного за моторним методом, становить не менше 17 од.

Найменування (марка)/виробник	Компонентний склад/активний компонент	Кон- цент- рація	Сфера застосування	Основні фізико-хімічні характеристики
На основі сполук ароматичних амінів: Екстралін, ксилідин (суміш 7% аніліну, 88% метиланіліну та 5% ксилідину), технічний N-метиланілін (MMA) / Royal Dutch Shell (Велика Британія + Нідерланди), Tianjin Zhongxin Chemtech Co., Ltd (Китай), Zhengzhou Alpha Chemical Co., Ltd. (Китай)	N-метиланілін (C_6H_5NH), 4-метоксі-N-метиланілін ($C_8H_{11}NO$)	1,0–2,0 %	Відомі з 1919 р. (США). Додавалися 4 % до складу авіабензинів для підвищення сортності. Модифікатор (промоутер) спалахування. Підвищують ОЧ. Добре сумісні з іншими антидетонаторами. Провокують синергійний ефект. Можуть бути базою для композиційних антидетонаційних додатків	Менш токсичні аніж ТЕС. За додавання в еталонну суміш, що складається з 70 % ізооктану та 30 % н-гептану, 1,5 % MMA ОЧ суміші збільшується на 6-10 од. MMA осідає у повітрі на висоті 60 см від землі і довго не розпадається. Симптоми отруєння людини: реакції стають загальмованими, людина задихається, вуха та кінчики пальців синіють
На основі сполук мангану: HITEC-3000, 3046, 3062, 3973 / Ethyl Corporation, Afton Chemical corporation (США), Octaburn™8000 Innospec Inc. (США)	Манган (Mn), циклопентадієніл-трилкарбоніл-манган (ЦТМ, $C_5H_5Mn(CO)_3$), та метил-циклопентадієніл-трилкарбоніл-манган (МЦТМ, $(CH_3C_5H_4Mn(CO)_3)$), ацетил-трифтор-циклопентадієніл-трикарбонілманган (АТФЦТМ, $CF_3COC_5H_4(CO)_3Mn$)	До 18 мг/літр (50 мг Mn/л)	Відомі з 1954 р. (Фішером було синтезовано ЦТМ, Німеччина). В Україні допущені до застосування поліфункціональні присадки, що є сумішшю сполук мангану та суміші парафінових і нафтонових вуглеводнів (ТУ 30218597.001 «Присадки поліфункціональні „Екооктан“. Технічні умови».	Менш токсичні аніж ТЕС і MMA. За додавання до 2 мл МЦТМ в 1 кг еталонної суміші з 60% ізооктану та 40% н-гептану підвищує ОЧ на 7–9 од. Проте розчин ЦТМ у бензині виявився дуже нестабільним, погіршується антиокиснювальна стабільність, а продукти розкладання МЦТМ отруювали каталізатори допалу відпрацьованих газів. Фотолітична дія перетворює органічну сполуку на суміш нешкідливих оксидів марганцю, карбонатів і органіки похідної метилциклопентадієну. Первинні властивості втрачаються. Утворюється осад, засмічуються свічки запалюванні, підвищується зношуваність деталей двигуна

Найменування (марка)/виробник	Компонентний склад/активний компонент	Кон- центра- ція	Сфера застосування	Основні фізико-хімічні характеристики
На основі сполук заліза (фероцену): PLUTOcen® F, PLUTOcen® GS 2300i Innospec Inc. (США)	Пентакарбоніл заліза – $\text{Fe}(\text{CO})_5$, Фероцен – $(\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{Fe})$	30–45 мг/кг (38 мг Fe/л)	Антидетонаційна ефективність пентакарбонілу заліза $\text{Fe}(\text{CO})_5$ була виявлена ще в 1924 р. Застосовувався як антидетонатор у 30-ті роки минулого століття у Німеччині у концентрації 2–2,5 мл/кг. Фероценові антидетонатори були розроблені та запатентовані в 1952 р. В Україні виготовляються та допущені до застосування поліфункціональні добавки на основі сполук заліза «Стандарт» (ТУУ 30958302.001 «Добавка багатофункціональна „Стандарт“. Технічні умови»).	Світло-жовта рідина з характерним запахом. Порівняно з попередніми антидетонаторами нетоксична, дешева та ефективна. Каталізатор (промоутер) горіння, запобігає утворенню сажі й нагарів, знижує у викидних газах вміст оксиду вуглецю, бензпіренів й вуглеводнів і меншою мірою – оксидів азоту. Однак дослідження, здійснені в 1950–1970 рр., показали, застосування ефективних концентрацій призводить до відкладення в камері згорання оксидів заліза, зниження ефективності свічок запалювання, підвищення зношування деталей двигуна, необхідності застосування виносіїв тощо. Пентакарбоніл заліза схильний до швидкого розкладання під дією світла до нерозчинного нонкарбонілу заліза $\text{Fe}(\text{CO})_9$. Фероцен – тверда кристалічна речовина оранжевого кольору. Найбільш високу антидетонаційну ефективність фероцен виявляє в бензинах, що містять до 40% ароматичних вуглеводнів, а також у бензинах, що містять спирти та МТБЕ. Відомий також діізобутиленовий комплекс пентакарбонілу заліза $([\text{Fe}(\text{CO})_5]_3[\text{C}_8\text{H}_{16}]_5)$ (співвідношення пентакарбонілу та діізобутилену – 3:5). Має аналогічні недоліки як і пентакарбоніл заліза. Як і для манганових добавок не винайдено ефективного виносія.
Кисеньвмісні додатки (оксигенати)	Спирти (метанол – CH_3OH етанол – $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, ізопропанол – $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$,		Етанол як моторне паливо для ДВЗ використовували ще в 1876 році. Привабливість оксигенатів полягає у тому, що вони вважаються	Порівняно з попередніми антидетонаторами найбільш безпечні з точки зору токсичності та пожежовибухонебезпеки. Забезпечують підвищення детонаційної стійкості, зниження викидів CO_2 та незгорілого вуглецю в довкілля.

Найменування (марка)/виробник	Компонентний склад/активний компонент	Кон- цент- рація	Сфера застосування	Основні фізико-хімічні характеристики
	бутанол – C_4H_9OH), їх етери (метил-трет- бутиловий (МТБЕ) – $CH_3OC_4H_9$, етил- трет-бутиловий (ЕТБЕ) – $C_2H_5-OC(CH_3)_3$, метил-трет- амільовий (МТАЕ) – CH_3- $OC(CH_3)_2C_2H_5$, діізопропіловий (ДІПЕ) – $C_6H_{14}O$ тощо)	До 15%	відновлювальними джерелами енергії. Найбільш ефективним (економічним) джерелом отримання спиртів є природний газ. Масове використання бензинів, що містять 5–10 % етанолу (газохол), 15 % етанолу (Е15) та 22 % етанолу бере початок з 1980 рр., коли у Бразилії, США, Швеції, Голландії, Франції, Канаді та Колумбії автомобілі стали заправляти цим видом палива (після світової енергетичної кризи). З 2000 р. В Україні діє ТУ У 30183376.001- 2000 «Високооктанова кисневмісна добавка до бензинів (ВКД). Технічні умови», ГСТУ 320.00149943.015-2000 «Бензини моторні сумішеві. Технічні умови» на виробництво неетильованих бензинів марок А-80Ек, А-92Ек, А-95Ек, А98Ек, що містять до 6 % оксигенату. Для стабілізації сумішевих бензинів, у складі яких присутні оксигенати в Україні розроблено добавку «Мегаоктан» (ТУУ 24.1- 32589031 «Добавки. Технічні умови»). З 2011 р. діє ДСТУ 7166:2010 «Біоетанол. Технічні умови».	Механізм дії оксигенатів являє собою ступінчасте окиснення – це холодне свічення, що хвилюподібно поширюється по всій газовій реакційній суміші. Використання оксигенатів дозволяє знизити викиди СО на 14 %, вуглеводнів на 7 % та уникнути застосування токсичного бензолу. Додані в процес окиснення, сприяють збільшенню повноти згорання та ОЧ бензину, але через нижчу теплоту згорання вміст кисню не повинен перевищувати 2,7% (об.) З екологічної точки зору МТАЕ має більш високий поріг запаху (194 мкг/л проти 95 мкг/л для МТБЕ), а головне не накопичується в водних джерелах через кращу біорозчеплюваність. Додавання бінарних додатків на основі МТБЕ та неароматичних амінів призводить до зростання утворення смол і осадів. Однією з найбільш серйозних проблем, що ускладнюють застосування оксигенатів є низька стабільність бензино-спиртових (розшарування) сумішей та особлива чутливість їх до води.

Розділ 3. ЯКІСТЬ ПАЛИВ ДЛЯ ГТД

3.1 Номенклатура палив для ГТД

Характерні показники якості палив для ГТД

До паливних систем ПС ставляться такі вимоги: надійна, безвідмовна робота у діапазоні зовнішніх тисків від 100 кПа (1 кгс/см²) під час роботи двигуна на землі, до 10 кПа (0,1 кгс/см²) і менше в умовах польоту ПС на висоті, наприклад, 15 000 м і вище. Діапазон робочих температур ПС дуже широкий і знаходиться у межах від мінус 40°C до 130°C. При цьому наземна техніка працює у діапазоні тисків від 90 кПа (0,9 кгс/см²) до 100 кПа.

3.2 Стандартні вимоги до якості реактивних палив

3.2.1 Вимоги до палив JET A, JET A-1 за ASTM D 1655

Вимоги до палив JET A та JET A-1 регламентуються стандартом ASTM D1655. Нижче наведені основні вимоги за цим стандартом.

1. Класифікація

1.1 Цей стандарт охоплює дві марки авіаційного палива для газотурбінних двигунів:

1.1.1 Jet A та Jet A-1 – гасові дистиляти з відносно високою температурою спалаху.

1.2 Jet A та Jet A-1 – це дві марки гасового палива, що відрізняються температурою кристалізації. Можна визначити відповідним чином і інші марки.

1.3 У цьому стандарті раніше було наведено вимоги до палива Jet B. Зараз ці вимоги зазначено в ASTM D 6615.

2. Сировина та виробництво

2.1 Авіаційне паливо для ГТД – це складна суміш, що здебільшого складається з вуглеводнів та змінюється залежно від джерела сирої нафти та технології виробництва. Внаслідок цього неможливо визначити точний склад Jet A або Jet A-1. Тому цей стандарт розроблявся насамперед як технічні вимоги, а не вимоги до складу.

Визнається, що це значною мірою спирається на накопичений досвід; тому в цьому стандарті авіаційне паливо для газотурбінних двигунів обмежено паливом, виготовленим із традиційних джерел або за визначеними затвердженими процесами.

2.1.1 Авіаційне паливо для ГТД, якщо в цьому стандарті не зазначено інше, повинно складатися переважно з очищених вуглеводнів (див. примітку 1), отриманих із традиційних джерел, зокрема сирової нафти, газового конденсату, важкої нафти, сланцевої нафти та нафтоносних пісків. Використання паливних сумішей для газотурбінних двигунів, що містять компоненти з інших джерел, дозволено лише згідно з дод. А1.

Примітка 1. Зазвичай очищене реактивне паливо містить сліди речовин, що не є вуглеводнями, зокрема, оксигенати та нітрогено- та сульфуровмісні сполуки.

2.1.2 Палива, що використовують в сертифікованих двигунах та літаках, остаточно схвалює орган з сертифікації на підставі офіційно наданих в орган з сертифікації доказів як частини програми сертифікації типу цього літака та моделі двигуна. Додатки, що використовуватимуть у схваленому паливі, так само повинні бути окремо схваленими (див. Х1.2.4 та Х1.15.1 стандарту ASTM D1655).

2.2 Додатки (присадки)

Додатки використовують, щоб поліпшити експлуатаційні властивості палива або підготовку, використання та зберігання палива.

2.2.1 До складу палива, на якому експлуатують літак, дозволено додавати тільки ті Додатки, що схвалено в авіаційній галузі (зокрема органом з сертифікації літальних апаратів). ASTM D 4054 встановлює порядок визнання Додатків придатними для введення у цей стандарт. Додатки, схвалені до використання у складі реактивного палива згідно з цим стандартом, наведено в таблицях 3.1, 3.2, і їх можна використовувати в граничних значеннях концентрацій, наведених у таблиці, з урахуванням будь-яких обмежень, описаних у виносках до таблиці.

2.2.2 У тих випадках, коли для зручності використання потрібно розвести додаток, використовують очищені вуглеводні з НПЗ, виготовлені згідно з вимогами цього стандарту до сировини та виробництва, або вуглеводні чи суміш вуглеводнів (за винятком не вуглеводнів) кваліфікації «reagent» (або ліпшої) від постачальника хімічних продуктів. Оскільки не всі Додатки та розчинники сумісні (наприклад, додаток може осідати під час його розчинення алкілатом на відміну від реформату), потрібно проконсультуватися з виробником додатків щодо вибору доречнішого розчинника. Звітність не змінюється, коли використовують розведення; повідомляють про фактичний уміст пакету додатків або вміст активної речовини, як зазначено у табл. 3.1, 3.2.

2.3 Ідентифіковані супутні речовини

Максимально допустимий рівень певних речовин вказано в табл. 3.2, що названо як ідентифіковані супутні речовини. Цей стандарт не вимагає

Таблиця 3.1

**Технічні вимоги до авіаційного палива для газотурбінних двигунів за стандартом
ASTM D 1655^{A)}**

Найменування показника		Значення для Jet A або Jet A-1	Метод контролювання ^{B)}	
			арбітражний	альтернативний
СКЛАД				
Кислотність, загальна, мг КОН/г	max	0,10	ASTM D3242/IP 354	
(1) Об'ємна частка ароматичних вуглеводнів, %, або	max	25	ASTM D1319	IP 156 ^{C)} або ASTM D8267 або ASTM D8305 ^{D)}
(2) Об'ємна частка ароматичних вуглеводнів, %	max	26,5		ASTM D6379/IP 436
Масова частка меркаптанової сірки ^{E)} , %	max	0,003	ASTM D3227/IP 342	
Масова частка загальної сірки, %	max	0,30		ASTM D1266, ASTM D2622, ASTM D4294, ASTM D5453, або IP 336
ВИПАРНІСТЬ				
Фракційний склад: 10 % переганяється за температури, °C 50 % переганяється за температури, °C 90 % переганяється за температури, °C Температура кінця кипіння, °C Залишок від перегонки, % Втрати від перегонки, %	max max max max	205 Не нормують, визначення обов'язкове Не нормують, визначення обов'язкове 300 1,5 1,5	ASTM D86 ^{F)}	ASTM D2887 або IP 406 ^{G)} , ASTM D7344 ^{H)} , ^{I)} , ASTM D7345 ^{H)} , IP 123 ^{F)}
Температура спалаху в закритому тиглі, °C	min	38 ^{J)}	ASTM D56	ASTM D93 ^{K)} , ASTM D3828 ^{K)} , ASTM D7236 ^{K)} , IP 170 ^{K)} , IP 523 ^{K)} , або IP 534 ^{K)}

Продовження Таблиці 3.1

Найменування показника		Значення для Jet A або Jet A-1	Метод контролювання ^{B)}	
			арбітражний	альтернативний
Густина за температури 15°C, кг/м ³		775–840		ASTM D1298 або IP 160, або ASTM D4052, або IP 365
ТЕКУЧИСТЬ ^{L)}				
Температура кристалізації, °C	max	мінус 40 Jet A ^{M), N)} мінус 47 Jet A-1 ^{M), N)}	ASTM D2386/IP 16	ASTM D5972/IP 435, ASTM D7153/IP 529, або ASTM D7154 або IP 528
В'язкість кінематична за температури мінус 20°C, мм ² /с ^{O)}	max	8,0	ASTM D445 або IP 71, розділ 1	ASTM D7042 ^{P)} або ASTM D7945
ГОРЮЧИСТЬ				
Нижча теплота згорання, МДж/кг	min	42,8 ^{Q)}	ASTM D4809	ASTM D4529, ASTM D3338 або IP 12
Вимоги, визначення однієї з яких є обов'язковим:				
(1) Висота некіптявого полум'я, мм, або	min	25,0	ASTM D1322/IP 598	
(2) Висота некіптявого полум'я, мм, та	min	18,0	ASTM D1322/IP 598	
Об'ємна частка нафталінових вуглеводнів, %	max	3,0	ASTM D1840	
КОРОЗІЯ				
Корозія мідної пластинки, 2 год за температури 100 °C, класифікація	max	№ 1	ASTM D130 або IP 154	
ТЕРМОСТАБІЛЬНІСТЬ ^{L), S)} (2,5 год за контрольної температури не нижче ніж 260 °C)				

Продовження Таблиці 3.1

Найменування показника		Значення для Jet A або Jet A-1	Метод контролювання ^{В)}	
			арбітражний	альтернативний
Перепад тиску на фільтрі, мм рт.ст. Відкладення на трубі: Потрібно виконати одну з таких вимог ^{У)} : (1) Додаток A1, прилад VTR, код кольору	max менше ніж	25 3 (відсутні відкладення кольору «павича» або незвичайного кольору) 85	ASTM D3241 ^{Т)} /IP 323 ^{Т)}	
(2) Додаток A2 прилад ITR або Додаток A3 прилад ETR, або Додаток A4 прилад MWETR, мм, середня площа 2,5 мм ²	max			
ЗАБРУДНЮВАЧІ				
Фактичні смоли, мг/100 см ³	max	7	ASTM D381	IP 540
Відділення води – оцінка мікросепарометром: ^{В)} без антистатичного додатка з антистатичним додатком	min min	85 70	ASTM D3948	
ДОДАТКИ				
Електропровідність, пСм/м		^{W)}	ASTM D2624/IP 274	

- A. Відповідність результатів випробувань вимогам таблиці 3.1 — див. 3.2.
- B. Методи випробувань, вказані в цій таблиці, зазначено в розділі 11 стандарту ASTM D1655. Арбітражні методи зазначено в таблиці 3.11, де це застосовно.
- C. Під час випробування авіаційного турбінного палива за ASTM D1319 або IP 156, користувачі не повинні застосовувати флуоресцентний індикатор будь-якої з цих партій: 3000000975, 3000000976, 3000000977, 3000000978, 3000000979 та 3000000980.
- D. Результати визначення за ASTM D8305 треба скоригувати поправкою на систематичну похибку, використовуючи

- коригувальне рівняння для ароматичних вуглеводнів за розділом 13 (Точність і похибка) ASTM D8305. Під час визначення за ASTM D3338 також потрібно використовувати результати визначення ароматичних вуглеводнів з поправкою на систематичну похибку.
- E. Від визначення меркаптанової сірки можна відмовитись, якщо за методом випробувань згідно з ASTM D4952 отримано негативний тест на докторську пробу.
 - F. Фракційний склад реактивного палива згідно з методами випробувань ASTM D86 та IP 123 визначають за умовами, зазначеними для групи 4, за винятком того, що використовують температуру охолоджувальної бані, як зазначено для групи 3.
 - G. Результати за ASTM D2887 або IP 406 потрібно перерахувати в результати за ASTM D86 або IP 123 застосуванням коефіцієнтів кореляції, наведених у Додатку X4 «Коефіцієнти кореляції для авіаційного й дизельного палива» ASTM D2887 або в Додатку G IP 406. Межі залишків і втрат від перегонки забезпечують контроль процесу перегонки під час використання методу випробування ASTM D86, і вони не застосовні до методів випробування ASTM D2887 або IP 406. Залишки та втрати від перегонки потрібно повідомляти як «не застосовується» (н/з) під час звітування за методом випробування ASTM D2887.
 - H. Результати, отримані за ASTM D7344 и ASTM D7345, треба скоригувати з урахуванням відносної похибки, як описано в кожному з методів випробування.
 - I. Дані, що підтверджують застосовність ASTM D7344, зберігаються в Головному офісі ASTM International, і їх отримати можна, подавши запит на звіти про дослідження RR:D02-1621 та RR:D02-1855. Зверніться до служби підтримки клієнтів ASTM за електронною поштою service@astm.org.
 - J. Температура спалаху може бути вищою, ніж мінімальна, унормована цим стандартом, за згодою між покупцем та постачальником.
 - K. Порівняно з ASTM D56, результати, отримані методом випробування: ASTM D93 можуть бути на 1,5 °C вище; IP 170, IP 534 і ASTM D7236 можуть бути на 0,5 °C вище; ASTM D3828 (IP 523) можуть бути на 0,5 °C нижче (звіт про дослідження очікує на подання в ASTM і доступний в Інституті енергетики як ILS2019_MMS_1).
 - L. У разі залучення сумісно перероблених компонентів згідно з пунктом A 1.2.2 Додатка A1 стандарту ASTM D1655, потрібно застосовувати суворіші значення та методи контролювання, зазначені у таблиці A1.1, для палива на місці виробництва. Стосовно готового палива, що вийшло з місця виробництва, застосовують значення та методи контролювання, зазначені у таблиці 1 цього стандарту.
 - M. Інші температури кристалізації може бути узгоджено між постачальником та покупцем.
 - N. Під час розподілення готового палива, що вийшло з місця виробництва, якщо температура кристалізації палива занижка і її не можна визначити в межах найнижчої досяжної температури мінус 65 °C за ASTM D2386/IP16, якщо під час охолодження палива не з'являються кристали, коли термометр показує температуру мінус 65 °C, температуру кристалізації треба реєструвати як нижче ніж мінус 65 °C. Це обмеження не застосовують, якщо температуру кристалізації вимірюють згідно з ASTM D5972/IP 435, ASTM D7153/IP 529 або ASTM D7154/IP 528.
 - O. $1 \text{ мМ}^2/\text{с} = 1 \text{ сСт}$.
 - P. За результатами, отриманими за ASTM D7042, потрібно розрахувати кінематичну в'язкість, як описано в ASTM D7042 для реактивного палива за температури мінус 20 °C (наразі це пункт 15.4.4).
 - Q. Для всіх класів використовують або рівняння 1, або таблицю 1 у методі випробування ASTM D4529, або рівняння 2 у методі

випробування ASTM D3338. Розраховують і записують нижчу теплоту згорання з поправкою на вміст сірки під час використання емпіричних методів випробування ASTM D4529 та ASTM D3338. Як альтернативу можна використовувати метод випробування ASTM D4809.

- R. Результати визначення за ASTM D8305 треба скоригувати поправкою на систематичну похибку, використовуючи коригувальне рівняння для поліциклічних ароматичних вуглеводнів за розділом 13 (Точність і похибка) ASTM D8305.
- S. Аналізуючи авіаційне паливо для газотурбінних двигунів за ASTM D3241 або IP 323, користувачі не повинні звітувати про результати, отримані з використанням приладу 230 Mark IV, до складу якого входить потоковий внутрішній багаторазовий паливний фільтр, розташований перед фільтром попереднього очищення з тонкістю фільтрування 0,45 мкм.
- T. Випробування на термічну стабільність за ASTM D3241/IP 323 - критичне випробування авіаційного палива, результати якого використовують з метою оцінки його придатності для забезпечення безпеки польотів і дотримання відповідності нормативним вимогам. Точність та повнота тестування ASTM D3241/IP 323 вимагає, щоб нагрівальні трубки відповідали вимогам таблиці 2 ASTM D3241 і давали еквівалентні результати ASTM D3241 до нагрівальних трубок, які постачає виробник оригінального обладнання (OEM). Протокол випробувань для демонстрації еквівалентності нагрівальних трубок від інших постачальників зберігається в Головному офісі ASTM International, і його можна отримати на запит звіту про дослідження RR: D02-1550. Нагрівальні трубки та набори фільтрів, виготовлені OEM (RAC, 8824 Fallbrook Drive, Houston, TX 77064) використано під час розробки методу випробувань ASTM D3241/IP 323. Набори нагрівальних трубок і фільтрів, виготовлені Falex (Falex Corporation, 1020 Airpark Dr., Sugar Grove, IL, 60554-9585), продемонстрували, що дають еквівалентні результати (див. посилання на звіти про дослідження в ASTM D3241). Наведені відомості не слід тлумачити як схвалення або сертифікацію цього обладнання ASTM International.
- U. Номінальні значення відкладень в трубках вимірюють методом ASTM D3241 згідно з Додатком A2 із застосуванням приладу ITR або Додатком A3 із застосуванням приладу ETR, або Додатком A4 із застосуванням приладу MWETR, якщо такі є. Якщо прилад ITR реєструє об'єм відкладень як «н/з» («не застосовується»), випробування вважають невдалим та повідомляють значення як >85 нм. Візуальна оцінка нагрівальної трубки згідно з Додатком 1 ASTM D3241, не потрібна, якщо повідомляють товщину відкладень, виміряну методами, наведеними у Додатку 2 ASTM D3241 із застосуванням приладу ITR або у Додатку 3 із застосуванням приладу ETR, або у Додатку 4 із застосуванням приладу MWETR. У разі розбіжностей між результатами візуального та метрологічного методів, арбітражним вважають метод, наведений у Додатку 3 ASTM D3241 із застосуванням приладу ETR, за можливості, інакше метод, наведений у Додатку 2 ASTM D3241 із застосуванням приладу ITR або у Додатку 4 ASTM D3241 із застосуванням приладу MWETR. Дані, що підтверджують застосовність Додатку 4 ASTM D3241 із застосуванням приладу MWETR, зберігаються у Головному офісі ASTM International і можна, на запит, отримати звіт про дослідження RR:D02-2072. Зверніться до служби підтримки клієнтів ASTM за електронною поштою service@astm.org.
- V. У місці виготовлення. Див. X1.13 стандарту ASTM D1655 щодо застосування отриманих з використанням мікросепарометра результатів під час розподілу палива.
- W. Якщо використовують антистатичний додаток до палива, електропровідність не повинна перевищувати 600 пСм/м на місці використання палива. Коли антистатичний додаток застосовують на вимогу покупця, електропровідність повинна становити від 50 до 600 пСм/м у пункті постачання.

$$1 \text{ пСм/м} = 1 \cdot 10^{-12} \Omega^{-1} \text{ м}^{-1}$$

аналізувати кожну партію палива на ідентифіковані супутні речовини, коли по суті немає ризику забруднення, що перевищує межі значень табл. 3.2. Якщо оцінка ризику постачальника вказує на можливість перевищення граничних значень ідентифікованих супутніх речовин, зазначених в табл. 3.2, слід переконатися, що реактивне паливо відповідає вимогам табл. 3.2, до постачання його в аеропорт, оскільки, зазвичай, аеропорти не мають обладнання для зменшення вмісту виявлених ідентифікованих супутніх речовин, що перевищують граничні значення, вказані в цьому стандарті. Додаткові рекомендації щодо цих речовин наведено в X1.16 стандарту ASTM D1655.

2.4 Інструктивний матеріал щодо потреби контролю технологічних додатків під час виробництва реактивного палива наведено в Додатку X2 стандарту ASTM D1655.

Таблиця 3.2
Ідентифіковані супутні речовини

Речовина	Допустимий рівень	Метод контролювання ^{A)}	
		арбітражний	альтернативний
Метиллові естери жирних кислот (МЕЖК) ^{B)} , не більше	50 мг/кг ^{C),D)}	IP 585	ASTM D7797/IP 583, IP 590, IP 599
Додаток, що зменшує гідравлічний опір трубопроводів (DRA) ^{E)} , не більше	72 мкг/дм ^{3F)}	ASTM D7872	

^{A)} Арбітражні методи зазначено у таблиці 3.12, де це застосовано.
^{B)} Цю вимогу становлено для МЕЖК як речовини, що відповідає вимогам стандарту EN 14214 або ASTM D6751. Не дозволено, щоб в авіаційному паливі для газотурбінних двигунів були метиллові естери жирних кислот, які не відповідають стандартам якості біодизельного палива.
^{C)} В екстрених випадках дозволено, щоб у реактивному паливі було до 100 мг/кг МЕЖК, якщо це дозволено виробником фіюзеляжу та двигуна і регулюється відповідно до вимог виробника фіюзеляжу та двигуна.
^{D)} Підкомітет J має намір оцінити досвід експлуатації в грудні 2016 року, щоб визначити, чи обґрунтовано голосування за збільшення граничного значення вмісту МЕЖК до 100 мг/кг відсутністю суттєвих проблем, пов'язаних з МЕЖК.
^{E)} Активний полімерний елемент.
^{F)} DRA не схвалено як додаток до реактивного палива. Цей рівень прийнято органами дозволу як функціональне визначення "нульове додавання".

3. Технічні вимоги

3.1 Авіаційне паливо для ГТД повинно відповідати вимогам, наведеним в таблиці 3.1.

3.2 Результати випробувань не повинні перевищувати найбільші або бути меншими найменших значень, зазначених в табл. 3.1. Точність методів випробувань не враховують. Для визначення відповідності вимогам цього стандарту результат випробування може бути заокруглено до тієї самої кількості значущих цифр, що і в табл. 3.1, з використанням ASTM E29. Якщо виконують кілька визначень, треба використовувати середній результат, заокруглений відповідно до ASTM E29.

3.2.2 Вимоги до авіаційних палив марок JetA та JetA-1 за ASTM D 7566

1. Класифікація

1.1 Наведено дві марки авіаційного турбінного палива, а саме:

1.1.1 *Jet A* та *Jet A-1* – дистилати газового типу з відносно високою температурою спалаху.

1.2 *Jet A* та *Jet A-1* представляють дві марки газового палива (палива для ГТД), що відрізняються температурою замерзання.

2. Технічні вимоги

2.1 Авіаційне турбінне паливо (паливо для ГТД) повинно відповідати вимогам, викладеним у табл. 3.3 частина 1 та таблиці 3.3 частина 2, якщо інше не зазначено в 2.2, додатку A1, додатку A2, додатку A3, додатку A4, додатку A5, додатку A6 або додатку A7 стандарту ASTM D 7566, залежно від того, що застосовується.

2.2 Вимога щодо плинності, викладена в частині 2 таблиці 3.3, застосовується лише до кожної партії палива, що містить HEFA-SPK, що зазначений у Додатку A2, SIP, що зазначений у додатку A3, та CHJ, що зазначений у додатку A6 стандарту ASTM D 7566, та змішаний відповідно до 6.1.2⁹, 6.1.3¹⁰ та 6.1.6¹¹ відповідно. Вимога щодо плинності, викладена в частині 2 таблиці 3.3, також застосовується до кожної партії палива, що містить ATJ-SPK, як зазначено в Додатку A5, змішаного понад 30% відповідно до 6.1.5 стандарту ASTM D 7566, та HC-HEFA SPK, зазначений у Додатку A7, змішаного відповідно до 6.1.7 стандарту ASTM D 7566. Ця вимога не застосовується до

⁹6.1.2 Звичайні компоненти змішування до палива Jet A чи Jet A-1, сертифіковане за специфікацією D1655; з вмістом до 50% за об'ємом синтетичного компонента змішування, визначеного в додатку A2 стандарту ASTM D 7566-23. Примітка: можливість додавання 50% компонентів змішування (SPK) з додатка 1 або додатка 2 до Jet A або Jet A-1 також обмежена фізичними властивостями палива, з яким його змішують. Практика показала, що густина або вміст ароматичних речовин, або і те, й інше, в очищеному паливі часто обмежують кількість SPK, що можна додати до кінцевої суміші, до менш ніж 50%.

¹⁰6.1.3 Звичайні компоненти змішування до палива Jet A або Jet A-1, сертифікованого відповідно до специфікації D1655; з вмістом до 10% об'єму синтетичного компонента змішування, визначеного в додатку A3 стандарту ASTM D 7566. Примітка: Можливість додавання 10% компонентів змішування з додатку A3 (SIP) до Jet A або Jet A-1 також може бути обмежена фізичними властивостями палива, з яким його змішують. У крайніх випадках можливо, що в'язкість очищеного палива може обмежувати кількість SIP, яку можна додати до кінцевої суміші, до менш ніж 10%.

¹¹6.1.6 Звичайні компоненти змішування до палива Jet A чи Jet A-1, сертифіковані відповідно до специфікації ASTM D 1655; з вмістом до 50% об'єму синтетичного компонента змішування, визначеного в додатку A6 стандарту ASTM D 7566.

палива, що містить синтезовані компоненти, зазначені в додатку A1 або Додатку A4, та змішаного відповідно до 6.1.1 або 6.1.4 стандарту ASTM D 7566.

2.3 Додаткові вимоги частини 2 таблиці 3.3 застосовуються лише для кожної партії палива, що містить синтетичний компонент. Додаткові вимоги частини 2 таблиці 3.3 не є обов'язковими, якщо реактивне паливо традиційного походження змішується із залишком напівсинтетичного авіаційного турбінного палива ASTM D 7566 в обладнанні НПЗ з попередньої партії сертифікованого кінцевого змішаного продукту, наприклад, у відстійнику бака.

2.4 Результати випробувань не повинні перевищувати максимальні або бути меншими за мінімальні значення, зазначені в таблиці 3.3, таблицях A1.1 та A1.2, таблицях A2.1 та A2.2, таблицях A3.1 та A3.2, таблицях A4.1 та A4.2, таблицях A5.1 та A5.2, таблицях A6.1 та A6.2, а також таблицях A7.1 та A7.2 стандарту ASTM D 7566. Не допускається жодних похибок щодо точності методів випробувань. Для визначення відповідності вимогам специфікації результат випробування може бути округлений до такої ж кількості значущих цифр, як у таблиці 3.3, таблицях A1.1 та A1.2, таблицях A2.1 та A2.2, таблицях A3.1 та A3.2, таблицях A4.1 та A4.2, таблицях A5.1 та A5.2, таблицях A6.1 та A6.2, та таблицях A7.1 та A7.2 стандарту ASTM D 7566 з використанням Практики E29. Якщо проводиться кілька визначень, слід використовувати середній результат, округлений відповідно до Практики E29.

Таблиця 3.3

Вимоги до якості авіаційних палив, що містять синтезовані вуглеводні^A Jet A та Jet A-1 для ГТД

Частина 1 – Основні вимоги			
Найменування показника		Значення для Jet A або Jet A-1	Метод випробування ^B
СКЛАД			
Кислотність, загальна, мг КОН/г	Max	0.10	D3242/IP 354
Ароматичні речовини: Повинна бути виконана одна з наступних вимог:			
1. Об'ємна частка ароматичних вуглеводнів, об'єм, %	Max	25	D1319 або IP 156, ^C D8267, або D8305 ^X
2. Об'ємна частка ароматичних вуглеводнів, об'єм, %	Max	26.5	D6379/IP 436
Масова частка меркаптанової сірки ^D , мас, %	Max	0.003	D3227/IP 342
Масова частка загальної сірки, мас, %	Max	0.30	D1266, D2622, D4294, D5453, або IP 336
ВИПАРОВУВАНІСТЬ			
Дистиляція			D86, ^F D2887/IP
Температура дистиляції, °C:			406, ^E D7344, ^G D7345, ^C IP123 ^F
10% відновлено, температура (T 10)	Max	205	
50% відновлено, температура (T 50)		Повідомляється	
90% відновлено, температура (T 90)		Повідомляється	
Кінцева температура кипіння, температура	Max	300	
Залишок від перегонки, відсоток	Max	1.5	
Втрати при дистиляції, відсотки	Max	1.5	
Температура спалаху, °C	Min	38 ^H	D56 або D3828, ^J D7236, ^I IP 170, ^I IP 523, ^I IP 534 ^J

Продовження Таблиці 3.3

Частина 1 – Основні вимоги			
Найменування показника		Значення для Jet A або Jet A-1	Метод випробування ^B
Густина за температури 15°C, кг/м ³		від 775 до 840	D1298/IP 160 або D4052 або IP 365
ТЕКУЧИСТЬ			
Температура замерзання, °C	Max	мінус 40 Jet A ^I	D5972/IP 435, D7153/IP 529, D7154/IP 528, D2386/IP 16
		мінус 47 Jet A-1 ^I	
В'язкість за t = мінус 20°C, мм ² /с ^K	Max	8.0	D445/IP 71, Розділ 1, D7042 ^L або D7945
ГОРІННЯ			
Корисна теплота згорання, МДж/кг	Min	42.8 ^M	D4529, D3338, D4809 або IP 12
Повинна бути виконана одна з наступних вимог:			
(1) Температура димлення, мм, або	Min	25.0	D1322/IP 598
(2) Температура димлення, мм, та	Min	18.0	D1322/IP 598
Нафталіни, об'ємні відсотки	Max	3.0	D1840 або D8305 ^Y
КОРОЗІЯ			
Мідна стрічка, 2 год за температури 100°C	Max	No.1	D130/IP 154
ТЕРМІЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ			
2,5 год за контрольної температури 260°C, min			D3241 ^N /IP 323 ^N
Падіння тиску на фільтрі, мм рт. ст.	Max	25	

Частина 1 – Основні вимоги			
Найменування показника		Значення для Jet A або Jet A-1	Метод випробування ^B
Номінальна міцність трубки: Повинна бути виконана одна з наступних вимог ^O :			
(1) Додаток A1 VTR, колірний код VTR	Менше ніж	3 Без павиних або аномальних кольорових відкладень	
(2) Додаток A2 ITR або Додаток A3 ETR, нм у середньому на площі 2,5 мм ²	Max	85	
ЗАБРУДНЮВАЧІ			
Вміст смол, мг/100 мл	Max	7	D381, IP 540
Мікросепарометр, ^P рейтинг			D3948
Без додатка електропровідності	Min	85	
З додатком електропровідності	Min	70	
ДОДАТКИ (ПРИСАДКИ)		Див. 6.3 ¹²	
Електропровідність, пСм/м		Q	D2624/IP 274

¹² 6.3 Додатки — У паливі, на якому експлуатується повітряне судно, дозволено використовувати лише добавки, схвалені авіаційною промисловістю (включаючи орган з сертифікації повітряних суден). Добавки, схвалені для використання в реактивному паливі D7566, наведено в таблиці 3.3 та таблиці 3.21 і можуть використовуватися в межах концентрацій, зазначених у таблицях, з урахуванням будь-яких обмежень, описаних у виносках до таблиці. Додаткові дані (Керівництво щодо затвердження або відхилення добавок) були подані до штаб-квартири ASTM International та можуть бути отримані, запросивши Research Report RR:D02-1125. Зверніться до служби підтримки клієнтів ASTM за адресою service@astm.org.

Частина 2 – Розширені вимоги			
Найменування показника		Значення для Jet A або Jet A-1	Метод випробування ^B
СКЛАД			
Ароматичні речовини: Повинна бути виконана одна з наступних вимог:			
1. Ароматичні сполуки, об'ємний відсоток	Min ^{R,S}	8	D1319 або IP 156, D8267, 6о D8305 ^X
2. Ароматичні сполуки, об'ємний відсоток	Min ^{R,S}	8.4	D6379/IP 436
НЕСТАБІЛЬНІСТЬ			
Дистиляція			D2887/IP406 ^E або D86 ^F або IP 123 ^F або D7344 ^{G,V} або D7345 ^G
T50-T10, °C	Min ^{S,T}	15	
T90-T10, °C	Min ^{S,T}	40	
ЗМАЩУВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ			
Змашувальна здатність, ^P мм	Max	0.85	D5001
ТЕКУЧИСТЬ^U			
В'язкість $t = \text{мінус } 40^{\circ}\text{C}$, мм ² /с	Max	12	D445/IP 71, Розділ 1, ^W D7945

A. Щодо відповідності результатів випробувань вимогам таблиці 3.3 див. 2.3.

B. Методи випробувань, зазначені в цій таблиці, наведені в розділі 11 стандарту ASTM D7566 – 23. Арбітражні методи випробувань виділено курсивом, де це застосовно.

C. Під час аналізу авіаційного турбінного палива за методом випробування D1319 або IP 156 користувачі не повинні повідомляти про результати, отримані з використанням будь-якого з наступних номерів партій флуоресцентного індикаторного забарвленого гелю: 30000000975, 30000000976, 30000000977, 30000000978, 30000000979 та 30000000980.

D. Визначення вмісту меркаптанової сірки може бути відхилено, якщо паливо вважається солодким за результатами досторського тесту, описаного в методі випробувань D4952 або IP 30.

E. Критерії властивостей дистиляції вказані в одиницях шкали D86 або IP 123. Результати D2887/IP 406 повинні бути перетворені на

розрахункові результати D86 або IP 123 шляхом застосування кореляції в Додатку X4 D2887 або Додатку G IP 406 для порівняння із зазначеними критеріями властивостей. Межі залишку та втрат дистиляції забезпечують контроль процесу дистиляції під час методів випробувань D86 та IP 123 і не застосовуються до D2887/IP 406. Залишок та втрати дистиляції повинні бути позначені як «не застосовується» (N/A) під час звітування про результати D2887/IP 406.

- F. Дистиляція реактивного палива за стандартами D86 або IP 123 проводиться за умов групи 4, за винятком використання температури конденсатора групи 3.
- G. Результати методів випробувань D7344 та D7345 повинні бути скориговані на зміщення.
- H. Між покупцем і постачальником може бути узгоджена вища мінімальна температура спалаху.
- I. Інші точки замерзання можуть бути узгоджені між постачальником і покупцем.
- J. Щодо методу випробування D56, результати, отримані за методом випробування: D93 можуть бути до 1,5 °C вищими; IP 170, IP 534 та D7236 можуть бути до 0,5 °C вищими; D3828 (IP 523) може бути до 0,5 °C нижчими (звіт про дослідження очікує подання до ASTM та доступний в Енергетичному інституті (Energy Institute) як ILS2019_MMS_1).
- K. $1 \text{ мм}^2/\text{с} = 1 \text{ сСт}$.
- L. Результати Методу випробування D7042 необхідно перетворити на результати кінематичної в'язкості з поправкою на зміщення шляхом застосування корекції, описаної в Методі випробування D7042, розділ 15.4.4.
- M. Для всіх класів використовуйте або рівняння 1, або таблицю 1 у методі випробування D4529, або рівняння 2 у методі випробування D3338 або IP 12. Як альтернативу можна використовувати метод випробування D4809.
- N. Термостійкість D3241/IP 323 – це критично важливе випробування авіаційного палива, результати якого використовуються для оцінки придатності реактивного палива для безпеки авіаційної експлуатації та відповідності нормативним вимогам. Цілісність випробувань D3241/IP 323 вимагає, щоб нагрівальні трубки (випробувальні купони) відповідали вимогам таблиці 2 D3241 та дають еквівалентні результати D3241 для нагрівальних трубок, що постачаються виробником оригінального обладнання (OEM – original equipment manufacturer). Протокол випробувань для демонстрації еквівалентності нагрівальних трубок від інших постачальників зберігається в міжнародній штаб-квартирі ASTM і може бути отриманий за запитом Research Report RR:D02-1550. У розробці методу випробувань D3241/IP 323 були використані нагрівальні трубки та комплекти фільтрів, виготовлені виробником оригінального обладнання (PAC, 8824 Fallbrook Drive, Houston, TX 77064). Було продемонстровано, що комплекти нагрівальних трубок та фільтрів, виготовлені компанією Falex (Falex Corporation, 1020 Airpark Dr., Sugar Grove, IL, 60554-9585), дають еквівалентні результати (див. посилання на дослідницький звіт у D3241). Ці історичні факти не слід тлумачити як схвалення чи сертифікацію з боку ASTM International.
- O. Показники осадження в пробірці повинні бути виміряні за допомогою приладу D3241 Додаток A2 ITR або Додаток A3 ETR, якщо вони доступні. Якщо пристрій, зазначений у Додатку A2 ITR, повідомляє «N/A» для вимірювання об'єму трубки, випробування вважається таким, що не відбулося, а значення, зазначене у звіті, >85 нм. Візуальна оцінка трубки нагрівача за методом, наведеним у додатку A1 до D3241, не вимагається, якщо повідомляється про вимірювання товщини осаду за додатком A2 ITR або додатком A3 ETR. У разі виникнення розбіжностей між результатами візуальних і метрологічних методів, арбітр розглядає метод Додатка A3 ETR, якщо він доступний, в іншому випадку - Додаток A2 ITR.
- P. На місці виробництва.
- Q. Якщо використовується додаток для підвищення електропровідності, провідність не повинна перевищувати 600 пСм/м у точці використання палива. Якщо покупець вказує додаток для підвищення електропровідності, провідність повинна становити від 50 пСм/м до 600 пСм/м згідно умов у точці поставки. ($1 \text{ пСм/м} = 1 \times 10^{-12} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$)

- R. Мінімальний вміст ароматичних сполук базується на поточному досвіді використання затверджених сумішей синтетичних компонентів для змішування зі звичайними паливами нафтового походження, і ці рівні були встановлені на основі типових значень для очищеного реактивного палива. Дослідження щодо фактичної потреби в ароматичних сполуках тривають.
- S. Критерії мінімального вмісту ароматичних сполук та нахилу дистиляції застосовуються лише до авіаційних турбінних палив, що містять синтезовані вуглеводні, вироблених відповідно до цієї специфікації, та не застосовуються до звичайних авіаційних турбінних палив, вироблених відповідно до специфікації D1655. Деякі партії авіаційних турбінних палив, вироблених відповідно до специфікації D1655, можуть не відповідати мінімальним критеріям вмісту ароматичних сполук та нахилу дистиляції, зазначеним у таблиці 3.3 цієї специфікації.
- T. Ці граничні значення нахилу дистиляції базуються на поточному досвіді використання затверджених сумішей синтетичних компонентів змішування зі звичайними паливами нафтового походження, і ці значення були встановлені на основі типових значень для очищеного реактивного палива. Дослідження фактичних вимог до нахилу дистиляції тривають.
- U. Вимога щодо текучості застосовується лише до реактивного палива, що містить HEFA-SPK, зазначений у Додатку A2, SIP, зазначений у Додатку A3, та CNJ, зазначений у Додатку A6, та змішаного відповідно до 6.1.2, 6.1.3 та 6.1.6, а також до Додатку A5, змішаного понад 30% за об'ємом відповідно до 6.1.5, та до Додатку A7, змішаного відповідно до 6.1.7. Вона не застосовується до реактивного палива, що містить синтезовані компоненти Додатку A1 або Додатку A4, змішані за 6.1.1 або 6.1.4 відповідно:

[6.1 Авіаційне турбінне паливо, якщо інше не визначено в цій специфікації, повинно складатися з таких сумішей компонентів або палива:

6.1.1 Звичайні компоненти змішування або паливо JetA чи JetA-1, сертифіковане за специфікацією D1655; з вмістом до 50% об'єму синтетичного компонента змішування, визначено в додатку A1 стандарту ASTM D7566 – 23.

6.1.2 Звичайні компоненти змішування або паливо JetA чи JetA-1, сертифіковане за специфікацією D1655; з вмістом до 50% об'єму синтетичного компонента змішування, визначено в додатку A2 стандарту ASTM D7566 – 23.

ПРИМІТКА 1. Можливість додавання 50% компонентів змішування (SPK) з додатка A1 або додатка A2 до JetA чи JetA-1 також обмежена фізичними властивостями палива, з яким його змішують. Практика показала, що густина або вміст ароматичних сполук, або і те, й інше, в очищеному паливі часто обмежують кількість SPK, яку можна додати до кінцевої суміші, до менш ніж 50%.

6.1.3 Звичайні компоненти змішування для палива JetA або JetA-1, сертифіковані за Специфікацією D1655; з вмістом до 10% об'єму синтетичного компонента змішування, визначено в Додатку A3 стандарту ASTM D7566 – 23.

ПРИМІТКА 2 — Можливість додавання 10% компонентів змішування з Додатку A3 (SIP) до JetA або JetA-1 також може бути обмежена фізичними властивостями палива, з яким його змішують. У крайніх випадках можливо, що в'язкість очищеного палива може обмежувати кількість SIP, яку можна додати до кінцевої суміші, до менш ніж 10%.

6.1.4 Звичайні компоненти змішування для палива JetA або JetA-1, сертифіковані за Специфікацією D1655; з вмістом до 50% об'єму синтетичного компонента змішування, визначеного в Додатку A4 стандарту ASTM D7566 – 23.

ПРИМІТКА 3 — Можливість додавання 50% компонентів змішування з Додатку A4 (SPK/A) до JetA або JetA-1 також може бути обмежена фізичними властивостями палива, з яким його змішують. Густина, або вміст ароматичних речовин, або і те, й інше, в очищеному паливі може обмежувати кількість SPK/A, яку можна додати до кінцевої суміші, до менш ніж 50%.

6.1.5 Звичайні компоненти змішування або паливо JetA чи JetA-1, сертифіковане за Специфікацією D1655; з вмістом до 50% об'єму синтетичного компонента змішування, визначеного в Додатку A5 стандарту ASTM D7566 – 23.

6.1.6 Звичайні компоненти змішування для палива JetA або JetA-1, сертифіковані за Специфікацією D1655; з вмістом до 50% об'єму синтетичного компонента змішування, визначеного в Додатку A6 стандарту ASTM D7566 – 23.

6.1.7 Звичайні компоненти змішування для палива JetA або JetA-1, сертифіковані за Специфікацією D1655; з вмістом до 10% об'єму синтетичного компонента змішування, визначеного в Додатку A7 стандарту ASTM D7566 – 23.]

- V. Дані, що підтверджують включення методології D7344, зберігаються в штаб-квартирі ASTM International та можуть бути отримані, запросивши Research Reports RR:D02-1621 та RR:D02-1855. Зверніться до служби підтримки клієнтів ASTM: service@astm.org
- W. Розділ 1 стандарту D445/IP 71 дозволяє вимірювати в'язкість при –40 °C, проте значення точності визначалися до –20 °C. Дані, що корелюють результати випробувань при –40 °C для D445 та інших пов'язаних методів випробувань ASTM, наведені у Research Report RR:D02-1776 «Evaluation of Synthesized Iso-Paraffins produced from Hydroprocessed Fermented Sugars (SIP Fuels)» (Оцінка синтезованих ізопарафінів, отриманих з гідрооброблених ферментованих цукрів (SIP-палива)), підготовленому TOTAL New Energies, Amyris, Inc. та Науково-дослідною лабораторією ВПС США (AFRL), остаточна версія, лютий 2014 року.
- X. Результати методу випробування D8305 повинні бути скориговані з використанням рівняння корекції зсуву для загальної кількості ароматичних речовин, наведеного в розділі 13 (Precision and Bias –Точність і зсув) методу випробування D8305. Результат, скоригований на ароматичні речовини, також використовують у методі випробування D3338.
- Y. Результати методу випробування D8305 повинні бути скориговані з використанням рівняння корекції зсуву для загальної кількості поліаренних ароматичних речовин, наведеного в розділі 13 (Precision and Bias – Прецизійність та зсув) методу випробування D8305.

3.2.3 Вимоги до якості палив марок ТС-1 та РТ

Вимоги до якості палив марок РТ та ТС-1 регламентуються стандартами ГСТУ 320.00149943.007-97 та ГСТУ 320.00149943.011-99 відповідно. У таблиці 3.4 наведені узагальнені вимоги щодо якості цих палив згідно стандартів.

Таблиця 3.4

Вимоги до реактивних палив марок РТ і ТС-1

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Стандарти для палив	
		РТ	ТС-1
		ГСТУ 320.00149943.007-97	ГСТУ 320.00149943.011-99
Густина за температури 20°C	кг/м ³	> 775	> 775
Температура перегонки: початкова температура кипіння	°C	Повідомляється	Повідомляється
10 % відновлення		175	175
50 % відновлення		225	225
90 % відновлення		270	270
98 % відновлення		280	280
Кінематична в'язкість за температури 20 °C мінус 40 °C	мм ² /сек	> 1,25 < 16	> 1,25 < 16
Чиста теплота згорання	кДж/кг	> 43100	< 43120
Точка диму	мм	>25	> 25
Кислотність, загальна	мг КОН/100 г	0,2–0,7	< 0,7
Йодне число	г І ₂ /100 г	0,5	3,5

Продовження Таблиці 3.4

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Стандарти для палив	
		РТ	ТС-1
		ГСТУ 320.00149943.007-97	ГСТУ 320.00149943.011-99
Точка спалаху	°C	> 30	> 28
Точка замерзання	°C	< мінус 55	< мінус 55
Термостабільність в статичних умовах: - відкладення	мг/100 см ³ палива	< 6	< 18
Ароматичні речовини, м/м	%	< 22	< 22
Наявність смол	мг/100 см ³ палива	< 4	< 5
Сірка, загалом, м/м	%	< 0,1	< 0,25
Сірка, меркаптан, м/м	%	< 0,001	< 0,003
Сірководень	Відсутній		
Мідна стрічка, 3 год за $t = 100^{\circ}\text{C}$	Опір		
Зольність	%	< 0,003	< 0,003
Термостабільність в динамічних умовах за $t = 150\text{--}180^{\circ}\text{C}$: падіння тиску на фільтрі протягом 5 год трубчасті відкладення критична температура	кПа бали °C	< 10 < 2 -	- - > 115
Взаємодія з водою: стан межі поділу «паливо-вода» стан розділених фаз	бали	< 1 -	< 1 -

Продовження Таблиці 3.4

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Стандарти для палив	
		РТ	ТС-1
		ГСТУ 320.00149943.007-97	ГСТУ 320.00149943.011-99
Питома електропровідність - за температури заправки - за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$,	пСм/м	> 50 < 600	> 50 < 600
Механічні домішки та вміст води	Відсутність		
Вміст водорозчинних основних сполук	Відсутність		
Водорозчинні кислоти та основи	Відсутність		
Миля нафтових кислот	Відсутність		
Вміст нафталінів, м/м	%	< 1,5	< 3
Протизносні властивості в умовах тертя ковзання на пристрої УПС-01, критерії протизносних властивостей	-	-	> 95
Високотемпературна корозія, втрата маси зразка під час випробування за $t = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ - у міді - на бронзі ВБ23НЦ	г/м ²	3,0 2,5	15 2,5

3.2.4. Вимоги до якості палив марок F-40 (JP-4) і F-44 (JP-5)

Вимоги якості до палив класів NATO F-40 (JP-4) і NATO F-44 (JP-5) регламентуються стандартом MIL-DTL-5624W. Нижче наведені основні з цих вимог.

СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1. *Сфера застосування.* Ця специфікація охоплює два сорти палива для авіаційних турбін NATO F-40 (JP-4) і NATO F-44 (JP-5)¹³. Синтезовані вуглеводні з нових джерел вимагають спеціальних вказівок, які виходять за межі MIL-DTL-5624. Ці вказівки містяться в ASTM D7566.

Класифікація. Паливо для авіаційних турбін:

Клас	Код НАТО	Опис
JP-4 (неактивне для нового дизайну)	F- 40	Широко розповсюджене, тип бензиновий
JP- 5	F- 44	Висока температура спалаху, газовий тип

2. ВИМОГИ

2.1 *Матеріали.* Паливо для авіаційних турбін – це складна суміш, що складається з вуглеводнів і варіюється залежно від джерела сировини та процесу виробництва. Паливо, що постачається відповідно до цієї специфікації, має бути рафінованим вуглеводневим дистиллятом, що містить присадки згідно з 2.3. Якщо сировина, з якої очищається паливо, не відповідає 2.1.1 або 2.1.2, сировиною має бути сира нафта, отримана з нафти, нафтових пісків, горючих сланців або їх сумішей.

2.1.1 *Синтезований парафіновий гас (стосується лише палива класу JP-5).* Максимально 50% об'єму готового палива може складатися з компонентів суміші синтезованого парафінового гасу (SPK – Synthesized Paraffinic Kerosene), отриманих із SPK, виробленого за технологією Фішера Тропша (FT – Fischer Tropsch), або гідрооброблених ефірів і жирних кислот (HEFA – Hydroprocessed Esters and Fatty Acids).

¹³Палива JP-4 і JP-5, на які поширюється ця специфікація, призначені для використання в авіаційних турбінних двигунах. Ці види палива потребують унікальних військових присадок, необхідних у системах військової зброї. Ця вимога є унікальною для військових літаків, конструкцій двигунів і завдань. Крім того, JP-5 є унікальним військовим паливом, тому що для безпеки на судні воно повинно мати значно вищу температуру спалаху, ніж паливо для комерційних авіаційних турбін. Це паливо у великих кількостях зберігається на авіаносцях та інших суднах. Температура спалаху призначена для безпеки в цих унікальних військових застосуваннях.

Компоненти суміші FT-SPK повинні відповідати вимогам ASTM D 7566 Додаток A1. Компоненти суміші SPK, отримані з HEFA, повинні відповідати вимогам ASTM D 7566 Додаток A2. Готове паливо має відповідати властивостям, наведеним у таблицях I і III. Готове паливо повинно містити присадки згідно з 2.3–2.3.6.

2.1.2 *Синтезовані ізопарафіни з гідрооброблених ферментованих цукрів (стосується лише палива класу JP-5).* Максимум 10% об'єму готового палива може складатися з компонентів суміші синтезованих ізопарафінів (SIP), отриманих із гідрооброблених ферментованих цукрів. Компоненти суміші SIP повинні відповідати вимогам ASTM D7566 Додаток A3. Готове паливо має відповідати властивостям, наведеним у таблицях 3.14 і 3.16. Готове паливо повинно містити присадки згідно з 2.3–2.3.6.

2.2 *Готове паливо.* Готові палива мають відповідати вимогам цієї специфікації. Вимоги таблиці 3.16 застосовуються, якщо готове паливо містить синтезовані вуглеводні.

2.3 *Додатки (присадки).* Якщо це зазначено в документах на придбання¹⁴, необхідно повідомити інформацію щодо типу та кількості кожної використаного додатка.

2.3.1 *Антиоксиданти.* Одразу після обробки (тобто під час стікання в живильний/партійний резервуар) і перед тим, як паливо буде піддано впливу атмосфери, до всього палива JP-5 і до палива JP-4, що містить суміші, оброблені воднем, щоб запобігти утворенню смол і пероксидів після виробництва, слід додати схвалений антиоксидант. Паливо JP-4, яке не містить оброблених воднем сумішевих мас, може містити антиоксидант. Концентрація антиоксиданту, що додається, повинна бути наступною:

- a. Для JP-5 і обробленого воднем JP-4: не менше 17,2 мг і не більше 24,0 мг активного інгредієнта на літр палива (від 6,0 до 8,4 фунтів/1000 барелів).

¹⁴Вимоги до придбання. У документах про придбання має бути зазначено наступне:

- a. Назва, номер і дата цієї специфікації
- b. Необхідний сорт палива
- c. Інформація щодо типу та кількості кожної використаної добавки
- d. Розташування та спосіб впорскування інгібітора корозії/покращувача мастильних властивостей
- e. Розташування та спосіб впорскування інгібітора обмерзання паливної системи
- f. Розташування та спосіб введення статичної добавки лише для JP-4
- g. Необхідна кількість і бажаний розмір контейнерів
- h. Необхідний рівень упаковки та пакування

- b. Для палива JP-4, що не оброблене воднем, якщо додано, не більше 24,0 мг активного інгредієнта на літр палива (8,4 фунтів/1000 барелів).

2.3.1.1 *Рецептури*. Схвалені такі антиоксидантні форми:

- a. 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол
- b. 6-трет-бутил-2,4-диметилфенол
- c. 2,6-ди-трет-бутилфенол
- d. 75% мінімум 2,6-ди-трет-бутилфенолу 25% максимум трет-бутилфенолів і три-трет-бутилфенолів
- e. 72% мінімум 6-трет-бутил-2,4-диметилфенолу 28% максимум трет-бутил-метилфенолів і трет-бутил-диметилфенолів
- f. 55% мінімум 2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу та 15% мінімум 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенолу та 30% максимум змішаних метил і диметил трет-бутилфенолів

2.3.2 *Металевий дезактиватор*. Додаток дезактиватора металу не повинен використовуватися в JP-4 або JP-5, якщо це не зазначено в документах на закупівлю¹⁵. Металевий дезактиватор може бути використаний, якщо це схвалено закупівельною організацією та користувачем. Якщо JP-5 буде використовуватися ВМС, письмова згода на використання металевого дезактиватора також має бути отримана від NAVAIR 4.4.5¹⁶. У разі схвалення, металевий дезактиватор, N,N'-дисаліциліден-1,2-пропанедіамін, повинен бути змішаний з паливом. Концентрація активної речовини, що використовується при первинному дозуванні палива на НПЗ, не повинна перевищувати 2,0 мг/л. Сумарне додавання металевого дезактиватора при повторному розливанні палива не повинно перевищувати 5,7 мг/л.

2.3.3 *Інгібітор корозії / поліпшувач мастильних властивостей*. Інгібітор корозії/покращувач мастильних властивостей відповідно до MIL-PRF-25017 повинен бути змішаний у JP-4 та JP-5. Додана кількість

¹⁵Вимоги до придбання. У документах про придбання має бути зазначено наступне:

- a. Назва, номер і дата цієї специфікації
- b. Необхідний сорт палива
- c. Інформація щодо типу та кількості кожної використаної добавки
- d. Розташування та спосіб впорскування інгібітора корозії/покращувача мастильних властивостей
- e. Розташування та спосіб впорскування інгібітора обмерзання паливної системи
- f. Розташування та спосіб введення статичної добавки лише для JP-4
- g. Необхідна кількість і бажаний розмір контейнерів
- h. Необхідний рівень упаковки та пакування

¹⁶Схвалення NAVAIR. Щоб отримати письмову згоду, зверніться до NAVAIRSYSCOM, AIR 4.4.5, BLDG 2360, PSEF, 22229 Elmer Road, Patuxent River, MD 20670-1534.

повинна дорівнювати або перевищувати мінімальну ефективну концентрацію та не повинна перевищувати максимально допустиму концентрацію для затвердженого джерела, як зазначено в QPL-25017. Точка ін'єкції інгібітора корозії/підсилювача змащувальних властивостей має відповідати вказаній у документах придбання¹³.

2.3.4 *Інгібітор обмерзання паливної системи.* Для JP-4 і JP-5 слід використовувати інгібітор обмерзання паливної системи відповідно до MIL-DTL-85470. Точка додавання присадки (додатку) має бути такою, як зазначено в документах на придбання¹³.

2.3.5 *Додаток для розсіювання статичної електрики.* Схвалена присадка для розсіювання статичної електрики повинна бути змішана з паливом JP-4 у достатній концентрації для підвищення провідності палива в межах діапазону, зазначеного в таблиці 3.5, у точці впорскування. Точка впорскування має бути такою, як зазначено в документах на придбання¹⁷. Схвалено наступну присадку для розсіювання статичної електрики: Stadis® 450, що продається компанією Innospec Fuel Specialties LLC. Додаток для розсіювання статичної електрики не можна використовувати в JP-5, якщо не було отримано письмову згоду від NAVAIR 4.4.5¹⁸.

2.3.6 Попереднє змішування додатків (присадок). Присадки не можна попередньо змішувати з іншими присадками перед впорскуванням у паливо, щоб запобігти можливим реакціям між концентрованими формами різних присадок.

2.4 Вимоги до хімічних і фізичних властивостей готового палива. Хімічні та фізичні властивості всіх готових палив повинні відповідати вимогам, зазначеним у таблиці 3.5, під час випробувань відповідно до визначених методів випробувань. Рейтинг мікросепарометра готового палива залежить від наявних додатків (див. таблицю 3.5).

¹⁷Вимоги до придбання. У документах про придбання має бути зазначено наступне:

- a. Назва, номер і дата цієї специфікації
- b. Необхідний сорт палива
- c. Інформація щодо типу та кількості кожної використаної добавки
- d. Розташування та спосіб впорскування інгібітора корозії/покращувача мастильних властивостей
- e. Розташування та спосіб впорскування інгібітора обмерзання паливної системи
- f. Розташування та спосіб введення статичної добавки лише для JP-4
- g. Необхідна кількість і бажаний розмір контейнерів
- h. Необхідний рівень упаковки та пакування

¹⁸Схвалення NAVAIR. Щоб отримати письмову згоду, зверніться до NAVAIRSYSCOM, AIR 4.4.5, BLDG 2360, PSEF, 22229 Elmer Road, Patuxent River, MD 20670-1534.

Таблиця 3.5

Вимоги до хімічних і фізичних властивостей і методи випробувань реактивного палива класів JP-4 та JP-5 за стандартом MIL-DTL-5624W

Найменування показника	Клас JP-4 (NATO F- 40)	Клас JP-5 (NATO F- 44)	ASTM або IP Тестовий метод
колір, шкала Saybolt	Повідомляється	Повідомляється	D156 ^{1/} або D6045
Загальне кислотне число, мг КОН/г, max	–	0.015	D3242
Ароматичні речовини, об. відсотки, max	25.0	25.0	D1319 ^{1/}
	26.5 ^{2/}	26.5 ^{2/}	D6379
Сірка, Меркаптан, мас.% max	0.003	0.002	D3227 ^{1/}
або Тест Доктора (на вміст меркаптанів) ^{3/}	Негативний	Негативний	D4952
Сірка, загалом, мас.% max	0.30	0.20	D129, D1266, D2622, D3120, D4294 ^{1/} або D5453
Температура дистиляції, °C			D86 ^{1/4/} ,
Початкова температура кипіння	Повідомляється	Повідомляється	D7345 або
10 % відновлення, температура	Повідомляється	205, max	D2887 ^{5/}
20 % відновлення, температура	90, min	Повідомляється	
	145, max		
50 % відновлення, температура	110, min	Повідомляється	
	190, max		
90 % відновлення, температура	245, max	Повідомляється	
Кінцева точка, макс. температура	Повідомляється	300, max	
Залишок, об. %, макс. (для D86)	1.5	1.5	
Втрати, об. %, макс. (для D86)	1.5	1.5	
Температура спалаху, °C, min	–	60.0 ^{6/}	D56, D93 ^{1/} , або D3828

Продовження Таблиці 3.5

Найменування показника	Клас JP-4 (NATO F- 40)	Клас JP-5 (NATO F- 44)	ASTM або IP Тестовий метод
Густина за $t = 15^{\circ}\text{C}$ кг/л, min (API max) кг/л, max (API min)	0.751 (57.0) 0.802 (45.0)	0.788 (48.0) 0.845 (36.0)	D1298, D4052 ^{1/} , або D7777
Тиск пари, за $t = 37,8^{\circ}\text{C}$, кПа мінімум максимум	14 21	– –	D323, або D5191 ^{1/7/}
Температура замерзання, $^{\circ}\text{C}$, макс	мінус 50	мінус 46	D2386 ^{1/} , D5972 ^{8/} , D7153, або D7154
В'язкість, за $t = \text{мінус } 20^{\circ}\text{C}$, макс., мм ² /с	–	7.0	D445
Корисна теплота згорання, МДж/кг, мінімум	42.8	42,6	D3338/D3338M, D4529, або D4809 ^{1/}
Розрахований цетановий індекс ^{9/}	–	Повідомляється	D976 або D4737
Вміст водню, мас.%, мінімум	–	13.4	D3701, D5291, or D7171 ^{1/}
Температура задимлення, мм, мінімум або	25.0	25.0	D1322
Температура задимлення, мм, мінімум і	18.0	18.0	D1322
нафталін, об'ємні %, макс	3.0	3.0	D1840
Корозія мідної стрічки, 2 год за $t = 100^{\circ}\text{C}$, максимум	No. 1	No. 1	D130
Термічна стабільність: зміна тиску падіння, мм рт.ст., макс	25	25	D3241 ^{10/}
та код відкладень трубки, менше ніж	3 ^{11/}	3 ^{11/}	D3241 Додаток A1
або середня товщина відкладень, нм, на площі 2,5 мм ² , макс	–	85	D3241 Додаток A2 або A3 ^{1/}
Залишкова (наявна) смола, мг на 100 мл палива, максимум	7	7	D381 ^{1/} або IP 540 ^{12/}
Рейтинг мікросепарометра, мінімум	13/	13/	D3948 або D7224 ^{1/}
Інгібітор обмерзання паливної системи: об'ємний відсоток мінімум	0.10	0.08	D5006 ^{14/}
об'ємний відсоток максимум	0.15	0.11	
Електропровідність палива: допустимий діапазон, пСм/м	від 150 до 600 ^{15/}	–	D2624

- 1/ Арбітражний тестовий метод.
- 2/ При використанні результатів D6379 застосовується більш високий максимальний загальний ліміт ароматичних речовин.
- 3/ Якщо докторський тест дав невдачу («позитивний» результат), тоді вміст меркаптанової сірки повинен бути визначений реферативним методом перевірки ASTM D3227.
- 4/ Температура конденсатора від 0 °C до 5 °C повинна використовуватися для дистиляції палива JP-5. Для JP-4 повинні використовуватися умови випробування групи 3.
- 5/ ASTM D2887 слід використовувати лише для палива JP-5. Критерії властивостей дистиляції вказані в одиницях шкали ASTM D86. Результати ASTM D2887 повинні бути перетворені в розрахункові результати ASTM D86 шляхом застосування кореляції в Додатку X4 ASTM D2887 для порівняння з визначеними критеріями властивостей. Межі дистиляційного залишку та втрат забезпечують контроль процесу дистиляції під час методу випробування ASTM D86 і не застосовуються до ASTM D2887.
- 6/ ASTM D3828 може давати результати на 1,7 °C нижче результатів ASTM D93. ASTM D56 може давати результати на 1 °C нижче результатів ASTM D93.
- 7/ При використанні ASTM D5191 для визначення тиску пари JP-4 перевірки контролю якості, розділ 12, повинні виконуватися щодня з використанням двох контрольних зразків як еталонних чистих матеріалів. Перший контрольний зразок повинен мати тиск пари від 7 до 14 кПа, а другий контрольний зразок повинен мати тиск пари від 21 до 23 кПа.
- 8/ Для JP-4 ASTM D5972 може дати більш високий результат замерзання, ніж визначений за ASTM D2386. У разі суперечки ASTM D2386 має бути референтним методом випробування.
- 9/ Середні температури кипіння можуть бути отримані за ASTM D86 або ASTM D2887 для розрахунку цетанового індексу. Якщо використовуються значення ASTM D86, вони повинні бути скориговані до стандартного барометричного тиску.
- 10/ Випробування на термічну стабільність проводиться за стандартом ASTM D3241 при температурі випробування 260 °C. Нагрівальна трубка повинна бути оцінена згідно з Додатком A1 (Показник візуальної трубки), Додатком A2 (Показник інтерферометричної трубки) або Додатку A3 (Показник еліпсометричної трубки).
- 11/ Якщо візуальна оцінка трубки нагрівача показує відкладення типу павича (P) або ненормального типу (A), зразок палива неприйнятний.
- 12/ Переважним випаровуючим середовищем для авіаційного турбінного палива є пара, однак, існуючий тест на наявність смол IP 540 може бути виконаний з використанням повітря як випаровувального середовища. Якщо замість пари використовується повітря, це необхідно записати. У разі несправності з повітрям зразок необхідно повторно перевірити з використанням пари. Метод випробування ASTM D381 з використанням робочих умов парового струменя повинен бути референтним методом випробування.
- 13/ Мінімальний рейтинг мікросепарометра з використанням мікросепарометра (MSEP) повинен відповідати таблиці 3.6.
- 14/ Див. Примітку 2 в ASTM D5006.
- 15/ Провідність має бути в діапазоні від 150 пСм/м до 600 пСм/м за температури навколишнього навколо палива або 29,4 °C, залежно від того, що нижче.

Таблиця 3.6

Рейтинг Мікросепарометра

Найменування продукту	Додатки (присадки)*	MSEP рейтинг, мінімум
JP-4 і JP- 5	Антиоксидант (АО)*, Дезактиватор металу (MDA)*	90
JP-4 і JP- 5	АО*, MDA*, та інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)	85
JP-4 і JP- 5	АО*, MDA*, і Інгібітор корозії/поліпшувач мастильних властивостей (CI/LI)	80
JP-4 і JP- 5	АО*, MDA*, CI/LI, та FSII	70

* Незважаючи на те, що наявність або відсутність цих додатків не змінює ці обмеження, зразки, подані для тестування на відповідність специфікаціям, повинні містити ті самі добавки, що присутні в партії НПЗ. Незалежно від того, якому мінімуму нафтопереробник вирішить відповідати, нафтопереробник повинен повідомити рейтинг MSEP для лабораторної ручної суміші палива з усіма Додатками, що вимагаються специфікацією.

2.5 Додаткові вимоги до готового палива, що містить синтезовані вуглеводні (лише JP-5). Готове паливо, що містить синтезовані вуглеводні, повинно відповідати додатковим вимогам, зазначеним у таблиці 3.7, під час випробування відповідно до визначених методів випробування.

Таблиця 3.7

Додаткові вимоги до JP-5, що містять синтезовані вуглеводні

Найменування показника	JP- 5	Метод тестування ASTM
Вміст ароматичних речовин, об'ємних %, мінімум	8.0	D1319 ^{1/}
	8.4	D6379
Дистиляція T50–T10, °C, мінімум T90–T10, °C, мінімум	15 40	D86 ^{1/} або D2887 ^{2/}
Похідне цетанове число, мінімум	40	D6890 ^{1/} або D7170
В'язкість за $t = \text{мінус } 40^{\circ}\text{C}$, макс, мм ² /с ^{3/}	12	D445

1/ Арбітражний тестовий метод.

2/ Результати ASTM D2887 повинні бути перетворені в оціночні результати ASTM D86 шляхом застосування кореляції, наведеної в Додатку X4 ASTM D2887, для порівняння із зазначеними критеріями властивостей.

3/ Вимога стосується лише палива, що містить SIP, зазначеного в 2.1.2.

2.6 *Якість виготовлення.* На момент схвалення готове паливо має бути прозорим, яскравим і візуально вільним від нерозчиненої води, осаду чи зважених речовин. У разі суперечки паливо має бути прозорим і яскравим за $t = 21^{\circ}\text{C}$ і містити не більше 1,0 мг/л твердих часток.

2.7 *Випадкові забруднення.* На момент схвалення концентрація випадкових забруднювачів у готовому паливі не повинна перевищувати обмежень, наведених у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8
Випадкові забруднення^{1/}

Матеріал	JP 4	JP-5	Тест метод ASTM або IP
Тверді частки (гравіметрично), мг/л, максимум ^{1/}	1.0	1.0	ASTM D2276 або ASTM
Час фільтрації, хвилини, максимум ^{1/}	10	15	D5452 ^{2/}
Підрахунок частинок кількість окремих каналів ^{3/} ≥ 4 мкм (с) ^{4/} ≥ 6 мкм (с) ≥ 14 мкм (с) ≥ 21 мкм (с) ≥ 25 мкм (с) ≥ 30 мкм (с)	— — — — — —	Повідомляється Повідомляється Повідомляється Повідомляється Повідомляється Повідомляється	IP 564, IP 565, IP 577, або ASTM D7619 ^{2/}
Метилловий ефір жирної кислоти ^{5/} (FAME), мг/кг, максимум		50	ASTM D7797, IP 583, IP 585 ^{2/} , IP 590 або IP 599

1/ Мінімальний розмір зразка 3,785 літра (1 галон) повинен бути відфільтрований. Час фільтрації визначається відповідно до процедури, наведеної в Додатку А специфікації MIL-DTL-5624W. Процедура, наведена в Додатку А, також може використовуватися для визначення твердих частинок як альтернатива ASTM D2276 або ASTM D5452.

2/ Арбітражний тестовий метод.

3/ Підрахунок частинок. Щоб допомогти в процесі збору даних, результати слід повідомити в NAVAIRSYSCOM, AIR 4.4.5.1, BLDG 2360, PSEF, 22229 Elmer Road, Patuxent River, MD 20670-1534.

4/ Позначення (с), що використовується для розмірів частинок, означає, що прилад був відкалібрований.

5/ Нещодавне обов'язкове та добровільне введення FAME¹⁹ на комерційний ринок середніх дистилатів призвело до потенційної кількості слідових кількостей FAME у паливі JP-5. Паливо, що постачається відповідно до цієї специфікації, не повинно навмисно змішуватися з FAME. Якщо існує ризик випадкового забруднення FAME, постачальник повинен гарантувати, що цей ліміт не буде перевищено до того, як продукт стане доступним. Метиллові ефіри жирних кислот, що не відповідають стандартам якості біодизеля, не допускаються до палива для авіаційних турбін.

¹⁹FAME є синонімом біодизеля, що відповідає вимогам ASTM D6751 або EN 14214. Відповідно до ASTM D6751, «біодизель – це паливо, що складається з жирних кислот, отриманих з рослинних олій або тваринних жирів, позначених B100».

2.8 *Перероблені, відновлені, екологічно вигідні або біоматеріали.* Перероблені, відновлені, екологічно вигідні або біологічні матеріали слід використовувати в максимально можливому обсязі за умови, що матеріал відповідає або перевищує вимоги щодо експлуатації та обслуговування, а також сприяє економічно вигідним витратам протягом життєвого циклу.

3.2.5. Вимоги до якості палив марок JP-8 (F-34), F-35 та JP-8+100 (F-37)

Вимоги до палив марок JP-8 (NATO F-34), NATO F-35 та JP-8+100 (NATO F-37) регламентуються стандартом MIL-DTL-83133J «Турбінне паливо, авіаційне, типу керосину, JP-8 (NATO F-34), NATO F-35 та JP-8+100 (NATO F-37)».

1. Сфера застосування

1.1 Сфера застосування. Ця специфікація охоплює три марки авіаційного турбінного палива гасового типу: JP-8 (NATO F-34), NATO F-35 та JP-8+100 (NATO F-37).

Класифікація. Реактивне паливо описане у специфікаціях має наступні класи²⁰:

Марка	Код НАТО	Опис
JP- 8	F- 34	Гасоподібне паливо для турбін, що містить присадку для розсіювання статичної електрики, інгібітор корозії/поліпшувач мастильних властивостей та інгібітор обмерзання паливної системи, а також може містити антиоксидант і дезактиватор металу.

²⁰Вимоги до придбання. У документах про придбання має бути зазначено наступне:

- Назва, номер, дата цієї специфікації та сорт (вид) палива.
- Необхідна кількість і бажаний розмір контейнерів.
- Необхідний рівень упаковки та пакування. Для цілей придбання вимоги до упаковки мають відповідати контракту чи замовленню. Коли фактичне пакування матеріальних засобів має виконуватися Міністерством оборони або персоналом внутрішнього підрядника, цей персонал повинен зв'язатися з відповідальним за пакувальну діяльність, щоб уточнити вимоги до пакування. Вимоги до пакування підтримуються пакувальною діяльністю Пункту контролю інвентаризації у військової служби чи оборонному агенстві або в системних командуваннях військової служби. Отримання пакувальних даних доступне з автоматизованих пакувальних файлів військового департаменту або оборонного агентства, продуктів на компакт-дисках або зв'язавшись із відповідальним за пакувальну діяльність.
- Розташування та спосіб впорскування для додавання присадки для електропровідності, інгібітора обмерзання паливної системи та інгібітора корозії/покращувача мастильних властивостей, якщо потрібно.

Марка	Код НАТО	Опис
---	F- 35	Гасоподібне паливо для турбін, що містить присадку для розсіювання статичної електрики, може містити антиоксидант, інгібітор корозії/покращувач мастильних властивостей і дезактиватор металу, але не містить інгібітор обледеніння паливної системи.
JP-8+100	F- 37	Паливо для керосинової турбіни типу JP-8, що містить присадку, що покращує термічну стабільність (NATO S-1749), як описано в 2.3.6.

2. Вимоги

2.1 *Матеріали.* Якщо не вказано інше (див. 2.1.1), паливо, що постачається відповідно до цієї специфікації, повинно бути очищеним вуглеводневим дистиллятом, що містить присадки відповідно до 2.3. Вихідною сировиною, з якої очищається паливо, є сира нафта, отримана з нафти, нафтових пісків, горючих сланців або їх сумішей.

2.1.1 *Синтезовані матеріали.* Зі схвалення як закупівельної діяльності, так і відповідних технічних органів палива, перелічених нижче, до 50 об'ємних відсотків готового палива може складатися з Синтезованого парафінового гасу (SPK - Synthesized Paraffinic Kerosene), отриманого за допомогою процесу Фішера-Тропша (FT- Fischer-Tropsch), що відповідає вимогам Додатку А (див. А.2 стандарту MIL-DTL-83133J), або SPK, отриманий з гідрооброблених ефірів і жирних кислот (HEFA - Hydroprocessed Esters and Fatty Acids стандарту MIL-DTL-83133J), що відповідає вимогам Додатку В (див. В.2 стандарту MIL-DTL-83133J). HEFA-SPK також називають гідрооброблене поновлюване реактивне паливо (Hydroprocessed Renewable Jet) або гідроочищене поновлюване реактивне паливо (Hydrotreated Renewable Jet – HRJ), і для цілей цієї специфікації терміни вважаються взаємозамінними. Готове паливо, що містить FT-SPK або HEFA-SPK, повинно містити присадки згідно з 2.3. Готове паливо, що містить FT-SPK, має відповідати властивостям таблиці А-ІІ стандарту MIL-DTL-83133J на додаток до властивостей таблиці 3.9. Готове паливо, що містить HEFA-SPK, має відповідати властивостям таблиці В-ІІ стандарту MIL-DTL-83133J на додаток до властивостей таблиці 3.9. Під час процесу платформи сертифікації / схвалення перед використанням готового палива, що містить SPK, необхідно отримати дозвіл як від закупівельника, так і від відповідного

технічного органу з питань палива, зазначеного нижче. Усі літаки ВМС США та ВПС США сертифіковані для використання палива, що містить FT-SPK і HEFA-SPK. Уся тактична/бойова техніка/транспортні засоби наземного флоту армії США схвалені для використання палива, що містить FT-SPK і HEFA-SPK. Процес платформи сертифікації / затвердження для авіації армії США все ще триває; отже, перед використанням готового палива, що містить SPK, необхідно отримати дозвіл як від закупівельної діяльності, так і від відповідної усвідомленої діяльності, зазначеної нижче.

Довідкове бюро для авіації армії США: US Army RDECOM, Attn: RDMR-AEP, Building 4488, Room C-211, Redstone Arsenal, AL 35898-5000.

Закупівельне бюро: Product Technology & Standardization, DLA Energy, Rm 2843, 8725 John J. Kingman Road, Fort Belvoir, VA 22060.

2.2 Хімічні та фізичні вимоги. Якщо не вказано інше (див. 2.1.1), хімічні та фізичні властивості палива мають відповідати тим, що наведено в таблиці 3.9.

2.3 Додатки (присадки). Тип і кількість кожної використаного додатку повинні бути доступні на вимогу закупівельної діяльності або користувача (див. 6.2.d ²¹). Єдиними Додатками, схваленими для використання, є ті, що згадуються в цій специфікації.

2.3.1 Антиоксиданти. Одразу після обробки та перед тим, як паливо буде піддано впливу атмосфери (наприклад, під час спуску в резервуар для подачі/баку), додайте схвалений антиоксидантний склад (2.3.1.1) або комбінацію схвалених антиоксидантних складів, щоб запобігти утворенню камеді і пероксидів після виробництва.

Концентрація антиоксиданту, що додається, повинна становити:

- a. Не менше 17,2 міліграмів (мг) і не більше 24,0 мг активного інгредієнта на літр (л) палива (від 6,0 до 8,4 фунтів/1000 барелів) для всього палива JP-8, яке містить змішані маси, оброблені воднем або SPK, отримані з гідроочищення, гідрокрекінгу або гідроізомеризованих продуктів Фішера-Тропша або процесу HEFA.
- b. За вибором постачальника, не більше 24,0 мг активного інгредієнта на літр палива (8,4 фунтів/1000 барелів) можна додавати до палива JP-8, яке не містить оброблених воднем сумішевих матеріалів або SPK, отриманих з гідроочищення, гідрокрекінгу або гідроізомеризованих продуктів Фішера-Тропша або HEFA.

²¹ 6.2 Вимоги до закупівлі. У документах щодо закупівлі має бути зазначено наступне:

- a. Назва, номер, дата цієї специфікації та сорт (тип) палива.
- b. Необхідна кількість та бажаний розмір контейнерів.
- c. Необхідний рівень упаковки та пакування (див. 5.1).
- d. Розташування та спосіб впорскування для додавання добавки електропровідності, інгібітора обмерзання паливної системи та інгібітора корозії/покращувача змащувальних властивостей, за потреби.

2.3.1.1 Антиоксидантні сполуки. Схвалені такі антиоксидантні форми:

- a. 2,6-ди- трет-бутил-4-метилфенол
- b. 6- трет-бутил-2,4-диметилфенол
- c. 2,6-ди- трет-бутилфенол
- d. 75 відсотків мінімум-2,6- ди- трет- бутилфенол
25 відсотків максимум трет- бутилфенолів і три-трет-бутилфенолів
- e. 72 відсотк мінімум 6-трет-бутил-2,4-диметилфенол
28відсотків максимум трет-бутил-метилфенолів і трет-бутил-диметилфенолів
- f. 55 відсотків мінімум 2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу та
15 відсотків мінімум 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол і
30відсотків максимум змішаного метилу і диметил трет-бутилфенолу

2.3.2 *Дезактиватор металу.* Додаток дезактиватора металу, N,N'-дисаліциліден-1,2-пропандіамін, не повинна використовуватися в JP-8, якщо постачальник не отримав письмову згоду від закупівельника та користувача. Концентрація активного матеріалу, що використовується для початкового дозування палива на НПЗ, не повинна перевищувати 2,0 мг/л. Сумарне додавання дезактиватора металу при повторному додаванні присадки до палива не повинно перевищувати 5,7 мг/л.

2.3.3 *Додаток для розсіювання статичної електрики.* Присадка повинна бути змішана з паливом у достатній концентрації, щоб збільшити провідність палива в межах діапазону, зазначеного в таблиці 3.17, у точці впорскування. Точка додавання додатку (присадки) визначається за згодою між закупівельним органом і постачальником. Схвалено наступний додаток для електропровідності: Stadis® 450, що продається компанією Innospec Fuel Specialties, LLC.

2.3.4 *Інгібітор корозії/покращувач змащувальних властивостей.* Інгібітор корозії/покращувач змащувальних властивостей (CI/LI), що відповідає стандарту MIL-PRF-25017 та внесений до Переліку кваліфікованої продукції (QPL)-25017, повинен бути доданий підрядником до палива марки JP-8 (NATO F-34). Додаток CI/LI не є обов'язковою для палива NATO F-35, якщо це не зазначено в контракті. Кількість доданої присадки повинна дорівнювати або перевищувати мінімальну ефективну концентрацію і не повинна перевищувати максимально допустиму концентрацію, зазначену в QPL-25017. Підрядник або транспортне агентство, або обидва повинні зберігати і за вимогою надавати докази того, що використані Додатки CI/LI відповідають у всіх відношеннях кваліфікаційним продуктам, переліченим у QPL-25017. Місце додавання додатків CI/LI визначається за домовленістю між замовником і постачальником.

Таблиця 3.9

Хімічні та фізичні вимоги та методи випробувань палив марок JP- 8 (F- 34), F- 35 та JP-8+100 (F- 37) за стандартом MIL-DTL-83133J

Найменування показника	Мінімум	Максимум	ASTM або IP Тестовий метод
СКЛАД			
колір, шкала Saybolt ¹			D156 ² або D6045
Загальне кислотне число, мг КОН/г		0,015	D3242
Ароматичні речовини, об'ємних відсотків		25,0	D1319
Сірка, усього, масовий відсоток		0,30	D129, D1266, D2622, D3120 ³ , D4294 ² або D5453
Сірка, меркаптан, маса відсотків		0,002	D3227 ²
або Тест Докторський (на вміст меркаптанів) ⁴		негативний	D4952
ЛЕТКІСТЬ (Volatility)			
Температура дистиляції, °C ⁵			D86 ^{2,6} , D2887, або D7345 ⁷
Початкова точка кипіння ¹			
10 %		205	
20 % ¹			
50 % ¹			
90 % ¹			
Кінцева точка кипіння		300	
Залишок, об'ємних відсотків		1.5	
Втрати, об'ємних відсотків		1.5	

Продовження Таблиці 3.9

Найменування показника	Мінімум	Максимум	ASTM або IP Тестовий метод
Точка спалаху, °C ⁸	38		D56, D93 ² , D3828, або IP 170
Густина Густина, кг/л за $t = 15^{\circ}\text{C}$ або API-гравітація за $t = 60^{\circ}\text{F}$	0,775 37,0	0,840 51,0	D1298, D4052 ² , або D7777
ТЕКУЧИСТЬ			
Точка замерзання, °C		мінус 47	D2386 ² , D5972, D7153, або D7154
В'язкість, за $t = \text{мінус } 20^{\circ}\text{C}$, мм ² /с		8.0	D445 ² або D7042 ⁹
ГОРІННЯ			
Корисна теплота згорання, МДж/кг	42.8		D3338, D4529, або D4809 ²
Вміст водню, масових відсотків	13.4		D3343, D3701, D5291, або D7171 ²
Димова точка, мм або Димова точка, мм, і Нафталіни, об'ємних відсотків	25,0 19,0	 3,0	D1322 D1322 D1840
Розрахований цетановий показник ¹			D976 або D4737
КОРОЗІЯ			
Корозія мідної стрічки, 2 год за $t = 100^{\circ}\text{C}$ (212 °F)		No. 1	D130

Продовження Таблиці 3.9

Найменування показника	Мінімум	Максимум	ASTM або IP Тестовий метод
ТЕРМІЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ			
Термічна стабільність (2,5 год за $t = 260^{\circ}\text{C}$) ¹⁰ Зміна перепаду тиску, мм рт. ст. Рейтинг труби: Має виконуватись одна з наступних вимог: (1). Додаток A1 VTR або (2). Додаток A3 ETR або Додаток A2 ITR, середня товщина відкладень, нм, на площі 2,5 мм ²			D3241
		25	
		<3 ¹¹	
		85	
ДОДАТКИ (ПРИСАДКИ)			
Інгібітор обмерзання паливної системи, % об'ємн.	0,07	0,10	D5006
Електропровідність палива, пСм/м ¹²			D2624
ЗАБРУДНЮЮЧІ РЕЧОВИНИ			
Залишкова (наявна) смола, мг на 100 мл палива ¹³		7	D381 ² або IP 540
Оцінка міжфазної взаємодії з водою		1b	D1094
Рейтинг Мікросепарометра ¹⁴			D3948 або D7224 ²

ПРИМІТКИ:

1. Показник підлягає звітуванню – не обмежується нормативом.
2. Арбітражний метод випробування.
3. Діапазон визначення вмісту сірки для ASTM D3120 становить від 3,0 до 1000 мг/кг.

4. Якщо Доктор-тест дає невдачу («позитивний» результат), тоді вміст меркаптанової сірки повинен бути визначений арбітражним методом ASTM D3227.
5. Критерії властивостей дистиляції вказані в одиницях шкали ASTM D86. Результати ASTM D2887 повинні бути перетворені в розрахункові результати D86 шляхом застосування кореляції в Додатку X4 «Correlation for Jet and Diesel Fuel (Procedures A and B)» (Кореляція для реактивного та дизельного палива (процедури A і B)) методу D2887 для порівняння з критеріями вказаних властивостей. Межі дистиляційного залишку та втрат забезпечують контроль процесу дистиляції під час методу випробування D86 і не застосовуються до D2887.
6. Дистиляція за стандартом ASTM D86 проводиться за умов групи 4, за винятком випадку, коли використовується температура конденсатора групи 3.
7. Результати ASTM D7345 повинні бути скориговані до результатів дистиляції без зміщення шляхом застосування коригувальних коефіцієнтів у розділі D7345 «Precision and Bias» (Точність і зміщення).
8. ASTM D56 може давати результати на 1 °C (2 °F) нижче результатів ASTM D93. ASTM D3828 може давати результати на 1,7 °C (3 °F) нижче результатів ASTM D93. Метод IP 170 також дозволений, може давати результати до 2,2 °C (4 °F) нижче результатів ASTM D93.
9. Результати ASTM D7042 повинні бути скориговані до результатів в'язкості без зміщення шляхом застосування коригувального коефіцієнта в розділі D7042 «Precision and Bias» (Точність і зміщення).
10. Випробування на термостабільність. Випробування на термічну стабільність слід проводити за стандартом ASTM D3241 при температурі 260 °C (325 °C для FT-SPK (Додаток А) і HEFA-SPK (Додаток В)). Оцінки відкладення в трубці повинні вимірюватися за допомогою еліпсометричного вимірювача трубок [Ellipsometric Tube Rater] (D3241 Додаток А3 ETR), якщо він доступний; інтерферометричного вимірювача трубок [Interferometric Tube Rater] (D3241 Annex A2 ITR), якщо наявний; інакше, Візуальним оцінювачем трубки [Visual Tube Rater] (D3241 додаток A1 VTR).

Звітні дані за ASTM D3241. Повідомляються наступні дані:

- a. Перепад тиску в міліметрах ртутного рівни́чка (мм рт. ст.) за 150 хвилин або час досягнення різни́ці тиску 25 мм рт. ст., залежно від того, що настане раніше.
- b. Наприкінці випробування середня товщина відкладень у нанометрах (нм) на площі 2,5 мм², визначена за допомогою ETR або ITR, або оцінка відкладення трубки нагрівача, визначена за допомогою VTR.

ASTM D3241 Додаток А3 Ellipsometric Tube Rater (ETR—Еліпсометричний вимірювач трубок) є арбітражним методом термічної стабільності, якщо доступний; в іншому випадку, Додаток А2 Interferometric Tube Rater (ITR—Інтерферометричний вимірювальний прилад), якщо доступний. Помилка відкладення на трубці за ETR або ITR повинна повідомлятися як ">85 нм". Якщо ITR повідомляє "N/A" для об'ємної товщини трубки, результат вважається невдалим і повинен бути повідомлений як ">85 нм". Якщо повідомляються результати випробування ETR або ITR, то результати D3241 Додаток А1 Visual Tube Rater (VTR – Візуальний оцінювач трубки) не потрібні.

11. Відкладення павиного або ненормального кольору призводять до збою.
12. Провідність повинна бути від 150 до 600 пСм/м для JP-8 (NATO F-34) та від 50 до 600 пСм/м для NATO F-35 при температурі навколишнього середовища або 29,4 °C (85 °F), залежно від того, яка з цих температур нижча, якщо інше не зазначено в інструкціях замовника. У випадку JP-8+100 (NATO F-37), JP-8 з добавкою (додатком) для підвищення термічної стабільності

- (див. 2.3.6), межа провідності повинна бути між 150 і 700 пСм/м при температурі навколишнього середовища або 29,4 °C (85 °F), залежно від того, що з цих температур нижча, якщо не вказано інше, якщо інше не передбачено закупівельною діяльністю.
13. Кращим випаровуючим середовищем для палива авіаційних турбін є пара; однак існуючий тесту на наявність смол IP 540 може бути виконаний з використанням повітря як випаровувального середовища. Якщо замість пари використовується повітря, це необхідно записати. Метод випробування ASTM D381 з використанням робочих умов пари для реактивного палива повинен бути арбітражним методом випробування.
 14. Мінімальний рейтинг мікросепарометра на місці виробництва з використанням мікросепарометра (MSEP) має бути наступним:

Додатки (присадки) для JP-8	MSEP Рейтинг, мінімум
Антиоксидант (АО)*, Деактиватор металу (MDA)*	90
АО*, MDA*, та інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)	85
АО*, MDA* та інгібітор корозії/поліпшувач змащувальних властивостей (CI/LI)	80
АО *, MDA*, FSII, та CI/LI	70

*Незважаючи на те, що наявність або відсутність не змінює ці обмеження, зразки, подані для специфікації або тестування на відповідність, повинні містити ті самі Додатки, що присутні в партії НПЗ. Незалежно від того, який мінімальний поріг обере виробник для відповідності вимогам, він зобов'язаний надати звіт про рейтинг MSEP, отриманий на лабораторній суміші палива з усіма присадками, передбаченими специфікацією.

2.3.5 *Інгібітор обмерзання паливної системи.* Використання інгібітора обмерзання паливної системи є обов'язковим для JP-8 і має відповідати MIL-DTL-85470. Точка введення Додатки для JP-8 визначається за домовленістю між закупівельним органом і постачальником. Інгібітор обмерзання паливної системи не можна додавати до NATO F-35, якщо це не вказано органом закупівлі.

2.3.6 *Присадка для підвищення термостабільності.* З міркувань логістики персонал на місці експлуатації повинен отримати письмовий дозвіл від уповноваженої організації на додавання присадки для підвищення термостабільності в паливо. Якщо дозвіл надано, то концентрація присадки та місце впорскування повинні бути вказані уповноваженою службою, як зазначено нижче. Для літаків ВПС США це схвалення не віднімає повноважень єдиного керівника щодо визначення дозволених/заборонених видів палива. Паливо JP-8 зі схваленою присадкою для підвищення термостабільності у необхідній концентрації позначається як JP-8+100 (NATO F-37). Присадки для підвищення термостабільності не повинні використовуватися в паливі JP-8 без письмового дозволу від:

Інформаційне бюро для ВМС США та морської піхоти США: Міжфункціональна група з питань військово-морських паливно-мастильних матеріалів, AIR-4.4.5, Building 2360, 22229 Elmer Road, Patuxent River, MD 20670-1534.

Інформаційне бюро для ВПС США: Управління нафти ВПС, AFPET/PTP, 2430 C Street, Building 70, Area B, Wright-Patterson AFB 45433-7631.

Інформаційне бюро для Армії США:

- a. Наземна армія США: команда технології палива та мастильних матеріалів, RDECOM-TARDEC, RDTA-SIE-ES-FPT-FLT, Building 210, 6501 E. 11 Mile Road, Warren, MI 48397-5000.
- b. Авіація армії США: US Army RDECOM, Attn: RDMR-AEP, Building 4488, Room C-211, Redstone Arsenal, AL 35898-5000.

2.3.6.1 *Кваліфіковані Додатки.* Кваліфіковані Додатки для покращення термічної стабільності перераховані в таблиці 3.10.

2.3.7 *Попереднє змішування Додатків.* Присадки не можна попередньо змішувати з іншими присадками перед впорскуванням у паливо, щоб запобігти можливим реакціям між концентрованими формами різних присадок.

Таблиця 3.10

Кваліфіковані Додатки, що покращують термостабільність

Найменування Додатки	Кваліфікаційна довідка	Виробник	Рекомендована виробником норма дозування
SPEC AID 8Q462	AFRL/PRSF Ltr, 9 Грудня 1997	GE Water & Process Technologies 9669 Grogan Mill Road The Woodlands, TX 77380	256 мг/л
SPEC AID 8Q462W	ASC/ENFA Tech Eval, 12 Квітня 2011	GE Water & Process Technologies 9669 Grogan Mill Road The Woodlands, TX 77380	256 мг/л
AeroShell Performance Additive 101	AFRL/PRSF Ltr, 13 Січня 1998	Shell Aviation Limited Shell Centre York Road London, UK SE1 7NA	256 мг/л
BASF Kerojet™ 100	AFRL/RQTF Ltr, 25 Жовтня 2013	BASF Corporation 100 Park Avenue Florham Park, NJ 07932	256 мг/л
BASF Kerojet™ 100W	AFLCMC/EZFA Tech Eval 29 Вересня 2015	BASF Corporation 100 Park Avenue Florham Park, NJ 07932	294 мг/л

2.4 *Якість виготовлення.* На момент схвалення Урядом готове паливо повинно бути візуально вільним від нерозчиненої води, осаду або зважених речовин і повинно бути прозорим і яскравим. У разі суперечки, паливо повинно бути прозорим і яскравим за $t = 21^{\circ}\text{C}$ (70°F) і повинно містити не більше 1,0 мг/л твердих часток, як вимагається в таблиці 3.11.

2.5 *Випадкові забруднювачі.* На момент прийняття урядом концентрація побічних домішок ²² у готовому паливі не повинна перевищувати граничних значень, зазначених у Таблиці 3.11.

²²Випадкові забруднювачі: Це відомі забруднювачі, які можуть бути зібрані під час транспортування палива. Вони мають визначені верхні допустимі межі, але не вважаються добавками до палива. Приклади включають осад (тверді частки) і FAME (біодизель).

Таблиця 3.11

Випадкові забруднювачі

Матеріал	Граничні значення		Тестовий метод ASTM або IP
		Макс	
Тверді частинки (гравіметрично), мг/л ¹		1.0	D2276 або D5452 ²
Час фільтрації, хвилин ¹		15	
Підрахунок частинок, індивідуальний підрахунок каналів та код ISO ³	Підрахунок каналів	ISO Код ⁴	IP 564, IP 565, IP 577, або D7619 ²
≥ 4 мкм (с) ⁵	6	19	
≥ 6 мкм (с) ⁵	6	17	
≥ 14 мкм (с) ⁵	6	14	
≥ 30 мкм (с) ⁵	6	13	
Метилловий ефір жирної кислоти (FAME) ⁷ , мг/кг		50	D7797, IP 583, IP 585 ² , IP 590, або IP 599

ПРИМІТКИ:

1. Мінімальний розмір зразка 3,785 літра (1 галон) повинен бути відфільтрований. Час фільтрації буде визначено відповідно до процедури в Додатку С стандарту MIL-DTL-83133J. Цю процедуру також можна використовувати для визначення твердих частинок як альтернативу ASTM D2276 або ASTM D5452.
2. Арбітражний метод випробування.
3. Альтернатива гравіметричному методу вимірювання твердих частинок, якщо є відповідне обладнання та лабораторні можливості. Якщо підрахунок твердих частинок не дає результату, гравіметричний метод визначення твердих частинок повинен бути арбітражним.
4. Відповідно до таблиці 1 «Allocation of scale numbers» (Розподіл чисел шкали) ISO 4406.
5. (с) вказує на те, що обладнання було відкаліброване відповідно до ISO 11171.
6. Показник підлягає звітуванню — не обмежується нормативом.
7. FAME²³, що відповідає вимогам ASTM D6751 або EN 14214.

2.6 Перероблені, відновлені, екологічно вигідні або біоматеріали.

Перероблені, відновлені, екологічно вигідні або біологічні матеріали слід використовувати в максимально можливому обсязі за умови, що матеріал відповідає або перевищує вимоги щодо експлуатації та обслуговування, а також сприяє економічно вигідним витратам протягом життєвого циклу.

²³Метилловий ефір жирної кислоти (FAME): FAME є синонімом біодизеля, що відповідає вимогам ASTM D6751 або EN 14214. Відповідно до ASTM D6751, «біодизель — це паливо, що складається з жирних кислот, отриманих з рослинних олій або тваринних жирів, позначених B100». JP-8 може забирати незначну кількість FAME під час транспортування за допомогою таких методів транспортування, як трубопроводи замінних продуктів, де також транспортується дизельне паливо, що містить біодизель.

3.3 Додатки (присадки) до складу авіаційних палив

3.3.1 Номенклатура присадок (додатків) до складу авіаційних палив

Присадки (додатки) – це розчинні у паливі хімічні речовини, що додаються в малих кількостях для підвищення або підтримання властивостей, важливих для роботи або обробки палива. Зазвичай, вони виробляються з нафтової сировини і мають високо спеціалізовані функції та хімічний склад. Ефективність присадок проявляється вже при концентрації на рівні часток на мільйон (ppm) ($1 \text{ ppm} = 0,0001 \% \text{ мас.}$).

Додаток (присадка) – це речовина, що додають до авіаційного палива для надання йому спеціальних якостей, покращення експлуатаційних та фізико-хімічних властивостей».

Присадки (додатки) для реактивних палив

Присадки (Додатки) використовуються в усіх видах палива на нафтовій основі в різному ступені, але ситуація з авіаційним паливом є унікальною, оскільки до реактивного палива дозволяється додавати лише спеціально затверджені присадки. Усі специфікації на реактивне паливо містять перелік дозволених присадок та дозволених концентрацій. Деякі затверджені присадки є обов'язковими для додавання, інші є опціональними, а певні можуть бути використані лише за домовленістю між покупцем та продавцем. Таблиця 3.12 містить перелік присадок, затверджених для використання у деяких основних специфікаціях на реактивне паливо.

Таблиця 3.12

Типи дозволених присадок для реактивних палив*

Тип присадки (додатка)	Jet A ASTM D 1655	Jet A-1 DEF STAN 91-91	JP-4 MIL-DTL 5624	JP-5 MIL-DTL 5624	JP-8 MIL-DTL 83133
Антиоксидант (АО)	Дозволено	Обов'язков о**	Обов'язково* *	Обов'язково* *	Обов'язково* *
Деактиватор металів (MDA)	Дозволено	Дозволено	За домовле- ністю	За домовле- ністю	За домовле- ністю
Підвищувач електропро- відності/ статичний розряд (SDA)	Дозволено	Обов'язково	Обов'язково	За домовле- ністю	Обов'язково

Продовження Таблиці 3.12

Тип присадки (додатка)	Jet A ASTM D 1655	Jet A-1 DEF STAN 91-91	JP-4 MIL-DTL 5624	JP-5 MIL-DTL 5624	JP-8 MIL-DTL 83133
Інгібітор корозії / покращувач змащення (CI/LI)	За домовленістю	Дозволено	Обов'язково	Обов'язково	Обов'язково
Інгібітор обledenіння паливної системи (FSII)	За домовленістю	За домовленістю	Обов'язково	Обов'язково	Обов'язково
Біоцид	За домовленістю	За домовленістю	Не дозволено	Не дозволено	Не дозволено
Покращувач теплостійкості	Не дозволено	Не дозволено	Не дозволено	Не дозволено	За домовленістю‡

*Перегляньте відповідні специфікації для технічних вимог.

** Обов'язково для будь-якого палива або компонента, що пройшов гідрообробку; в інших випадках – опціонально.

‡ Коли присадка для термічної стабільності додається в JP-8, паливо називається JP-8+100 (F-37).

Перш ніж присадка (добавка, додаток) може бути схвалена для використання в авіаційному паливі, вона проходить детальні випробування, що доводять її ефективність і відсутність шкідливого впливу на інші властивості палива. Щоб запобігти шкідливій взаємодії присадок, кожна з них тестується у концентрації, що вчетверо перевищує максимальну дозу, у присутності інших присадок.

Використання присадок (додатків) є головною відмінністю між комерційним і військовим реактивним паливом. Реактивне паливо військових США містить три або більше присадок. Міжнародне паливо Jet A-1 містить присадку для зняття статичної електрики і може також включати антиоксидант. Реактивне паливо Jet A у США зазвичай не містить присадок або містить лише антиоксидант.

Інгібітор обledenіння паливної системи (FSII)

Лід може утворюватися у паливних баках при дуже низьких температурах, що спостерігаються на великій висоті. Зазвичай цей лід формується з води, що була розчинена у паливі під час заправки літака, але згодом відокремилась від палива, коли його температура знизилася. Більшість комерційних літаків мають підігрівачі на основних паливних фільтрах для розплавлення льоду, що може накопичуватися. Однак

багато військових літаків не мають таких підігрівачів і можуть зіткнутися зі зниженням потоку палива у разі утворення кристалів льоду.

Інгібітори обледеніння паливної системи (FSII) працюють поєднанням з будь-якою вільною водою, що утворюється, та зниження точки її замерзання, що не дозволяє формуватися кристалам льоду. Єдиним інгібітором FSII, що на даний час дозволений для Jet A, Jet A-1 та військових палив у США, є моноетиловий ефір діетиленгліколю (di-EGME). di-EGME є лише трохи розчинним у паливі, але добре розчиняється у воді, що призводить до різних проблем із її використанням. Оскільки ця присадка має низьку розчинність у паливі, її необхідно додавати в невеликих кількостях з ретельним перемішуванням, щоб забезпечити повне розчинення у паливі, особливо коли її додають при низьких температурах навколишнього середовища. На практиці ця присадка повинна вводитись з контрольованою швидкістю у потік палива.

Якщо паливо, що містить FSII, контактує з вільною водою, присадка буде вилучена з палива і утворить в'язку фазу з водою, що є очевидно неприйнятною ситуацією. Щоб уникнути контакту з вільною водою, FSII зазвичай не додають до палива на НПЗ, а додають на деякому етапі у системі розподілу палива. Для військових цілей його можуть додавати в аеропорту або під час доставки безпосередньо до літака. Подібним чином, якщо цього потребують малі літаки, FSII може бути доданий під час заправки. Великі комерційні перевізники не використовують FSII у реактивному паливі.

di-EGME

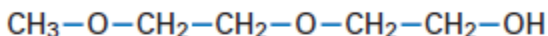


Рисунок 3.1 Сполука моноетилового ефіру діетиленгліколю (di-EGME)

Покращувач теплостійкості (TS)

Авіаційне паливо використовується як теплоаккумулятор в турбінних двигунах. Двигуни, що застосовуються в літальних апаратах військового призначення високої продуктивності, піддають паливо більшому термічному стресу, ніж двигуни, що використовуються в комерційній авіації. Двигуни, що проектується для майбутніх військових літаків,

створять ще більший термічний стрес на паливо.

Визнаючи цю потребу, Повітряні сили США розпочали програму на початку 1990-х років для розроблення пального з поліпшеною термічною стабільністю. Ця програма призвела до впровадження пакету додатків (присадок), що покращує термічну стабільність пального приблизно на 100°F (60°C), з приблизно 325°F до 425°F, як було встановлено в серії тестів на термічну стабільність. Пакет додатків містить диспергатор, що допомагає утримувати потенційно нерозчинні речовини в розчині, запобігаючи їх утворенню смол і осадів. Цей додаток загалом називають «+100» (плюс сто). Паливо Повітряних сил США, що містить цей додаток, називається JP-8+100. Цей додаток наразі не схвалений для використання в комерційних (цивільних) літаках.

Антиоксиданти (АО)

Кисень у невеликій кількості повітря, розчиненого в паливі, атакує реактивні сполуки в паливі. Початкова атака запускає ланцюг реакцій окиснення. Антиоксиданти діють, перериваючи цей ланцюг реакцій, запобігаючи утворенню пероксидів, розчинних смол або нерозчинних часток. Пероксиди можуть атакувати еластомерні частини паливних систем, смоли можуть призводити до відкладень в двигунах, а частки можуть засмічувати паливні фільтри.

Важливо зазначити, що хоча антиоксиданти ефективно покращують стабільність зберігання авіаційного пального, вони неефективні в покращенні його термічної стабільності.

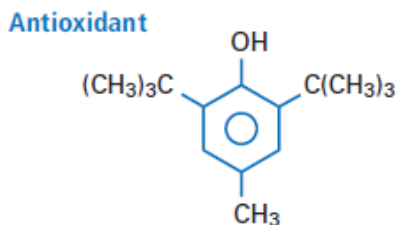
Олефіни, найреактивніший клас вуглеводнів, є найбільш сприйнятливими до окиснювального розкладання. Однак пряма паливна фракція містить мало, якщо взагалі містить, олефінів, а гідроочищене паливо не містить їх зовсім. Крім того, пряма паливна фракція часто містить природні антиоксиданти, тому ці палива зазвичай мають хорошу окиснювальну стабільність і тому не потребують антиоксидантів.

Однак гідроочищення, навіть м'яке гідроочищення для видалення меркаптанів, також може видаляти ці природні антиоксиданти, що може призвести до менш стабільного пального. З цієї причини антиоксиданти іноді додаються до гідроочищеного пального. Щоб бути найбільш ефективними, ці хімічні речовини повинні додаватися до пального відразу після гідроочищення.

Антиоксиданти потрібні в будь-якому паливі або компоненті паливної суміші, які були гідрогенізовані відповідно до стандартів DEF

STAN Jet A-1 і військових специфікацій США. Антиоксиданти є необов'язковими в негідрогенізованому паливі за цими специфікаціями і необов'язковими для всього авіаційного пального Jet A.

Схвалені антиоксиданти для авіаційного пального – це гальмовані феноли. Максимально допустима концентрація становить 24 мг/л.

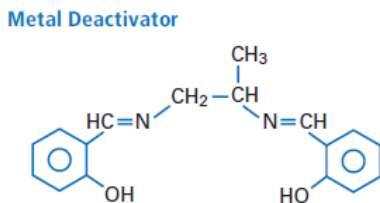


2,6-ditertiary butyl-4-methyl phenol

Рисунок 3.2 Сполука антиоксиданту 2,6-Ди-трет-бутил-4-метилфенол

Металеві деактиватори (MDA)

Металеві деактиватори є хелатуючими агентами – хімічними сполуками, які формують стабільні комплекси з певними іонами металів. Більш активні метали, такі як мідь і цинк, є ефективними каталізаторами реакцій окиснення і знижують термічну стабільність пального. Ці метали не використовуються в більшості систем розподілу авіаційного пального або в паливних системах турбінних двигунів. Однак, якщо паливо забруднюється цими металами, металеві деактиватори інгібують їх каталізаторну активність. Єдиний схвалений металевий деактиватор – N,N'-дисаліциліден-1,2-пропандіамін.



N,N'-disalicylidene-1,2-propane diamine

Рисунок 3.3 Сполука N,N'-дисаліциліден-1,2-пропандіаміну

Інгібітори корозії (протизношувальні присадки) (CI/LI)

Резервуари та трубопроводи системи розподілу авіаційного пального виготовлені переважно з некритого металу. Інгібітори корозії запобігають впливу вільної води та кисню в авіаційному паливі на іржавіння або корозію цих конструкцій.

Додатки для змащування використовуються для компенсації поганої змащувальності сильно гідроочищеного авіаційного пального. Вони містять полярну групу, що прилипає до металевих поверхонь, формуючи тонку поверхневу плівку додатка. Ця плівка діє як межовий змащувач, коли дві металеві поверхні контактують. Ці сполуки зазвичай є карбоновими кислотами, склади яких є власними.

Корозія та змащувальність є поверхневими явищами. Можливо, не надто дивно, що інгібітори корозії також покращують змащувальність.

Присадка (добавка, додаток) для електропровідності (SDA)

Оскільки природно низька електропровідність авіаційного палива може становити потенційну небезпеку в певних обставинах, були розроблені присадки (додатка), що покращують провідність пального. Додатки для провідності часто називають Додатками для розсіювання статичної електрики (SDA). Коли додаток використовується, провідність палива повинна бути в межах від 50 до 450 CU на момент доставки в літак. Єдина добавка, що наразі затверджена для використання в авіаційному паливі, – це Stadis®450, склад якої є комерційною таємницею.

Виявлення витоків

Tracer A® можна використовувати в Jet A та Jet A-1 для допомоги у виявленні витоків у системах обробки пального. Цей додаток є газом, що можна виявити за дуже низьких концентрацій. Tracer A змішується з паливом, коли його перекачують через систему розподілу. Якщо будь-яке паливо витікає з системи, воно виділить газ Tracer A®. Наявність цього газу за межами паливної системи можна використовувати для локалізації витoku.

Біоциди

Біоциди призначені для знищення мікроорганізмів, до яких належать бактерії та гриби (дріжджі та цвілі). Оскільки біоциди є токсичними,

будь-які водяні осадки, що містять біоциди, повинні вивозитись відповідно до встановлених норм. Наразі затверджені біоциди – це Biobor™ та Kathon™.

3.3.2 Принципи підбору присадок (додатків)

На базі узагальнення багаторічних наукових досліджень та практичного досвіду вітчизняних та закордонних спеціалістів у сфері використання паливно-мастильних матеріалів принципи підбору та застосування присадок (або пакетів присадок) до палив систематизовані у наступний спосіб:

Принципи підбору та застосування присадок (або пакетів присадок)				
Враховувати властивості присадок для конкретної марки палива з урахуванням особливостей їх застосування, приділяючи увагу до екологічних властивостей вихідних та відпрацьованих продуктів	Використовувати присадки в оптимальній концентрації (максимальна ефективність при мінімальному збільшенні вартості кінцевого продукту після введення присадки), за незначної допустимої зміни (погіршенні) будь-якого показника якості товарного палива	Не допускати негативний вплив присадок (або продуктів їх перетворень) на роботу елементів паливних і оливних систем: фільтрів, pomp, теплообмінників, форсунок, ущільнень тощо	Присадки повинні виготовлятися в промисловому масштабі, бути стабільно забезпечені сировиною та не бути дефіцитними	Враховувати сумісність та синергізм дії присадки в композиції (пакеті присадок), а також мінімальну дію на матеріали, що контактують

Коротка характеристика основних видів присадок, що застосовуються в моторних паливах, та таких, що розрізняються по функціональному призначенню і механізму дії, наведено в таблиці 3.13.

Основні види присадок до палив та мастильних матеріалів

Види присадок (додатків)	Функціональне призначення	Механізм дії
Інгібітори окиснення	Підвищенні хімічної стабільності	Хімічний, фізико-хімічний, радикально-ланцюговий
Покращуючі змащувальну здатність: - протизношувальні;	Зменшення коефіцієнту тертя Зменшення зношування Попередження задиру, схоплення, зварювання, піттингу	Колоїдно-хімічний – створення адсорбційного шару на поверхні тертя Колоїдно-хімічний, хімічний – утворення адсорбційного та хемосорбційного шарів на поверхні тертя Хімічний – утворення хімічно модифікованих поверхневих шарів на поверхні тертя
Антикорозійні (інгібітори корозії)	Захист металів від хімічної та електрохімічної корозії	Колоїдно-хімічний, хімічний – витіснення з поверхні води, адсорбція, утворення захисного шару
Загущуючі (в'язкісні)	Збільшення коефіцієнту в'язкості олів	Фізичний, колоїдно-хімічний – збільшення в'язкості за підвищених температур, зменшення – за низьких температур
Депресорні	Покращення низькотемпературних властивостей палив	Колоїдно-хімічний – адсорбція на поверхні кристалів вуглеводнів, попередження їх росту та зрощування
Миюче-диспергуючі	Попередження утворення та видалення нагарів з поверхні деталей	Колоїдно-хімічний – адсорбція на частинках нагару, переведення в розчин, стабілізація їх в оліві
Десульгатори	Руйнування водо-паливних (водо-оливних емульсій)	Колоїдно-хімічний – видалення захисних шарів з поверхні крапель
Антипінні	Руйнування піни в оливах	Колоїдно-хімічний – видалення захисних шарів з поверхні газових бульбашок
Противодокристалізуючі	Попередження утворення кристалів льоду в паливах	Фізико-хімічний – підвищення розчинності вологи в паливі за низької температури
Антистатичні	Попередження накопичення зарядів статичного струму під час перекачування палива	Фізичний – підвищення електропровідності палив

Для покращення властивостей палив найбільше розповсюдження отримали антиокиснючі, депресорні, протизношувальні, антикорозійні присадки. Деякі присадки (багатофункційні) здатні покращувати одночасно декілька властивостей палив. Наведені в табл. 3.13 види присадок не вичерпують повний асортимент цих продуктів. Існують і інші, менші розповсюджені види присадок: деактиватори металів, антидимні, ті, що підвищують ОЧ бензинів та ЦЧ дизельних палив, протиспрацювальні, протистрибкові, біоцидні, коагулюючі, протитурбулентні знижуючі випаровування бензину та деякі інші.

Загалом, присадки – це ПАР, молекули яких вміщують одну або декілька полярних та неполярних груп. У структуру полярних функційних груп входять гетероатоми S, O, N, P, B, Cr, Cl. Ці атоми зміщують електронну густину в молекулі та створюють дипольний момент, внаслідок чого виникають зв'язки та взаємодії між різними молекулами. Дипольний момент обумовлює адсорбцію ПАР на межі розподілу фаз між паливом чи оливою та металом чи повітряним газом. Неполярні групи (вуглеводневі радикали) забезпечують ефективність присадок в паливах та оливах. Практично всі сучасні різновиди товарних палив містять присадки для підвищення їх експлуатаційних властивостей. Залежно від хімічної структури та функціональної присадки утворюють в паливах чи оливах колоїдні чи молекулярні розчини. У малих концентраціях присадки, як правило, утворюють в паливах істинні розчини, ефективність яких незначна. Зі збільшенням концентрації до критичної величини утворюються асоціати, що об'єднуються в міцели, присадки набувають найбільш активну форму. Збільшення температури призводить до руйнування міцел.

Базові ПАР або вторинні ПАР у вигляді природних з'єднань та присадок розчиняються у вуглеводневих середовищах, потім за певної концентрації утворюють димерні асоціати (квадруполи), багатомірні асоціати, міцели різної конфігурації (шарової, циліндричної, пластинчатої, стрічкової). Такі ж асоціати утворюють у нафтопродуктах присадки.

Міцели складаються з ядра та сольватної оболонки. Мінімальна концентрація ПАР (критична концентрація міцелуутворення – ККМ) обумовлює функціональні властивості ПАР (миюче-диспергуючі, солубілізуючі та ін.). Міцелярний стан ПАР є найбільш вигідним енергетично: гідрофільні групи оточені гідрофільними, а гідрофобні – гідрофобними. Основні типи ПАР характеризуються наступними величинами ККМ наведеними у таблиці 3.14.

Таблиця 3.14

Величини ККМ основних типів ПАР

Тип ПАР	ККМ	Призначення
Водорозчинні	0,1–0,7 г/л	Змочувачі
Водооливорозчинні (в нафтопродуктах)	$\leq 0,02$ (у воді), 0,001–0,1 г/л	Емульгатори, інгібітори корозії
Оливорозчинні	0,001–0,1 %	Присадки до палив та оливо

Композиції присадок багатфункціонального призначення підбираються таким чином, щоб при спільному асоціацій- та міцелоутворенні не відбувалося взаємного ослаблення дії (антагонізму) окремих присадок. Правильний підбір складу композиції дозволяє збільшити функціональну дію (синергізм) окремих присадок в композиції.

Природні ПАР (смоли, асфальтени, продукти окиснення) можуть утворювати спільні з присадками міцели (асоціати), що відрізняються зниженою ефективністю. Тому, як правило, здатність палив приймати присадки та їх ефективність збільшуються в очищених продуктах. При цьому через зменшення в системі вмісту полярних компонентів (аренів, гетероатомних сполук) розчинність присадок у таких середовищах може погіршуватись.

Міжмолекулярні взаємодії присадок та сполук у паливах та оливах відбуваються через утворення наступних видів зв'язків:

- 1) хімічних (ковалентних, координаційних, іонних);
- 2) Ван-дер-Ваальса (орієнтаційних, індукційних, дисперсійних);
- 3) міжмолекулярних вуглеводневих;
- 4) електронно-донорно-акцепторних (з переносом заряду);
- 5) іонних.

Енергія міжмолекулярних взаємодій змінюється від 4 кДж/моль (Ван-дер-Ваальса), 8–60 (вуглеводневих) до 350–600 (хімічний зв'язок) кДж/моль. Вуглеводневі зв'язки викликаються асоціацією молекул води, спиртів, карбонових кислот, амінів та інших сполук. У хемосорбційних процесах відбувається електронно-донорноакцепторна взаємодія за участю молекул, що містять гетероатоми з неподіленою електронною парою (S, O, N, P та ін.). Карбонові кислоти та алкілізоциліанти металів попередньо утворюють у паливах та оливах асоціати через ван-дер-ваальсові (дисперсійні) сили, а потім стабілізуються внаслідок виникнення вуглеводневих та іонних зв'язків.

Алкілфенольні, сульфонатні та деякі інші присадки утворюють в колоїдній системі з числом агрегатів до 1000 частинок.

В'язкісні присадки на базі поліізобутилену, поліметакрилату та інших сополімерів загущують оливи, утворюючи ланцюгові асоціації через ван-дер-ваальсові та водневі зв'язки.

Адсорбційні плівки інгібіторів корозії, протизношувальних, протизадирних і присадок на металеву поверхню мають товщину від 0,01 до 1 мкм. Сольватовані шари розчинників утворюють ван-дер-ваальсовські, адгезійно-когезійні сили. Хемосорбційні плівки значно тонші (до 0,02 мкм), і в них переважають ковалентні, координаційні та іонні сили, а також електронно-донорноакцепторні взаємодії.

Під час роботи двигунів у камері згорання утворюються високотемпературні відкладення — нагар та лаки, а також низькотемпературні продукти конденсації та полімеризації продуктів окиснення змащувальних олив (шлам). Для попередження утворення та видалення відкладень використовують миюче-диспергуючі присадки. Присадки лужного типу нейтралізують продукти окиснення, а також утворюють мицелярні розчини з включенням в мицели частинок відкладень. Найбільш ефективні присадки за концентрацій, близьких до ККМ, що складають (% мас.): для сукцинімідів 0,01–0,20, сульфонату барію 0,07–0,70, сульфонату кальцію 0,2–1,2, феноляту кальцію 0,2–2,0, сополімеру на основі метакрилату 0,3–1,0. За високих температур може відбуватись руйнування мицел, наприклад, за 130–160°C (сукцинімідів), 180–190°C (сульфонатів), 210–230°C (алкілізосцилатів). Найбільшу адсорбційну здатність на металі, а також солюбілізуючу та диспергуючу здатність мають сукцинімідиди. У цілому ефективність стабілізуючої дії миюче-диспергуючих присадок змінюється в ряду: сукцинімідиди > сульфонати > алкілізосцилати.

3.3.2.1 Присадки та додатки об'ємної дії

Антиокиснювачі (антиоксиданти)

Зарубіжні специфікації допускають застосування в реактивних паливах під час тривалого зберігання або транспортування антиокиснювальних присадок у концентрації до 0,003 % (мас.). Це екрановані феноли: 2,6-ді-трет-бутил-4-метил-фенол (іонол); 2,4-диметил-6-трет-бутилфенол; 2,6-ді-трет-бутилфенол і суміші трет-бутилфенолів, у яких міститься 75% 2,6-ді-трет-бутилфенолу. Допускається використовувати ароматичні аміни: N,N'-діізопропіл-*n*-фенілендіамін і N,N'-ді-втор-бутил-*n*-фенілендіамін.

Деактиватори металів

Метали і солі металів є каталізаторами окиснення малостабільних компонентів реактивних палив – вуглеводнів і гетероатомних домішок. Метали потрапляють до реактивних палив під час контакту з металевими поверхнями трубопроводів, резервуарів, паливних баків, накопичуються в паливах, що піддаються демеркаптанізації солями міді, або внаслідок взаємодії металів із низькомолекулярними карбоновими кислотами. Найбільшу каталітичну активність у процесах окиснення компонентів палив мають переважно метали змінної валентності або їх солі, зокрема мідь, сплави бронзи, латуні, менш активними є алюміній і залізо (рис. 3.4). Для придушення каталітичного впливу металів на процеси окиснення вуглеводнів палив використовуються деактиватори металу.

Деактиватори металів – це сполуки, що утворюють хелатні комплекси з каталітично активними іонами міді та заліза, розчинні в паливах.

Утворення інертного комплексу пригнічує каталіз іонами металу процесів окиснення вуглеводнів під час застосування пального, дає змогу в 1,5–2 рази зменшити концентрацію антиокисних присадок, що вводять у паливо. При нагріванні палива в присутності деактиваторів знижується смолоутворення в паливі.

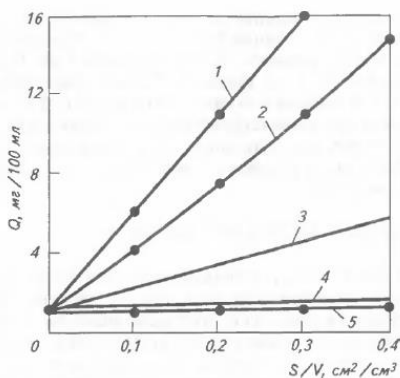


Рисунок 3.4. Вплив металів на окиснення й утворення нерозчинних осадів у паливі ТС-1 за $t=150^\circ\text{C}$ протягом 6 год: 1 – мідь; 2 – бронза ВБ-24; 3 – латунь 62; 4 – дюралюміній; 5 – сталь 12ХНЗА

Фірмою BASF розроблено деактиватор металів (особливо іонів міді) у паливах і мастильних матеріалах Keromet MD 100 (N,N'-дисаліциліден-

1,2-діамінопропан) і Keromet MD 50 (та сама присадка з 50 % розчинника). Присадка відповідає вимогам специфікацій на палива MIL, DEF і DERD.

У зарубіжних реактивних паливах відповідно до специфікації D.Eng.R.D-2494 допускається застосування деактиватора металу N,N'-дисаліциліден-1,2-пропілендіаміну в концентрації 0,0071–0,0075% (мас.). Однак через обмежену розчинність у паливі за негативних температур присадка не знаходить широкого застосування. У низці зарубіжних специфікацій замість використання присадки встановлено норму на вміст у паливі іонів міді, вона становить не більше 0,0000002 % (мас.)

Противодокристалізаційні присадки

Під час тривалого польоту може відбуватися охолодження реактивного палива в баках літака до температур мінус 20–мінус 40 °С. Розчинність води в паливі знижується і її надлишок [до 0,01–0,02 % (мас.)] переходить із розчиненого у вільний (емульсійний) стан. Кристали, що утворюються, викликають обмерзання і закупорку паливних фільтрів. Для запобігання кристалоутворенню води шляхом збільшення її розчинності в паливі широко використовують противодокристалізаційні рідини (ПВКР), що додають до реактивних палив у концентрації 0,1–0,3 % (об.). Присадка, що містить у молекулі вуглеводневий радикал, ефірну та гідроксильну групи, і молекули води утворюють розчинні в паливі асоціати. Надмірна кількість води і частина асоціатів випадає з палива у вигляді низькозамерзаючого антифризу і не кристалізується.

Зарубіжна практика свідчить про застосування метилцелозольв (монометилловий ефір етиленгліколю) загальної формули $\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ за специфікаціями DERD 2451 і MIL-I-27686.

Фірмою BASF розроблено переважно для військової авіації ПВКЖ Kerofluid MIL AL41 (монометилловий ефір діетиленгліколю) і Kerofluid MIL AL 31 (монометилловий ефір етиленгліколю). Присадки Kerofluid стабілізуються добавкою фенольного антиокиснювача. Оптимальна концентрація присадок у паливі 0,1–0,15 % (об.). Присадки відповідають вимогам специфікацій MIL-I-27686, MIL-I-85470 і DERD 2451.

Залежно від типу літака, температури навколишнього повітря в аеропорту вильоту, тривалості польоту до реактивного палива додають 0,1–0,3 % (об.) ПВКЖ.

Присадки добре розчинні як у паливі, так і у воді. У результаті їх

застосування фільтрованість палива поліпшується, перепад тиску на фільтрах за низьких температур знижується до безпечних значень. Через можливі втрати гігроскопічних ПВКЖ під час транспортування і зберігання палив ці присадки вводять у реактивні палива не на НІЗ, а в процесі заправки літаків спеціальними дозаторами. Використання присадок підвищує безпеку польотів, але ускладнює експлуатацію техніки і потребує додаткових матеріальних витрат.

3.3.2.2 Присадки та добавки поверхневої дії

Протизношувальні

Основні чинники, що визначають протизносні властивості палив, - вміст у них ПАР (природних або присадок), а також в'язкість, температура палива, присутність води, механічних домішок, розчиненого кисню. Гідрування або гідроочищення реактивного палива дає змогу зруйнувати та видалити гетероатомні полярні домішки. Такі палива мають незадовільні протизносні властивості. У табл. 3.15 показано величини зносу плунжера реального насоса-регулятора високого тиску, що працював на стенді протягом 100 год на прямогонних і гідроочищених паливах.

Таблиця 3.15

Вплив складу і в'язкості на протизносні властивості реактивних палив

Вид палива	Склад сірки, % (мас.)	Кінематична в'язкість за $t = 20^{\circ}\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$	Знос сфери плунжера паливного насоса, мм
Прямогонні:			
ТС-1	0,08	1,34	0,47
Гідроочищенні:			
1	0,01	1,27	0,76
2	0,01	1,51	0,64
3	0,01	1,95	0,46

Як видно з табл. 3.15, знос плунжера на прямогонних паливах значно менший, ніж під час роботи на гідроочищених паливах. Протизносні властивості гідроочищених палив, позбавлених природних ПАР (сірки не

більше 0,01 %), залежать від в'язкості. Зразок гідроочищеного палива № 3 з максимальною в'язкістю 1,95 мм²/с за протизношувальними властивостями близький до прямогонного палива ТС-1.

У зарубіжних реактивних паливах застосовували протизносну присадку Сантолен С, пізніше замінену на присадку Hitec-580 (фірма Du Pont Co). Остання, будучи антикорозійною присадкою, за ефективністю впливу на протизносні властивості палив близька до присадки «К».

У табл. 3.16 наведено результати випробувань на натурному стенді ВНДІНП гідроочищеного палива типу ТС-1, чистого і з протизносними присадками. Як видно з результатів випробувань, присадки мають високу ефективність у концентраціях у паливі 0,003–0,006 % (мас.).

Таблиця 3.16

Протизношувальні властивості гідроочищеного палива

Присадка	Концентрація присадки в паливі, % (мас.)	Знос сфер плунжерів паливних насосів, мм
«К»	0	4,56
	0,003	1,15
	0,007	0,96
	0,010	0,95
Сантолен С	0	1,54
	0,0015	1,44
	0,0028	1,26
	0,0058	1,26

Зі зменшенням концентрації розчиненого в реактивному паливі кисню його протизносні властивості поліпшуються, мабуть, за рахунок придушення окисних процесів на поверхні металу, але за повного видалення кисню з палива (продуванням азотом) знос пар тертя досягає катастрофічних величин аж до схоплювання.

Підвищення температури палива до 90–100°C збільшує знос при терті металів у паливах, що пов'язано зі зменшенням в'язкості. Але за подальшого нагрівання палива зношування знижується, мабуть, внаслідок окиснення малостабільних компонентів з утворенням поверхнево-активних продуктів окиснення (кислот та ін.).

Паливо РТ застосовують із композицією присадок 0,002–0,004% (мас.) «К» і 0,003% (мас.) антиокиснювальної присадки.

Антикорозійні присадки

Корозія металів паливних систем може протікати за хімічним або електрохімічним механізмом. Хімічна корозія відбувається в разі присутності в паливах хімічно активних домішок: меркаптанів, нижчих кислот, вільної сірки, сіркову породу. Присутність вільної сірки, сірководню і води (візуально) в товарних паливах не допускається.

Практичний досвід експлуатації авіаційної техніки свідчить, що вміст у паливі меркаптанів у концентрації 0,003–0,005% викликає корозію кадмованих, бронзових деталей паливних агрегатів. Особливо часто це спостерігається за підвищених температур палива.

Найефективнішим способом поліпшення антикорозійних властивостей палив є гідроочищення, а в деяких випадках – демеркаптанізація.

Для запобігання електрохімічній корозії металів у присутності вологи та електроліту можливе використання антикорозійних присадок, але такі присадки поки що не знайшли застосування у вітчизняних паливах і обмежено застосовуються в деяких зарубіжних паливах.

Коагулювальні та диспергувальні присадки

Коагулювальні присадки використовуються для підвищення чистоти реактивних палив.

У паливах колоїдні частинки механічних забруднень із частинками діаметром менше 10–15 мкм, що не видаляються фільтрами тонкого очищення під час заправлення літальних апаратів, можуть адсорбувати на своїй поверхні продукти окисного перетворення вуглеводнів і гетероатомні домішки, укріплюватися і порушувати роботу паливної системи двигунів.

Відомою практикою на сьогодні є також такий спосіб, що для укрупнення і видалення фільтрацією з палив твердих мікрочастинок можна застосовувати такі коагулювальні присадки: сульфенамідні похідні 2-меркаптобензотіазолу, ефіри діетиленгліколю, глутарової кислоти та аліфатичних спиртів C_{10} – C_{12} , октадециламід у-оксимасляної кислоти. Як видно з табл. 3.17, у разі додавання в паливо ТС-1 коагулюючих присадок у концентрації 0,002–0,005% кількість мікрозабруднень може бути зменшена більш ніж у 2 рази.

Таблиця 3.17

Ефективність коагулювальних присадок під час очищення від механічних домішок палива ТС-1

Присадка	Концентрація присадки, % (мас.)	Кількість мікрозабруднень, г/т
		ТС-1
Паливо без присадки	—	1,0
N-феніл-2-меркаптобензотіазол-сульфенамід	0,005	0,4
N-циклогексил-2-меркаптобензотіазол-тіазолсульфенамід	0,005	0,4
N-гексациклометилеи-2-меркапто-меркапто- бензотіазолсульфенамід	0,005	0,4
Октадециламід у-оксимаєляної кислоти	0,002	0,4
Дієфір діетилєнєлієольо єлутарової кислоти та аліфатичних спиртів C ₁₀ -C ₁₂	0,005	0,4

Диспергувальні присадки (диспергатори) дають змогу знизити швидкість окиснення палив, утворення та укрупнення в них твердих осадів, що забивають паливні фільтри. За рахунок своїх поверхнево-активних властивостей диспергатор стабілізує колоїдний розчин органічних мікрочастинок осаду у вуглеводнях, тим самим покращуючи фільтрованість палива. Високі стабілізуючі властивості має сополімер 80/20 додецилметакрилату з діетил аміноетилметакрилатом. У вітчизняних авіапаливах такі присадки поки що не застосовуються.

Антиелектростатичні присадки

Здатність до електризації – процес накопичення заряду статичної електрики реактивним паливом під час його перекачування, наливання в резервуари, заправлення ЛА, зумовлений його специфічними діелектричними властивостями (низькою питомою електропровідністю – не більше 5 пСм/м). Через високий питомий електричний опір палив (10¹¹–10¹² Ом·м) не вдається забезпечити швидке стікання зарядів, що накопичуються, з поверхні палива на заземлення. У ємності з наелектризованим паливом може статися електричний розряд між поверхнею палива і деталями обладнання із займанням паливоповітряної суміші. Палива всіх марок здатні до електризації під час операцій зливання-наливання і перекачування трубопроводами. Найнебезпечніша електризація палив широкофракційного складу типу Т-2, що містить

бензинові фракції, що утворюють вибухонебезпечну бензоповітряну суміш у надпаливному просторі.

Найбільшу небезпеку становить інтенсивне перекачування реактивних палив (наповнення паливозаправників, ємностей, заправка паливних баків). Швидка релаксація зарядів статичної електрики відбувається, якщо електропровідність реактивного пального підвищується з 0,1–6,0 пСм/м до величин не менше 35–50 пСм/м, що досягається введенням у пальне антистатичної присадки.

Світовий досвід використання реактивних палив свідчить про додавання трикомпонентної присадки ASA-3 (antistatic additive), що є сумішшю хромових солей моно- і діакілсаліцилових кислот, додецилсульфосукцинату кальцію зі стабілізатором. У концентраціях від 0,00006 до 0,00012 % присадка ASA-3 підвищує електропровідність реактивних палив до величин понад 50 пСм/м і забезпечує швидку релаксацію електричного заряду. Питома електропровідність вуглеводневого розчину (3 млн⁻¹) присадки становить 3000–4000 пСм/м.

Поряд, а також замість присадки ASA-3 за кордоном застосовується присадка Stadis 450.

Присадки (доатки), що поліпшують екологічні властивості реактивних палив

Так само як і раніше щодо присадок і додатків до бензинів, особлива увага буде звернена на властивості реактивного палива під час його впливу на навколишнє середовище, беручи до уваги, що ці присадки і Додатки вже розглядалися раніше.

Екологічні властивості реактивних палив визначаються токсичністю компонентів і продуктів їх згорання, пожежо- і вибухонебезпечністю.

Реактивні палива за токсичністю належать до 4-го класу (малонебезпечні речовини). Для цих палив встановлено ГДК 300 мг/м³.

Під час згорання реактивних палив утворюються продукти (відпрацьовані гази), за складом і токсичністю близькі до продуктів згорання бензинів і дизельних палив. На відміну від палив для наземних двигунів внутрішнього згорання, в які вводять Додатки, що знижують токсичність відпрацьованих газів (оксигенати, біопалива тощо), у вітчизняні та зарубіжні реактивні палива поки що не додають речовини подібного типу.

Пожежо- та вибухонебезпечність реактивних палив пов'язана з електризацією, накопиченням електричних зарядів до таких потенціалів,

за яких може відбуватися їх розряд. За наявності навіть мінімальної кількості механічних домішок [менш як 0,001% (мас.)] інертна рідина електризується до небезпечного рівня. Фільтрація палива збільшує кількість зарядів у 10–100 разів. Електричні розряди виникають, якщо напруженість поля в надпаливній пароповітряній зоні перевищить 2 кВ/см. Під час заправки літака в баку можуть накопичуватися заряди, що утворюють місцеві поля напруженістю до 30 кВ/см. Розряд електрики може бути причиною пожежі або вибуху. Збільшення кількості палива, що заправляється в літаки, і прагнення прискорити заправку призводить до зростання небезпеки іскроутворення навіть за наявності заземлення. Займиста паливо-повітряна суміш, що запалюється, утворюється в температурному інтервалі від мінус 7 до + 21°C. Із зазначених причин швидкість заправки літаків обмежують і вона становить 225–450 дм³/хв, проте швидкості заправки надзвукових літаків прагнуть довести до 3000–7000 дм³/хв.

Основний метод поліпшення екологічних властивостей реактивних палив і запобігання накопиченню статичної електрики – збільшення електропровідності палива за допомогою антиелектростатичних присадок.

Присадки типу Stadis 450 або ASA-3 не запобігають утворенню зарядів, а завдяки збільшенню електропровідності палива сприяють їх релаксації.

Концентрацію присадки слід суворо контролювати, оскільки в процесі транспортування і зберігання палива з присадкою можлива її часткова втрата внаслідок адсорбції на твердих поверхнях устаткування, у фільтрах і на механічних домішках. Практичний досвід застосування палива з присадкою свідчить про допустимість зниження питомої електропровідності палива з 900 до 400 пСм/м в умовах експлуатації авіатехніки. Як відомо, в умовах польоту літаків цивільної та військової авіації як із дозвуковою, так і з надзвуковою швидкістю робота паливної системи двигунів пов'язана з інтенсивною дією фізичних, хімічних та інших чинників. Головна вимога до роботи авіації – безпека польотів. Застосовувані реактивні палива повинні зберігати стабільність основних властивостей, до їх якості висуваються жорсткі вимоги. Технологічні процеси виробництва реактивних палив (пряма перегонка, гідрогенізація) не дають можливості отримувати товарні продукти заданої високої якості. Для поліпшення експлуатаційних властивостей до необхідного рівня в реактивні палива вводять також присадки різного функціонального призначення.

У зарубіжних паливах типу Jet A-1 використовується більший асортимент присадок, зокрема, в композицію з антиоксидантами входять і деактиватори металу. Як протизносні присадки застосовуються Сантолен С або, частіше, Hitec-580 (похідні карбонових кислот). Широкого застосування в авіації набули антиелектростатичні присадки ASA-3 або Stadis 450.

Таблиця 3.18

Реактивні палива

Марка палива	JET A	JET A-1	JP-8	JP-5	JP-4	JET B
Температура спалаху min.	100.4 °F 38 °C	100.4 °F 38 °C	100.4 °F 38 °C	140 °F 60 °C	не визначено	не визначено
Температура замерзання	мінус 104 °F мінус 40 °C	мінус 116.6 °F мінус 47 °C	мінус 116.6 °F мінус 47 °C	мінус 114.8 °F мінус 46 °C	мінус 136.4 °F мінус 58 °C	мінус 122 °F мінус 50 °C
Густина за $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м ³	775–840	775–840	775–840	788–845	751–802	751–802

Як видно з таблиці 3.18 Jet A і Jet A-1 однакові, за винятком температури замерзання. Тут слід зазначити, що точка замерзання – це не температура, за якої паливо замерзає, оскільки паливо нагрівається від нижчої температури, це точка, де тане останнє, здавалося б, замерзле паливо. (Насправді це точка, коли зникають останні кристали парафіну).

Jet B і JP-4 зараз використовуються найчастіше тільки в дуже холодному кліматі, де паливо типу Jet A буде погано випаровуватися. Важко запустити двигун, якщо паливо не буде легко випаровуватися.

JP-8 – це Jet A-1 з трьома присадками: поліпшувачем провідності / статичним розсіювачем, інгібітором корозії та протиобмерзаючою присадкою.

JP-5 дуже схоже на паливо Jet A, але має вищу температуру спалаху (температуру, за якої воно легко випаровується) 140°F (60°C).

Це робить його більш безпечним паливом для використання на борту кораблів. Це не обмежується авіаносцями, є багато менших кораблів, здатних запускати гелікоптери і винищувачі Harrier VTOL. Крім того, гелікоптери заправляються паливом у польоті (HIFR) з різних кораблів, включаючи винищувачі.

До авіаційного палива дозволено додавати присадки, найпоширенішою з яких є Stadis 450, поліпшувач провідності (виробництва Octel), що допомагає зробити наземне обладнання безпечнішим за рахунок швидшого розсіювання статичної електрики в паливі.

Інші присадки:

1) Інгібітор корозії (фактично використовується для покращення «змащувальних властивостей» пального, щоб зменшити знос компонентів паливної системи, таких як насоси та клапани).

2) Антиобмерзаюча присадка (запобігає утворенню конденсату у вигляді кристалів льоду і засміченню паливних систем в малих літаках, не обладнаних теплозахистом).

3) Біоциди, такі як, наприклад, Biobor (для знищення мікроорганізмів).

Досліджується новий тип присадок, що призначений для покращення роботи двигунів. Коли паливо розщеплюється при високих температурах, воно може засмітити форсунки впрыскування. Основна вимога при проєктуванні реактивних двигунів – знизити цю температуру, що є непростим завданням, оскільки паливо згорає при високій температурі одразу після виходу з інжекторної форсунки. Американські військові досягли великого успіху з присадкою (виробництва компанії Betz Dearborn), що найчастіше називають «+100». Ця присадка дозволяє паливу проходити тест на термічну стабільність (JFTOT) при температурі, на 1000 F вищій, ніж у комерційного авіаційного палива. Цей запас дозволяє підвищити продуктивність двигуна без небезпечного накопичення відкладень. Це необхідний додаток для нових високопродуктивних винищувачів. Триває робота над вивченням переваг цієї присадки для комерційних літаків, а компанії Betz і Shell Oil Company проводять широкомасштабні випробування.

Присадки використовуються не для покращення характеристик реактивного палива, а для задоволення потреб галузі, певних літаків і за певних умов. Вони розширюють діапазон використання цього простого палива. Дуже важливо не забувати про те, щоб ці присадки були чистими і вільними від забруднень перед додаванням у паливо, і щоб ми додавали їх у правильних кількостях.

3.3.3 Допустимі межі присадок (додатків) у складі авіаційних палив згідно вимог ASTM і NATO

3.3.3.1 Додатки (присадки) JET A

У таблиці 3.19 наведені типи присадок (додатків) та їх допустимі межі для JET A згідно стандарту ASTM D 1655–23a.

Таблица 3.19

Допустимі межі присадок (додатків) для авіаційного палива JET A за ASTM D 1655-23a

JET A	Допустимі межі присадки за ASTM D 1655
Присадки (додатки) Антиоксиданти ^{A, B} Один з наступних:	
2,6- дитретбутилфенол 2,6- дитретбутил-4-метилфенол 2,4- диметил-6-третбутилфенол 75 % 2,6-дитретбутилфенолу та максимум 25% суміші монотрет і три- третбутилфенолів 55 % мінімум 2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу та мінімум 15% 2,6-дитретбутил-4-метилфенолу та залишок монометил та диметилтретбутилфенолів 72 % мінімум 2,4-диметил-6-третбутилфенолу та максимум 28% монометил- та диметилтретбутилфенолів	24.0 мг/ л max^C
Деактиватор металу (MDA)^A:	
N,N'-дісаліциліден-1,2-пропандіамін: -При початковому змішуванні -Після польового повторного змішування кумулятивна концентрація	2.0 мг/ л max^{C, D} 5.7 мг/л max

Продовження Таблиці 3.19

JET A	Допустимі межі присадки за ASTM D 1655
Присадки (додатки)	
Інгібітор обмерзання паливної системи,^{E, F, G, H:} Монометилловий ефір діетилгліколю	0,07 % об'єму min ^I 0,15 % об'єму, max
Поліишувач електропровідності^{J:} Один з наступних: AvGuard SDA ^{K, L} Stadis 450 ^{L, M:} -При початковому змішуванні -Після польового повторного змішування, кумулятивна концентрація	3 мг/л max 5 мг/л max Якщо концентрація додатка невідома під час повторної обробки, додаткова концентрація обмежується максимумом 2 мг/л
Додатки для виявлення витоків: Tracer A (LDTA-A) ^N	1 мг/кг max
Біоцидні добавки^{E, O, P:} Biobor JF ^Q	
Інгібітор корозії/покращувач змащувальних властивостей^R Один з наступних: Innospec DCI-4A ^S Nalco 5403	23 мг/л max
Управління водою в процесі заправки: Kerojet Aquarius PRD 30568468 ^T	250 ppmv (мільйонна частка об'єму), max

^A Активний компонент присадки повинен відповідати зазначеному складу.

^B Додаткові дані були подані в штаб-квартиру ASTM International і можуть бути отримані за запитом Дослідницького звіту RR. Зв'яжіться зі Службою підтримки клієнтів ASTM за адресою: service@astm.org.

^C Активний компонент (не включаючи вагу розчинника).

^D На етапі виробництва може бути додана додаток-деактиватор металу (MDA) для покращення термоокиснювальної стабільності з урахуванням наступних обмежень:

- (1). Не більше 5 % партій реактивного палива, виробленого протягом 12 місяців, можна обробити MDA, щоб відповідати вимогам таблиці 3.11 термоокиснювальної стабільності (температура випробування 260°C).

- (2). Партія палива повинна відповідати вимогам таблиці 3.11 термоокиснювальної стабільності за температури випробування 245°C перед будь-яким додаванням MDA.
- (3). Партія палива після додавання MDA (максимум 2,0 мг/л MDA) повинна відповідати вимогам таблиці 3.11 термоокиснювальної стабільності при температурі випробування 275 °C.
- (4). Результат випробування термоокиснювальної стабільності за $t = 245^{\circ}\text{C}$ до додавання MDA, початковий результат випробування за 260°C і результат випробування за 275°C (після додавання MDA) і концентрація доданого MDA повинні бути зазначені в звіті Сертифікату якості НПЗ.

Початкове додавання понад 2,0 мг/л MDA до реактивного палива, що відповідає вимогам таблиці 3.11 термоокиснювальної стабільності (температура випробування 260°C) перед додаванням MDA, дозволено, якщо паливо транспортуватиметься в ланцюгах постачання, де може статися забруднення міддю: максимальне кумулятивне додавання в цій таблиці все ще застосовується.

MDA може бути додано до реактивного палива в системі розподілу для відновлення термоокиснювальної стабільності, втраченої під час розподілу (після випуску НПЗ). Сертифікат якості повинен містити початковий результат випробування термоокиснювальної стабільності, результат після додавання MDA та концентрацію доданого MDA.

^E Кількість повинна бути заявлена постачальником палива та погоджена покупцем.

^F Нижня межа концентрації FSII, допустима в реактивному паливі, базується на дослідженнях ВПС США, як зазначено у звіті AFRL-RQ-WP-TR-2013-0271. Деякі двигуни і сертифіковані літаки вимагають вищих мінімальних концентрацій інгібітора обледеніння, ніж нижня межа в цій специфікації реактивного палива. Під час заправки літака паливом слід додавати паливо до рівня концентрації, зазначеного у відповідних інструкціях до двигуна та літака.

^G Вміст DiEGME можна проаналізувати за методом тестування D5006.

^H DiEGME не підходить для використання в системах, що пізніше використовуватимуть монітори фільтрів EI 1583, що зазвичай використовуються в точках заправки літаків. Додаткові вказівки наведено в розділі 9 EI 1550.

^I Деякі літаки потребують вищих рівнів, ніж 0,07 % за об'ємом.

^J У разі використання присадки до пального, електропровідність не повинна перевищувати 600 пСм/м у місці використання пального. Якщо електропровідність присадки визначена покупцем, провідність повинна становити від 50 до 600 пСм/м за умов на місці поставки. $1 \frac{\text{пСм}}{\text{м}} = 1 \times 10^{-12} \Omega \text{м}^{-1} \text{м}^{-1}$

^K AvGuard є торговою маркою Afton Chemical Corporation, 500 Spring Street Richmond, VA 23219. Супровідну документацію для цієї добавки можна знайти в RR:D02-1861.

^L Вміст покращувача електропровідності можна проаналізувати за методом випробування D7524.

^M Stadis 450 є зареєстрованою торговою маркою, що продає Innospec Inc., Innospec Manufacturing Park, Oil Sites Road, Ellesmere Port, Cheshire, CH65 4EY, UK.

^N Tracer A (LDTA-A) є зареєстрованою торговою маркою Praxair Services, Inc., Tucson, AZ 85705.

^O Біоцидні Додатки доступні для контрольованого використання. Якщо така добавка використовується в паливі, статус схвалення добавки та відповідні умови повинні бути перевірені для конкретного літака та двигунів, що будуть експлуатуватися.

^P Зверніться до Посібника з технічного обслуговування літака (АММ), щоб визначити, чи схвалено наступний біоцид для використання, а також для відповідного використання та дозування.

^Q Biobor JF є зареєстрованою торговою маркою компанії Hammonds Fuel Additives, Inc. 6951 W. Little York, Houston, TX 77040.

^R Більше інформації щодо мінімальних інтенсивностей обробки інгібіторів корозії/добавок, що покращують змащувальні властивості, міститься в X1.10.2 стандарту ASTM D1655-23a.

^S Innospec DCI-4A можна придбати в Innospec Inc., Innospec Manufacturing Park, Oil Sites Road, Ellesmere Port, Cheshire, CH65 4EY, UK.

^T Kerojet Aquarius доступний у BASF SE, Carl-Bosch-Strasse 38, D-67056 Ludwigshafen am Rhein, Germany. Будь-яка зміна процесу або складу до Kerojet Aquarius Product Number (PRD) 30568468, що робить недійсними дані, надані у звіті про дослідження ASTM RR:D02-2001, вимагатиме нового унікального PRD. Зауважте, що враховуючи унікальну функцію Kerojet Aquarius і необхідність ретельного керування використанням, додаток слід використовувати лише з дотриманням наступних правил контролю:

(1) Див. документацію на літак (наприклад, схвалені Додатки, перелічені в таблиці даних сертифіката типу (TCDS), посібнику з льотної експлуатації літака (AFM), посібнику з технічного обслуговування літака (AMM), списку витратних матеріалів (CML) або іншій відповідній документації) для затвердженого використання та дозування для конкретної комбінації літак/двигун/APU.

(2) Додатки, що вводяться після остаточної фільтрації на обшивку літака. Для попередження можливого зливу палива з літака не допускайте проходження добавки через фільтри EI 1581 і EI 1583.

(3) Дозуйте лише відповідно до документації літака та рекомендованої практики, детально описаної в цій специфікації.

(4) Інформація про поводження, використання та ін'єкційне обладнання міститься в посібнику користувача Kerojet Aquarius і RR:D02-2001.

3.3.3.2 Додатки (присадки) для JET A-1

У таблиці 3.20 наведені типи присадок (додатків) та їх допустимі межі для авіаційного палива марки JET A-1 згідно стандарту ASTM D 1655-23a.

Таблиця 3.20

Допустимі межі вмісту присадок (додатків) для авіаційного палива JET A-1 за ASTM D1655-23a

JET A-1	Допустимі межі присадки за ASTM D1655-23a
Присадки (додатки)	
Антиоксиданти ^{A, B,} Один з наступних: 2,6- дитретбутилфенол 2,6- дитретбутил-4-метилфенол 2,4- диметил-6-третбутилфенол 75 % 2,6-дитретбутилфенолу та максимум 25% суміші монорет і три- третбутилфенолів 55 % мінімум 2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу та мінімум 15% 2,6-дитретбутил-4-метилфенолу та залишок монометил та диметилтретбутилфенолів 72 % мінімум 2,4-диметил-6-третбутилфенолу та максимум 28% монометил- та диметилтретбутилфенолів	24.0 мг/ л max ^C
Деактиватор металу (MDA)^A: N,N'-дісаліциліден-1,2-пропандіамін: -При початковому змішуванні -Після польового повторного змішування кумулятивна концентрація	2.0 мг/ л max^{C, D} 5.7 мг/л max
Інгібітор обмерзання паливної системи,^{E, F, G, H:} Монометилловий ефір діетиленгліколю	0,07 % об'єму min^I 0,15 % об'єму, max

Продовження Таблиці 3.20

JET A-1	Допустимі межі присадки за ASTM D1655-23a
Присадки (додатки)	
Поліишувач електропровідності^J: Один з наступних: AvGuard SDA ^{K,L} Stadis 450 ^{L,M} : -При початковому змішуванні -Після польового повторного змішування, кумулятивна концентрація	3 мг/л max 5 мг/л max Якщо концентрація додатку невідома під час повторної обробки, додаткова концентрація обмежується максимумом 2 мг/л
Добавка для виявлення витоків: Tracer A (LDTA-A) ^N	1 мг/кг max
Біоцидні добавки^{E, O, P}: Biobor JF ^Q	
Інгібітор корозії/покращувач змащувальних властивостей^R Один з наступних: Innospec DCI-4A ^S Nalco 5403	23 мг/л max
Управління водою в процесі заправки: Kerojet Aquarius PRD 30568468 ^T	250 ppmv (мільйонна частка об'єму), max

^A Активний компонент присадки повинен відповідати зазначеному складу.

^B Додаткові дані були подані в штаб-квартиру ASTM International і можуть бути отримані за запитом Дослідницького звіту RR. Зв'яжіться зі Службою підтримки клієнтів ASTM за адресою: service@astm.org.

^C Активний компонент (не включаючи вагу розчинника).

^D На етапі виробництва може бути додана добавка-деактиватор (додаток) металу (MDA) для покращення термоокиснювальної стабільності з урахуванням наступних обмежень:

- (1). Не більше 5 % партій реактивного палива, виробленого протягом 12 місяців, можна обробити MDA, щоб відповідати вимогам таблиці 3.11 термоокиснювальної стабільності (температура випробування 260°C).
- (2). Партія палива повинна відповідати вимогам таблиці 3.11 термоокиснювальної стабільності за температури випробування 245°C перед будь-яким додаванням MDA.
- (3). Партія палива після додавання MDA (максимум 2,0 мг/л MDA) повинна відповідати вимогам таблиці 3.11 термоокиснювальної стабільності при температурі випробування 275°C.
- (4). Результат випробування термоокиснювальної стабільності при 245°C до додавання MDA, початковий результат випробування за температури 260°C і результат випробування при 275°C (після додавання MDA) і концентрація доданого MDA повинні бути зазначені в звіті Сертифікату якості НПЗ.

Початкове додавання понад 2,0 мг/л MDA до реактивного палива, що відповідає вимогам таблиці 3.11 термоокиснювальної стабільності (температура випробування 260 °C) перед додаванням MDA, дозволено, якщо паливо транспортуватиметься в ланцюгах постачання, де може статися забруднення міддю: максимальне кумулятивне додавання в цій таблиці все ще застосовується.

MDA може бути додано до реактивного палива в системі розподілу для відновлення термоокиснювальної стабільності, втраченої під час розподілу (після випуску НПЗ). Сертифікат якості повинен містити початковий результат випробування термоокиснювальної стабільності, результат після додавання MDA та концентрацію доданого MDA.

^E Кількість повинна бути заявлена постачальником палива та погоджена покупцем.

^F Нижня межа концентрації FSII, допустима в реактивному паливі, базується на дослідженнях ВПС США, як зазначено у звіті AFRL-RQ-WP-TR-2013-0271. Деякі двигуни і сертифіковані літаки вимагають вищих мінімальних концентрацій інгібітора обледеніння, ніж нижня межа в цій специфікації реактивного палива. Під час заправки літака паливом слід додавати паливо до рівня концентрації, зазначеного у відповідних інструкціях до двигуна та літака.

^G Вміст DiEGME можна проаналізувати за методом тестування D5006.

^H DiEGME не підходить для використання в системах, що пізніше використовуватимуть монітори фільтрів EI 1583, що зазвичай використовуються в точках заправки літаків. Додаткові вказівки наведено в розділі 9 EI 1550.

^I Деякі літаки потребують вищих рівнів, ніж 0,07 % за об'ємом.

^J У разі використання присадки до пального, електропровідність не повинна перевищувати 600 пСм/м у місці використання пального. Якщо електропровідність присадки визначена покупцем, провідність повинна становити від 50 до 600 пСм/м за умов на місці поставки. $1 \frac{\text{пСм}}{\text{м}} = 1 \times 10^{-12} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$

^K AvGuard є торговою маркою Afton Chemical Corporation, 500 Spring Street Richmond, VA 23219. Супровідну документацію для цієї добавки можна знайти в RR:D02-1861.

^L Вміст покращувача електропровідності можна проаналізувати за методом випробування D7524.

^M Stadis 450 є зареєстрованою торговою маркою, що продає Innospec Inc., Innospec Manufacturing Park, Oil Sites Road, Ellesmere Port, Cheshire, CH65 4EY, UK.

^N Tracer A (LDTA-A) є зареєстрованою торговою маркою Praxair Services, Inc., Tucson, AZ 85705.

^O Біододатки доступні для контрольованого використання. Якщо така добавка використовується в паливі, статус схвалення добавки та відповідні умови повинні бути перевірені для конкретного літака та двигунів, що будуть експлуатуватися.

^P Зверніться до Посібника з технічного обслуговування літака (АММ), щоб визначити, чи схвалено наступний біоцид для використання, а

також для відповідного використання та дозування.

^Q Biobor JF є зареєстрованою торговою маркою компанії Hammonds Fuel Additives, Inc. 6951 W. Little York, Houston, TX 77040.

^R Більше інформації щодо мінімальних інтенсивностей обробки інгібіторів корозії/додатків, що покращують змащувальні властивості, міститься в X1.10.2 стандарту ASTM D1655-23a.

^S Innospec DCI-4A можна придбати в Innospec Inc., Innospec Manufacturing Park, Oil Sites Road, Ellesmere Port, Cheshire, CH65 4EY, UK.

^T Kerojet Aquarius доступний у BASF SE, Carl-Bosch-Strasse 38, D-67056 Ludwigshafen am Rhein, Germany. Будь-яка зміна процесу або складу до Kerojet Aquarius Product Number (PRD) 30568468, яка робить недійсними дані, надані у звіті про дослідження ASTM RR:D02-2001, вимагатиме нового унікального PRD. Зауважте, що враховуючи унікальну функцію Kerojet Aquarius і необхідність ретельного керування використанням, добавку слід використовувати лише з дотриманням наступних правил контролю:

(1) Див. документацію на літак (наприклад, схвалені додатки, перелічені в таблиці даних сертифіката типу (TCDS), посібнику з льотної експлуатації літака (AFM), посібнику з технічного обслуговування літака (AMM), списку витратних матеріалів (CML) або іншій відповідній документації) для затвердженого використання та дозування для конкретної комбінації літак/двигун/APU.

(2) Додаток, що додається після остаточної фільтрації на обшивку літака. Для попередження можливого зливу палива з літака не допускайте проходження добавки через фільтри EI 1581 і EI 1583.

(3) Дозуйте лише відповідно до документації літака та рекомендованої практики, детально описаної в цій специфікації.

(4) Інформація про поводження, використання та ін'єкційне обладнання міститься в посібнику користувача Kerojet Aquarius і RR:D02-2001.

3.3.3.3 Додатки (присадки) для JetA та JetA-1 за стандартом ASTM D 7566

Таблиця 3.21

Допустимі межі присадок (додатків) для авіаційних палив марок JetA та JetA-1
за вимогами стандарту ASTM D 7566

Присадка	Дозування
Присадки, що покращують характеристики палива	
Антиоксиданти ^{A, B} Один з наступних: 2,6-дитретбутилфенол 2,6-дитретбутил-4-метилфенол 2,4-диметил-6-третбутилфенол 75 % мінімум, 2,6 дитретбутилфенолу плюс 25 % максимум змішаних третинних і третинних бутилфенолів 55% мінімум 2,4-диметил-6-третбутилфенолу плюс 15% мінімум 2,6-дитретбутил-4-метилфенолу, решта у вигляді монометил- та диметилтретбутилфенолів 72 % мінімум 2,4 диметил-6-третбутилфенол плюс 28 % максимум монометил і диметил-третбутилфеноли	24,0 мг/л макс. ^C
Деактиватор металу ^A N,N-дисаліциліден-1,2-пропандіамін При початковому змішуванні Після польового змішування, кумулятивна концентрація	2,0 мг/л макс. ^{C,D} 5,7 мг/л макс.
Інгібітор обмерзання паливної системи ^{E, F, G, H} Монометилловий ефір діетиленгліколю (див. специфікацію D4171 Тип III)	0,07 % об'єму, мін.¹ 0,15% об'єму макс.

Продовження Таблиці 3.21

Присадка	Дозування
Присадки для обробки палива та обслуговування	
Покращувач електропровідності ^J Один з наступних: AvGuard ^K SDA ^L При початковому змішуванні Після польового змішування, кумулятивна концентрація Stadis 450 ^{L, M} При початковому змішуванні Після польового змішування, кумулятивна концентрація Якщо концентрація додатка невідома на момент повторної обробки, додаткова концентрація обмежується 2 мг/л макс.	3 мг/л макс. 5 мг/л макс. 3 мг/л макс. 5 мг/л макс.
Додаток для виявлення витоків Tracer A (LDTA-A) ^N Біоцидні Додатки ^{E, O, P}	1 мг/кг макс.
Biobor JF ^Q Kathon FP1.5 ^R	
Інгібітор корозії/покращувачі змащувальних властивостей ^S Один з наступних: HiTEC 580 Innospec DCI-4A Nalco 5403	23 мг/л макс. 23 мг/л макс. 23 мг/л макс.
Управління водними ресурсами в літаку Kerojet Aquarius PRD 30568468 ^T	250 ppmv (частин на мільйон за об'ємом), max

- A. Активний інгредієнт Додатки повинен відповідати зазначеному складу.
 B. Додаткові дані були подані до штаб-квартири ASTM International та можуть бути отримані, запросивши Research ReportRR:D02-1125. Зверніться до служби підтримки клієнтів ASTM за адресою service@astm.org.
 C. Активний інгредієнт (без урахування ваги розчинника).
 D. Якщо є підозра на забруднення міддю, початкова обробка може перевищувати 2,0 мг/л, але загальна кількість має бути нижче 5,7 мг/л.
 E. Кількість має бути заявлена постачальником палива та узгоджена з покупцем.
 F. Вміст DiEGME може бути проаналізований методом випробування D5006.

- G. DiEGME не підходить для використання в системах, що згодом використовуватимуть монітори фільтрів EI 1583, що зазвичай використовуються в точці заправки літаків паливом. Додаткові рекомендації наведено в розділі 9 EI 1550.
- H. Деякі літаки потребують вищих рівнів, ніж 0,07% за об'ємом.
- I. І Нижня допустима межа концентрації FSII у реактивному паливі базується на дослідженнях ВПС США, як задокументовано у звіті AFRL-RQ-WP-TR-2013-0271.
Деякі сертифіковані двигуни та літаки вимагають більш високих мінімальних концентрацій інгібітора обледеніння, ніж нижня межа, зазначена в цій специфікації авіаційного палива. Під час заправлення літака паливо слід додавати до рівня концентрації, зазначеного у відповідній інструкції з експлуатації двигуна та літака.
- J. Якщо використовується покращувач електропровідності, провідність не повинна перевищувати 600 пСм/м у точці використання палива. Якщо покупець вказує додаток електропровідності, провідність повинна становити від 50 пСм/м до 600 пСм/м за умов постачання.
(1 пСм/м = $1 \times 10^{-12} \Omega^{-1}\text{м}^{-1}$)
- K. AvGuard є торговою маркою Afton Chemical Corporation, 500 Spring Street Richmond, VA 23219. Підтверджувальна документація щодо цього додатку міститься в RR:D02-1861.Зверніться до служби підтримки клієнтів ASTM за адресою service@astm.org.
- L. Вміст покращувача електропровідності можна проаналізувати за методом випробування D7524.
- M. Stadis 450 – зареєстрована торгова марка, що продається компанією Innospec Inc., Innospec Manufacturing Park, Oil Sites Road, Ellesmere Port, Cheshire, CH65 4EY, UK.
- N. Tracer A (LDTA-A) – зареєстрована торгова марка Praxair Services, Inc., Tucson, AZ 85705.
- O. Біоцидні Додатки доступні для контролюваного використання. Якщо така добавка використовується в паливі, необхідно перевірити статус схвалення Додатки та пов'язані з нею умови для конкретного літака та двигуна, що експлуатується.
- P. Зверніться до Посібника з технічного обслуговування літака (AMM – Aircraft Maintenance Manual), щоб визначити, чи схвалено використання будь-якого з біоцидів, а також щодо їх належного використання та дозування.
- Q. BioborJF є зареєстрованою торговою маркою компанії HammondsTechnicalServices, Inc., 910 RankinRd., Houston, TX 77073.
- R. KATHON є торговою маркою компанії TheDowChemicalCompany («Dow») або афілійованої компанії Dow, 2030 DowCenter, Midland, MI 48674. HiTEC 580 є торговою маркою компанії Afton Chemical Corp., 500 Spring St., Richmond, VA 23219. Innospec DCI-4A можна придбати у Innospec Inc., Innospec Manufacturing Park, Oil Sites Road, Ellesmere Port, Cheshire, CH65 4EY, UK.
- S. Більше інформації щодо мінімальних норм оброблення присадок, що інгібують корозію/покращують змащувальні властивості, міститься в X1.10.2.
- T. Kerojet Aquarius можна придбати у BASF SE, Carl-Bosch-Strasse 38, D-67056 Ludwigshafen am Rhein, Germany. Будь-яка зміна процесу або рецептури, що впливає на номер продукту (PRD) Kerojet Aquarius 30568468 і робить не дійсними дані, подані в Research Report ASTM RR:D02-2001, вимагатиме нового унікального PRD. Зверніть увагу, що з огляду на унікальну функцію Kerojet Aquarius та необхідність ретельного управління використанням, присадку слід використовувати лише з дотриманням наступних заходів контролю: (1) Зверніться до документації ЛА (наприклад, схвалених присадок, перелічених у паспорті сертифіката типу (TCDS – Certificate Data Sheet), керівництва з польотів повітряного судна (AFM – Aircraft Flight Manual), керівництві з технічного обслуговування повітряного судна (AMM – Aircraft Maintenance Manual), переліку витратних матеріалів (CML – Consumable Materials List) або в іншій відповідній документації) щодо схваленого використання та дозування для конкретної комбінації ЛА, двигуна або допоміжна силова установка (APU – Auxiliary Power Unit). (2) Присадку слід впорскувати після остаточної фільтрації на обшивці літака. Для можливої заправки літака не допускати проходження присадки через фільтри EI 1581 і EI 1583. (3) Дозувати тільки відповідно до авіаційної документації та рекомендованої практики, викладеної в цій специфікації. (4) Інформація щодо поводження, використання та обладнання для впорскування міститься в Посібнику користувача Kerojet Aquarius та RR:D02-2001.

3.3.3.4 Додатки (присадки) для JET A-1/F-35

У таблиці 3.22 наведені типи присадок (додатків) та їх допустимі межі для авіаційного палива марки JET A-1 згідно стандарту Def Stan 91-091.

Таблиця 3.22

Допустимі межі вмісту присадок (додатків) для авіаційного палива марки JET A-1/F-35 за вимогами Def Stan 91-091

JET A-1/F-35	Допустимі межі присадки за Def Stan 91-091
Присадки (додатки)	
Антиоксиданти Один з наступних: 2,6- дитретбутилфенол 2,6- дитретбутил-4-метилфенол 2,4- диметил-6-третбутилфенол 75 % 2,6-дитретбутилфенолу та максимум 25% суміші монотрет і три- третбутилфенолів 55 % мінімум 2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу та мінімум 15% 2,6- дитретбутил-4-метилфенолу та не більше 30% монометил та диметилтретбутилфенолів 72 % мінімум 2,4-диметил-6-третбутилфенолу та максимум 28% суміш третин-бутил-метил-фенолів і третин-бутил-диметилфенолів	24.0 мг/ л max
Деактиватор металу (MDA): N,N'-дісаліциліден-1,2-пропандіамін: - Під час початкового змішування - Після польового повторного змішування кумулятивна концентрація	2.0 мг/ л max 5.7 мг/л max
Інгібітор обмерзання паливної системи: Монометилловий ефір діетиленгліколю	не менше 0,1% об'єму не більше 0,15% об'єму.
<i>Прим. Концентрації менше 0,02% за об'ємом можуть вважатися незначними і не вимагають погодження/повідомлення. Згода дозволити ці невеликі кількості FSII без узгодження/повідомлення має сприяти переходу від палива, що містить FSII, на таке, що не містить FSII, де присадка може залишатися в паливній системі протягом обмеженого часу. За жодних обставин цей фоновий рівень не допускається в паливі, яке подається через монітор фільтра.</i>	

Продовження Таблиці 3.22

JET A-1/F-35	Допустимі межі присадки за Def Stan 91-091
Присадки (додатки)	
Поліпшувач електропровідності Один з наступних: AvGuard SDA Stadis 450 - Під час початкового змішування - Після польового повторного змішування, кумулятивна концентрація	 3 мг/л max 5 мг/л max
Додаток для виявлення витоків: Tracer A (LDTA-A)	1 мг/кг max
Інгібітор корозії/покращувач змащувальних властивостей Один з наступних: Hitec 580 Octel DCI-4A Octel DCI-6A Nalco 5403 Unicor J Nalco 5405 Spec Aid 8Q22	 15-23 мг/л 9-23 мг/л 9-15 мг/л 12-23 мг/л 9-23 мг/л 9-23 мг/л 9-23 мг/л

У таблиці 3.23 наведені типи присадок (додатків) та їх допустимі межі для JET A -1/F-35 згідно стандарту MIL-DTL-83133J (2015).

Таблиця 3.23

**Допустимі межі присадок (додатків) для авіаційного палива марки JET A-1/F-35
за MIL-DTL-83133J (2015)**

JET A-1/F-35	Допустимі межі присадки за MIL-DTL-83133J (2015)
Присадки (додатки)	
Антиоксиданти Один з наступних: 2,6-дитретбутилфенол 2,6-дитретбутил-4-метилфенол 2,4-диметил-6-третбутилфенол 75 % 2,6-дитретбутилфенолу та максимум 25% суміші трет і три- третбутилфенолів 55 % мінімум 2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу та мінімум 15% 2,6-дитретбутил-4-метилфенолу та максимум 30 % змішаних метил- і диметил-трет-бутилфенолів 72 % мінімум 2,4-диметил-6-третбутилфенолу та максимум 28% максимум трет-бутил-метилфенолів і трет-бутил-диметилфенолів	24.0 мг/ л max
Деактиватор металу (MDA): N,N'-дісаліциліден-1,2-пропандіамін - Під час початкового змішування - Після польового повторного змішування кумулятивна концентрація	2,0 мг/л 5,7 мг/л
Інгібітор обмерзання паливної системи: Монометилловий ефір діетиленгліколю	Інгібітор обмерзання паливної системи не можна додавати до F-35 NATO, якщо це не вказано органом закупівлі.
Поліпшувач електропровідності: Stadis 450	має бути доданий у достатній кількості для забезпечення електропровідності у межах 50 та 600 пС/м за кімнатної температури або 29,4°C (85°F), залежно від того, що з них є нижчою
Інгібітор корозії/покращувач змащувальних властивостей	Додаток CI/LI не обов'язкова для NATO F-35, якщо не зазначено в контракті. Концентрації визначені у QPL-25017

3.3.3.5 Додатки (присадки) для JP-4

У таблиці 3.24 наведені типи присадок (додатків) та їх допустимі межі для авіаційного палива марки JP-4 згідно вимог стандарту MIL-DTL-5624W (2016).

Таблиця 3.24

Допустимі межі присадок (додатків) для авіаційного палива JP-4 за MIL-DTL-5624W)

JP-4	Допустимі межі присадки за MIL-DTL-5624W
Присадки (додатки)	
Антиоксиданти (АО): 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол 6-трет-бутил-2,4-диметилфенол 2,6-ди-трет-бутилфенол 75% мінімум 2,6-ди-трет-бутилфенолу та 25% максимум трет-бутилфенолів і три-трет-бутилфенолів 72% мінімум 6-трет-бутил-2,4-диметилфенолу та 28% максимум трет-бутил-метилфенолів і трет-бутил-диметилфенолів 55% мін 2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу і 15% максимум 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенолу і максимум 30% змішаних метил- і диметил-трет-бутилфенолів	У разі оброблення воднем: 17,2–24,0 мг/л У разі відсутності оброблення воднем, якщо присадку додано: не більше 24,0 мг/л
Деактиватор металу (MDA): (Тільки за письмовою згодою): N,N'-дісаліциліден-1,2-пропандіамін - Під час початкового змішування (для початкового дозування палива на НПЗ) - Після польового повторного змішування кумулятивна концентрація (Сукупний додаток дезактиватора металу під час допуску палива)	2,0 мг/л 5,7 мг/л
Інгібітор корозії/покращувач мастильних властивостей (CI/LI)	Концентрації визначені у QPL-25017

Продовження Таблиці 3.24

JP-4		Допустимі межі присадки за MIL-DTL-5624W
Присадки (додатки)		
Інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)		Концентрація визначається за MIL-DTL-85470. Точка додавання додатку має бути такою, як зазначено в документах на придбання. 0.10–0.15 % об'єму
Додаток для розсіювання статичної електрики: Stadis 450		Провідність має бути в діапазоні від 150 пСм/м до 600 пСм/м за температури навколишнього палива або 29,4°C, залежно від того, що нижче
Рейтинг мікросепарометра		
JP-4 Додатки		MSEP Rating, min.
Антиоксидант (АО)*, дезактиватор металу (MDA)*		90
АО*, MDA* та інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)		85
АО*, MDA* та інгібітор корозії/змащувальний засіб (CI/LI)		80
АО*, MDA*, FSII та CI/LI		70
*Навіть якщо присутність або відсутність не змінює ці межі, зразки, подані для специфікації або тестування на відповідність, повинні містити ті самі Додатки, що присутні в партії НПЗ. Незалежно від того, якого мінімуму вибере нафтопереробник, він повинен повідомити рейтинг MSEP для лабораторної ручної суміші палива з усіма Додатками, що вимагаються специфікацією.		

3.3.3.6 Додатки (присадки) для F-44/JP-5

У таблиці 3.25 наведені типи присадок (додатків) та їх допустимі межі для F-44/JP-5 згідно вимог стандарту MIL-DTL-5624W (2016).

Таблиця 3.25

Допустимі межі присадок (додатків) для авіаційного палива марки F-44/JP-5 за MIL-DTL-5624W

F-44/JP-5	Допустимі межі присадки за MIL-DTL-5624W
Присадки (додатки)	
Антиоксиданти (АО): 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол 6-трет-бутил-2,4-диметилфенол 2,6-ди-трет-бутилфенол 75% мінімум 2,6-ди-трет-бутилфенолу та 25% максимум трет-бутилфенолів і три-трет-бутилфенолів 72% мінімум 6-трет-бутил-2,4-диметилфенолу та 28% максимум трет-бутил-метилфенолів і трет-бутил-диметилфенолів 55% мін 2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу і 15% максимум 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенолу і максимум 30% змішаних метил- і диметил-трет-бутилфенолів	17,2–24,0 мг/л
Деактиватор металу (MDA): (Тільки за письмовою згодою): N,N'-дісаліциліден-1,2-пропандіамін - Під час початкового змішування (для початкового дозування палива на НІПЗ) - Після польового повторного змішування кумулятивна концентрація (Сукупна Додатка дезактиватора металу при допуску палива)	2,0 мг/л 5,7 мг/л

Продовження Таблиці 3.25

F-44/JP-5	Допустимі межі присадки за MIL-DTL-5624W)
Присадки (додатки)	
Інгібітор корозії/покращувач мастильних властивостей (CI/LI)	Концентрації визначені у QPL-25017
Інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)	Концентрації визначаються MIL-DTL-85470 складають: 0.08–0.11 % об'єму
Додатка для розсіювання статичної електрики	Не можна використовувати в JP-5, якщо не було отримано письмову згоду від NAVAIR 4.4.5 У разі введення: провідність має бути в межах від 150 пС/м до 600 пС/м за температури палива навколишнього середовища або 29,4°C, залежно від того, що з них є нижчою.
Рейтинг мікросепарометра	
F-44/JP-5 Додатки	MSEP Rating, min.
Антиоксидант (АО)*, дезактиватор металу (MDA)*	90
АО*, MDA* та інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)	85
АО*, MDA* та інгібітор корозії/змащувальний засіб (CI/LI)	80
АО*, MDA*, FSII та CI/LI	70
*Навіть якщо присутність або відсутність не змінює ці межі, зразки, подані для специфікації або тестування на відповідність, повинні містити ті самі Додатки, що присутні в партії НПЗ. Незалежно від того, якого мінімуму вибере нафтопереробник, він повинен повідомити рейтинг MSEP для лабораторної ручної суміші палива з усіма Додатками, що вимагаються специфікацією.	

У таблиці 3.26 наведені типи присадок (додатків) та їх допустимі межі для авіаційного палива марки JP-5/F-44 згідно стандарту CGSB-3.24-2016.

Таблиця 3.26

Допустимі межі присадок (додатків) для авіаційного палива JP-5/F-44 за CGSB-3.24

Присадки (Додатки)	Граничні значення за CGSB-3.24	
	JP-5/F-44	
	min	max
Антистатичний додаток, мг/л: STADIS® 450 ¹ а) Початкове додавання б) Повторне додавання Електрична провідність для JP-5/F-44 має бути не більше 600 пСм/м ¹	– –	3 5
Антиоксидант, мг/л: а) 2,6-ди-трет-бутилфенол б) 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол (с) 2-трет-бутил-4,6-диметилфенол (2,4-диметил-6-трет-бутилфенол) d) принаймні 75% 2,6-ди-трет-бутилфенолу не більше 25% суміші трет- і три-трет-бутилфенолів (е) Принаймні 55% 2-трет-бутил-4,6-диметилфенолу (2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу) не менше 15% 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенолу залишок у метил- і диметил-трет-бутилфенолах (f) Принаймні 72% 2-трет-бутил-4,6-диметилфенолу (2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу) не більше 28% метил- і диметил-трет-бутилфенолів. а) Гідроочищена частина б) Негідроочищена частина (не обов'язково)	17,2 –	24 24

Дезактиватор металу, мг/л, необов'язково: N,N'-дісаліциліден-1,2-пропандіамін не більше ніж 2,0 мг/л (не враховуючи масу розчинника) на початковій стадії виробництва на НПЗ	—	5,7
--	---	-----

Продовження Таблиці 3.26

Присадки (Додатки)	Граничні значення за CGSB-3.24	
	JP-5/F-44	
	min	min
Присадка для антиожеледного контурупалива (Інгібітор обмерзання), % об'єму di-EGME	0,10	0,15
Інгібітор корозії/присадка для змащення	Концентрація визначена у QPL-25017	
Додаток для виявлення витоків, мг/кг Tracer A (LDTA-A)	—	1
¹ Термічну стабільність слід визначати за допомогою методу тестера термічного окиснення реактивного палива (JFTOT) за мінімальної контрольованої температури трубки нагрівача 260°C. Еквівалентна одиниця SI для перепаду тиску становить 3,3 кПа. Однак метод JFTOT надає результати в мм рт.ст., а значенням є 25 мм рт.ст точний максимум.		

3.3.3.7 Додатки (присадки) для F-34/JP-8 та F-37

У таблиці 3.27 наведені типи присадок (додатків) та їх допустимі межі для авіаційного палива марки F-34/JP-8 згідно вимог стандарту MIL-DTL-83133J (2015).

Таблиця 3.27

Допустимі межі присадок (додатків) для авіаційного палива марки F-34/JP-8 за MIL-DTL-83133J

F-34/JP-8	Допустимі концентрації за MIL-DTL-83133J
Присадки (додатки)	
Антиоксиданти Один з наступних: 2,6-дитретбутилфенол 2,6-дитретбутил-4-метилфенол 2,4-диметил-6-третбутилфенол 75 % 2,6-дитретбутилфенолу та максимум 25% суміші монотрет і три- третбутилфенолів 55 % мінімум 2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу та мінімум 15% 2,6-дитретбутил-4-метилфенолу та максимум 30 % змішаних метил- і диметил-трет-бутилфенолів 72 % мінімум 2,4-диметил-6-третбутилфенолу та максимум 28% максимум трет-бутил-метилфенолів і трет-бутил-диметилфенолів	У разі наявності змішувальних матеріалів, що оброблені воднем, або SPK, отримані з гідроочищених, гідрокрекінгу або гідроізомеризованих продуктів процесу Фішера-Тропша або HEFA: 17,2–24,0 мг/л За відсутності змішувальних матеріалів, що оброблені воднем, або SPK, отримані з гідроочищених, гідрокрекінгу або гідроізомеризованих продуктів процесу Фішера-Тропша або HEFA (на розсуд постачальника): не більше 24,0 мг/л
Деактиватор металу (MDA): N,N'-дісаліциліден-1,2-пропандіамін (тільки за письмової згоди) - Під час початкового змішування - Після польового повторного змішування кумулятивна концентрація	до 2,0 мг/л до 5,7 мг/л
Інгібітор обмерзання паливної системи: Монометилловий ефір дітиленгліколю	є обов'язковим для JP-8 і має відповідати вимогам MIL-DTL-85470 0.07–0.10 % об'єму

Продовження Таблиці 3.27

F-34/JP-8	Допустимі концентрації за MIL-DTL-83133J										
Присадки (додатки)											
Поліпшувач електропровідності: Stadis 450	Присадка повинна бути змішана з паливом у достатній концентрації, щоб збільшити провідність палива в межах діапазону від 150 до 600 пСм/м										
Інгібітор корозії/покращувач змащувальних властивостей	Допустимі межі встановлюються за MIL-PRF-25017										
Додаток, що покращує термостабільність (тільки за письмовим дозволом паливо тоді маркується як JP-8+100 (NATO F-37)) SPEC AID 8Q462 SPEC AID 8Q462W AeroShell Performance Additive 101 BASF Kerojet™ 100 BASF Kerojet™ 100W	 256 mg/L 256 mg/L 256 mg/L 256 mg/L 294 mg/L										
Мінімальний рейтинг міросепарометра на місці виробництва з використанням міросепарометра (MSEP) має бути наступним:											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>JP-8 Додатки</th><th>MSEP Rating, min.</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Антиоксидант (АО)*, дезактиватор металу (MDA)*</td><td>90</td></tr> <tr> <td>АО*, MDA* та інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)</td><td>85</td></tr> <tr> <td>АО*, MDA* та інгібітор корозії/змащувальний засіб (CI/LI)</td><td>80</td></tr> <tr> <td>АО*, MDA*, FSII та CI/LI</td><td>70</td></tr> </tbody> </table>		JP-8 Додатки	MSEP Rating, min.	Антиоксидант (АО)*, дезактиватор металу (MDA)*	90	АО*, MDA* та інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)	85	АО*, MDA* та інгібітор корозії/змащувальний засіб (CI/LI)	80	АО*, MDA*, FSII та CI/LI	70
JP-8 Додатки	MSEP Rating, min.										
Антиоксидант (АО)*, дезактиватор металу (MDA)*	90										
АО*, MDA* та інгібітор обмерзання паливної системи (FSII)	85										
АО*, MDA* та інгібітор корозії/змащувальний засіб (CI/LI)	80										
АО*, MDA*, FSII та CI/LI	70										
*Навіть якщо присутність або відсутність не змінює ці межі, зразки, подані для специфікації або тестування на відповідність, повинні містити ті самі Додатки, що присутні в партії НПЗ. Незалежно від того, якого мінімуму вибере нафтопереробник, він повинен повідомити рейтинг MSEP для лабораторної ручної суміші палива з усіма Додатками, що вимагаються специфікацією.											

У таблиці 3.28 наведені типи присадок (додатків) та їх допустимі межі для авіаційного палива марки F-34/JP-8 та F-37 згідно вимог стандарту CGSB-3.24-2016.

Таблиця 3.28

Допустимі межі присадок (додатків) для авіаційного палива F-34/JP-8 та F-37 за CGSB-3.24

Присадки (Додатки)	Установлені граничні значення за CGSB-3.24000000	
	JP-8/F-34 та F-37	
	min	max
Антистатичний додаток , мг/л: STADIS 450 а) Початкове додавання б) Повторне додавання <i>Електрична провідність для JP-8/F-34 та F-37 має бути у діапазоні 50–600 нСм/м</i>	– –	3 5
Антиоксидант , мг/л: а) 2,6-ди-трет-бутилфенол б) 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол в) 2-трет-бутил-4,6-диметилфенол (2,4-диметил-6-трет-бутилфенол) д) принаймні 75% 2,6-ди-трет-бутилфенолу не більше 25% суміші трет- і три-трет-бутилфенолів е) Принаймні 55% 2-трет-бутил-4,6-диметилфенолу (2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу) не менше 15% 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенолу залишок у метил- і диметил-трет-бутилфенолах (ф) Принаймні 72% 2-трет-бутил-4,6-диметилфенолу (2,4-диметил-6-трет-бутилфенолу) не більше 28% метил- і диметил-трет-бутилфенолів. а) Гідроочищена частина б) Негідроочищена частина (не обов'язково)	17,2 –	24 24

Продовження Таблиці 3.28

Присадки (Додатки)	Установлені граничні значення за CGSB-3.24	
	JP-8/F-34 та F-37	
	min	max
Дезактиватор металу, мг/л, необов'язково N,N'-дісаліциліден-1,2-пропандіамін <i>не більше ніж 2,0 мг/л (не враховуючи масу розчинника) на початковій стадії виробництва на НПЗ</i>	—	5,7
Присадка для антижелезедного контуру палива (Інгібітор обмерзання), % об'єму di-EGME	0,10	0,15
Інгібітор корозії/присадка для змащення	Визнач. QPL-25017	
Добавка для виявлення витоків, мг/кг Tracer A (LDTA-A)	—	1
¹Термічну стабільність слід визначати за допомогою методу тестера термічного окиснення реактивного палива (JFTOT) при мінімальній контрольованій температурі трубки нагрівача 260°C. Еквівалентна одиниця SI для перепаду тиску становить 3,3 кПа. Однак метод JFTOT дає результати в мм рт.ст., а значенням є 25 мм рт.ст точний максимум. Тільки наступні присадки для термічної стабільності можуть бути змішані з паливом класу JP-8/F-34 у зазначених концентраціях для отримання авіаційного палива класу F-37: a) SPEC AID 8Q462W у концентрації 256 мг/л палива b) BASF Kerojet™ 100W у концентрації 294 мг/л палива.		

Важливою особливістю військового палива, яка визначає головну відмінність від цивільного, є використання трьох спеціальних присадок: Інгібітор корозії / покращувач змащення (CI/LI), Інгібітор обледеніння паливної системи (FSII) та Підвищувач електропровідності/ статичний розряд (SDA). Застосування цих присадок є обов'язковим для всіх видів військового палива (JP-4, JP-5 і JP-8). Це зумовлено необхідністю забезпечення безпечної, надійної та довговічної експлуатації військової авіації в

широкому діапазоні умов експлуатації. Детальний опис та вимоги до використання присадок у військових паливах наведено в таблиці 3.36. Ці Додатки, а також деякі інші (біоцидний додаток, добавка для виявлення витоків, управління водою в літаку) є необов'язковими для комерційного авіаційного палива.

Таблиця 3.29

Особливі вимоги до застосування додатків

Додаток (присадка)	Тип авіаційного палива		
	JP-4	JP-5 / F-44 / AVCAT/FSII	JP-8 / F-34 / AVTUR/FSII
АО	- 17.2 – 24.0 мг/л для гідроочищеного палива (обов'язково) - <24.0 мг/л для негідроочищеного палива (опціонально)	17.2–24.0 мг/л (обов'язково)	- 17.2–24.0 мг/л для палива, що містить гідроочищені або синтетичні компоненти (обов'язково) - < 24.0 мг/л для палива без гідроочищених або синтетичних компонентів (опціонально)
MDA	- <2 мг/л (на НІПЗ) - <5.7 мг/л (під час заправки) Опціонально		
CI/LI	Дорівнює або перевищує мінімальну ефективну концентрацію Обов'язково	Дорівнює або перевищує мінімальну ефективну концентрацію JP-8 (NATO F-34) – обов'язково NATO F-35 – опціонально	
FSII	Обов'язково	JP-8 (NATO F-34) – обов'язково NATO F-35 – опціонально	
SDA	Слід використовувати в кількостях, що відповідають вимогам щодо провідності палива, зазначеним у стандартах Обов'язково		
+100 додаток	-	-	Додатки: SPEC AID 8Q462, SPEC AID 8Q462W, AeroShell Performance Additive 101, BASF Kerojet™100, у концентрації 256 мг/л та BASF Kerojet™ 100W у концентрації 294 мг/л. За умови додавання присадки, паливо називається JP 8 +100 (NATO F-37) Має застосовуватись у складі JP-8 тільки за згодою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інструкція з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України : № 271/121:2007. Офіц. вид. Київ : М-во палива та енергетики України, 2007. 100 с.
2. ДСТУ 3437-96. Нафтопродукти. Терміни та визначення. [Чинний від 01.08.1997]. К. : Управління Держспоживстандарту України, 1997. 100 с.
3. ДСТУ 3021-95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. [Чинний від 01.01.1996]. К. : Управління Держспоживстандарту, 1996. 75 с.
4. ДСТУ 4345:2004. Нафтопродукти. Палива рідкі. Номенклатура показників якості. [Чинний від 01.01.2006]. К.: Управління Держспоживстандарту, 2006. 18 с.
5. ДСТУ 4488:2005. Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб. [Чинний від 01.10.2006]. К. : Управління Держспоживстандарту, 2006. 34 с.
6. ДСТУ 4454:2005. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання. [Чинний від 01.07.2006]. К. : Управління Держспоживстандарту, 2005. 36 с.
7. ДСТУ 4056-2001. Гази вуглеводневі скраплені. Методи відбирання проб. [Чинний від 01.05.2002]. К. : Управління Держспожив-стандарту, 2002. 37 с.
8. ДСТУ EN 1601–2003. Нафтопродукти рідинні. Бензини етильовані. [Чинний від 01.01.2006]. К. : Управління Держспоживстандарту України, 2006. 14 с.
9. ГСТУ 320.00149943.011–99. Паливо ТС-1 для реактивних двигунів. Технічні умови. [Чинний від 07.01.1999]. К. : Держспожив-стандарт України, 1999. 23 с.
10. ГСТУ 320.00149943.007–97. Паливо для реактивних двигунів РТ. Технічні умови. [Чинний від 06.15.1997]. К. : Держспожив-стандарт України, 1997. 19 с.
11. ДСТУ 4796:2007. Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів ДЖЕТ А-1. Технічні умови. Зміна №1. [Чинний від 01.11.2015]. К. : Управління Держспоживстандарту, 2015. 14 с.
12. EN 14214:2003. «Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines – Requirements and test methods». [Valid from 2009-03-31]. European Committee for Standardization, 2009. 20p.
13. EN 14331:2004. «Liquid petroleum products. Separation and characterization of fatty acid methyl esters (FAME) from middle distillates – Liquid chro-matography (LC)/gas chromatography (GC) method». [Valid from 2004-04-01]. European Committee for Standardization, 2004. 14p.
14. ASTM D 5293-10. Standard Test Method for Apparent Viscosity of

Engine Oils and Base Stocks Between -5 and -35°C Using Cold-Cranking Simulator. [Valid from 2010-01-01]. American Society for Testing and Materials, 2010. 10 p.

15. ASTM D 4684-08. Standard Test Method for Determination of Yield Stress and Apparent Viscosity of Engine Oils at Low Temperature. [Valid from 2008-01-01]. American Society for Testing and Materials, 2008. 13 p.

16. ASTM D 445-12. Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity). [Valid from 2012-01-01]. American Society for Testing and Materials, 2012. 13 p.

17. ДСТУ ГОСТ 33–2003. Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості: (ГОСТ 33–2000 (ИСО 3104–94), IDT). [Чинний від 2003-01-07]. К. : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003. 28 с.

18. ASTM D 4683-10. Standard Test Method for Measuring Viscosity of New and Used Engine Oils at High Shear Rate and High Temperature by Tapered Bearing Simulator Viscometer at 150°C . [Valid from 2010-01-01]. American Society for Testing and Materials, 2010. 12 p.

19. Бойченко С. В., Тітова О. С., Федорович Л. А. Контроль якості газів: Лабораторний практикум. К.: НАУ, 2004. 108 с.

20. S. Boychenko, Y. Novoselov, O. Spaska, O. Titova. Fuels and Lubricants: Laboratory practical works. Kyiv: NAU, 2004. 68 p.

21. Контроль якості паливно-мастильних матеріалів: навч. посіб. / С. В. Бойченко, та ін.; зв ред. С.В. Бойченко. К.: НАУ, 2012. 316 с.

22. S. V. Boichenko, M. M. Zakharchuk. Aviation Fuels and Lubricants: Manual. K. : NAU, 2012. 184 p.

23. С. В. Бойченко, Л. М. Черняк. Авіаційні паливно-мастильні матеріали: лабораторний практикум. К.: НАУ, 2013. – 40 с.

24. М. П. Андрієшин, Я. С. Марчук, С. В. Бойченко. Газ природний, палива та оливи: монографія. Одеса : Астропринт, 2010. 232 с.

25. Бойченко С. В. Раціональне використання вуглеводневих палив. К. : НАУ, 2001. 216 с.

26. В. І. Гайванович, П. І. Топільницький, В. М. Палюх. Хімотологія бензинів. Л. : Львівська політехніка, 2000. 157 с.

27. С. В. Бойченко, В. Г. Спіркін. Вступ до хімотології палив та олив : навч. посіб. Ч. 1. Одеса : Астропринт, 2009. 236 с.

28. С. В. Бойченко, В. Г. Спіркін. Вступ до хімотології палив та олив : навч. посіб.: у 2 ч. /– Одеса : Астропринт, 2009. 276 с.

29. С. В. Бойченко С. В., В. Г. Моца, О. С. Тітова. Газ і мастильні матеріали: навч. посіб. К.: НАУ, 2002. 188 с.

30. Газ і паливно-мастильні матеріали: навч.-метод. посібн / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, Н. М. Кучма, О. С. Тітова. К.: НАУ, 2006. 109 с.

31. Хімотологія: навч.-метод. посібн. / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, Н. М. Кучма, В. В. Єфименко. К.: НАУ, 2006. 157 с.

32. Топільницький П. І. Переробка нафтових і природних газів. Львів: Державний університет «Львівська політехніка», 1998. 169 с.
33. Тематичний словник авіаційної термінології (англійська, українська, російська мови) / за ред. О. М. Акмалдінової, С. В. Бойченка та інш. К.: НАУ, 2013. 692 с.
34. В.Ф. Новікова, О.В. Полякова, С.В. Бойченко. Паливно-мастильні матеріали: лабораторний практикум. К.: НАУ, 2002. 44 с.
35. Ніконов К. В. Розрахунок та проектування складу паливно-мастильних матеріалів. К.: НАУ, 2001. 240 с.
36. S. Boychenko, O. Vovk, L. Chernyak, K. Akinina. Quality and Ecological safety of motor fuels. *Chemistry & Chemical Technology*. 2007. № 6. С. 109–115.
37. Manual on Civil Aviation Jet Fuel Supply (ICAO Doc 9977-AN/489). Handbook/Manual/Guide by International Civil Aviation Organization, 2012. 48 p.
38. Patrylak L.K. Ethanol containing ethyl esters of fatty acids as perspective environment like fuel. *Fuel*. 2013. № 113 (2013). P. 650–653
39. A. Iakovlieva, O. Vovk, S. Boichenko, K. Lejda. Physical-chemical properties of jet fuels blends with components derived from rapeseed oil. *Chemistry & Chemical Technology*. 2016. Vol. 10. №4. P. 485–492.
40. П.Топільницький, О. Гринишин, О. Мачинський. Технологія первинної переробки нафти і газу. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 468 с.
41. Хіммотологія та інженерне забезпечення використання газу і паливно-мастильних матеріалів / С. В. Бойченко та ін. К.: НАУ, 2014. 276 с.
42. В.П. Лісафін, Д.В. Лісафін. Проектування та експлуатація складів нафти і нафтопродуктів: підруч. для студ. вищ. навч. закладів. Івано-Франківськ: Факел, 2006. 597 с.
43. Братичак М. М. Основи промислової нафтохімії. Львів. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. 604 с.
44. ASTM D1655-16c. Standard Specification for Aviation Turbine Fuels, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016. www.astm.org.
45. DEFSTAN 91-091. Turbine Fuel, Aviation Kerosine Type, Jet A-1, NATO Code: F-35, JSD: AVTUR, (Latest version, Revision I9, published 3 October 2016). UK Defence Standardization, 2016.
46. MIL-DTL-83133J. Turbine Fuel, Aviation, Kerosene Type, JP-8 (NATO F-34), NATO F-35, and JP-8+100 (NATO F-37). United States Military Standard, 2015.
47. MIL-DTL-5624W. Turbine Fuel, Aviation, Grades JP-4 and JP-5. United States Military Standard, 2016.
48. ASTM D1655-23a. Standard Specification for Aviation Turbine Fuels. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023. www.astm.org.
49. CGSB-3.24-2016. Aviation turbine fuel (Military grades F-34, F-37 and F-44). Canadian General Standards Board, 2016.

ДОДАТКИ

Додаток 1. Основні терміни та визначення

Згідно з ДСТУ 3437:1996 «Нафтопродукти. Терміни та визначення», ДСТУ 3464:1996 «Авіаційні палива, мастильні матеріали, технічні рідини. Терміни та визначення» для кожного поняття встановлено один стандартизований термін.

Авіаційне паливо (авіапаливо) – паливо для авіаційних двигунів з нафтової або ненафтової сировини.

Авіаційний бензин (авіабензин) – бензин для використання в авіаційних поршневих ДВЗ (суміш бензинових фракцій та високооктанових компонентів).

Авіаційний гас – нафтове паливо для використання в авіаційних газотурбінних двигунах.

Альтернативне паливо – різновид авіаційного палива, що продукується з ненафтової сировини.

Арбітражна проба – частина сукупної проби, що зберігається на випадок арбітражних випробувань.

Арбітражні випробування або вимірювання – випробування (вимірювання) з метою визначення відповідності показників якості нафти та/або нафтопродуктів вимогам нормативних документів, що виконуються нейтральною лабораторією у разі виникнення суперечностей в оцінюванні якості нафти або нафтопродуктів.

Альтернативні види палива – тверде, рідке та газове паливо, що є альтернативою відповідним традиційним видам палива, що виробляється (видобувається) з нетрадиційних джерел і видів енергетичної сировини.

Біохімічна корозивність – здатність палива спричиняти корозію паливних баків у місцях паразитування мікроорганізмів.

Біологічні види палива (біопаливо) – тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), що може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива.

Біокомпонент – біопаливо, що використовується як компонент інших видів палива.

Біомаса – біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства і

технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів.

Біостанол – спирт етиловий зневоднений, виготовлений з біомаси або спирту етилового сирцю для використання як біопалива.

Біобутанол – спирт бутиловий, виготовлений з біомаси, що використовується як біопаливо або біокомпонент.

Біодизельне паливо (біодизель) – метилові та/або етилові етери вищих органічних кислот, вироблених з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент.

Біогаз – газ, добутий з біомаси, що використовується як паливо.

Біоводень – водень, добутий з біомаси і один з видів біогазу.

Взаємозамінність – можливість використання різних марок палива (наприклад, авіаційного) для одних і тих самих двигунів і машин без модифікування їх характеристик.

Висота некіптявого полум'я – показник максимальної висоти полум'я, що може бути досягнута без утворення кіптяви під час згорання нафтопродукту.

Випаровуваність – здатність переходити із рідини в газ.

Вимірювальна лабораторія – підприємство, установа, організація чи їх окремий підрозділ, що виконують вимірювання фізичних величин, визначають хімічний склад, фізико-хімічні, фізико-механічні та інші властивості і показники нафти та/або нафтопродуктів за винятком вимірювань, пов'язаних з оцінюванням відповідності нафтопродуктів, з документальним оформленням їх результатів.

Випробувальна лабораторія – лабораторія, що виконує технічні операції, що полягають у визначенні однієї чи декількох характеристик нафти та нафтопродуктів згідно з установленою процедурою.

Відновлення (виправлення) якості нафтопродукту – доведення показника(ків) якості нафтопродукту до вимог нормативного документа.

Відходи – шлаки та відходи промисловості, сільського господарства, комунально-побутових, транспортних і інших підприємств, що можуть бути джерелом або сировиною для видобутку або виробництва альтернативних видів палива.

Виробник біопалива – суб'єкт господарської діяльності, що безпосередньо виробляє біопаливо з біомаси.

Гідроочищений продукт – прямогінний продукт після очищення воднем.

Газова високотемпературна корозивність – здатність продуктів згорання палива спричиняти ерозію металів гарячої частини

газотурбінного двигуна.

Детонаційна стійкість бензину – здатність бензину згорати без вибуху у двигуні з іскровим запаленням.

Донна проба – проба нафти або нафтопродукту, відібрана з днища резервуара (цистерни, танка наливного судна) переносним металевим пробовідбірником. Донна проба не належить до складу сукупної проби, а випробовується окремо.

Добавки на основі біоетанолу – біокомпоненти моторного палива, добуті синтезом із застосуванням біоетанолу або змішуванням біоетанолу з органічними сполуками та паливом, одержаними з вуглеводневої сировини, у яких вміст біоетанолу відповідає вимогам нормативних документів та які належать до біопалива.

Електризованість – здатність палива генерувати заряди статичної електрики внаслідок тертя на межі розділення фаз і нагромаджувати їх в об'ємі.

Експрес-метод – стандартизований (атестований) або нестандартизований метод випробувань, що дає змогу за більш короткий час визначити показники якості нафти та/або нафтопродуктів.

Експрес-випробування – випробування нафтопродуктів, що виконуються з використанням експрес-методів.

Займистість – експлуатаційна властивість, що характеризує пожежо- та вибухонебезпечність суміші пари палива з повітрям.

Забезпечення збереження якості – комплекс заходів, що забезпечують якість нафти та/або нафтопродуктів вимогам нормативних документів у процесі приймання, зберігання, транспортування та відпуску.

Засіб вимірювальної техніки – технічний засіб, що застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики.

Індукційний період – термін, протягом якого нафтопродукт в умовах окиснення зберігає свої властивості.

Корозійна активність за умов конденсації води – здатність авіаційних палив спричиняти руйнування поверхні металів за наявності води.

Конструкційна сумісність – характеристика дії нафтопродукту на конструктивні матеріали.

Контрольна проба – частина сукупної проби, що використовується для проведення випробувань.

Контрольні випробування – оцінювання відповідності якості нафти та/або нафтопродуктів вимогам нормативного документа за встановленим переліком показників якості з метою підтвердження

можливості їх застосування за прямим призначенням або встановлення початку змінювання якості.

Контроль якості – це процес встановлення відповідності між фактичними показниками якості та встановленими нормативними документами.

Люмінометричне число – показник, що визначає інтенсивність світлового випромінення полум'я під час згорання палива в умовах випробування.

Лабораторні випробування (вимірювання, аналіз)– визначення фактичних значень показників якості нафти та/або нафтопродуктів, установлених нормативними документами з використанням стандартизованих методів випробувань (вимірювань) або атестованих методик випробувань (вимірювань).

Марка нафтопродукту – нафтопродукт, назва, умовне позначення, склад та властивості якого регламентовано стандартами і технічними умовами.

Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки – дослідження засобів вимірювальної техніки з метою визначення їх метрологічних характеристик та встановлення їх придатності до застосування.

Мобільна (пересувна) лабораторія – лабораторія, укомплектована необхідним обладнанням, приладами та пристроями для визначення якості нафтопродуктів експрес-методами проведення випробувань, що дають змогу оперативно визначати показники якості нафтопродуктів.

Нагарне число палива – кількість нагару в камері згорання малорозмірного газотурбінного двигуна під час роботи його на дослідному паливі, віднесена до кількості нагару, що утворюється під час роботи цього самого двигуна на паливі стандартного зразка.

Нафтопродукт – продукт, вироблений під час перероблення нафти, газового конденсату або їх суміші, за винятком продуктів нафтохімії.

Нестандартний нафтопродукт – нафтопродукт, що за одним чи декількома показниками якості не відповідає вимогам нормативного документа.

Нормативний документ – документ, що встановлює правила, загальні принципи чи характеристики різних видів діяльності або результатів. Цей термін охоплює такі поняття, як «стандарт» та «технічні умови».

Нетрадиційні джерела та види енергетичної сировини – сировина рослинного походження, відходи, тверді горючі речовини, інші природні і штучні джерела та види енергетичної сировини, важкі сорти нафти, природні бітуми, газонасичені води, газогідрати тощо, у тому числі нафтові, газові, газоконденсатні та нафтогазоконденсатні, вичерпані, непромислового значення і техногенні родовища, виробництво (видобуток) і перероблення яких потребує застосування новітніх технологій і які не використовуються для виробництва (видобутку) традиційних видів палива.

Прямогонний продукт – продукт прямої перегонки нафти.

Паливо для реактивних двигунів – паливо для повітряно-реактивних двигунів, що є сумішшю в певних пропорціях прямогонних і гідроочищених газових дистилатів.

Добавка (додаток) до палива – речовина, що додається у незначній кількості до палива для поліпшення або збереження на тривалий час експлуатаційних властивостей.

Паспорт якості – документ, що містить дані для ідентифікації та фактичні значення показників якості нафти та/або нафтопродуктів, отримані в результаті лабораторних випробувань, і їх відповідність вимогам нормативних документів.

Приймально-здавальні випробування – оцінювання відповідності якості нафти та/або нафтопродуктів за встановленим переліком показників даним, наведеним у паспорті якості вантажовідправника (під час приймання) або в журналі реєстрації результатів випробувань (під час відпуску).

Повірка засобів вимірювальної техніки – установлення придатності засобів вимірювальної техніки, на які поширюється державний метрологічний нагляд, до застосування на підставі результатів контролю їх метрологічних характеристик.

Рідке паливо з біомаси – біопаливо дизельне, біоетанол, біобутанол, чиста олія та інші синтетичні палива, виготовлені з біомаси.

Сконденсоване авіаційне паливо – паливо для реактивних двигунів, що містить сконденсовані вуглеводневі гази. Один із видів замінників традиційного авіаційного палива.

Сортність (бензину) – показник, що визначає детонаційну стійкість авіаційного бензину на багатій суміші в одиницях відповідної шкали.

Свідоцтво про визнання відповідності – документ, що засвідчує визнання іноземних документів про підтвердження відповідності

продукції вимогам, установленим законодавством України (Закон України «Про підтвердження відповідності»).

Сертифікат відповідності – документ, що підтверджує відповідність продукції, системам якості, управління якістю, управління докільям, персоналу та установленим вимогам конкретного стандарту чи іншого нормативного документа, визначеного законодавством (Закон України «Про підтвердження відповідності»).

Стандартизований метод випробувань – метод випробування, на який є нормативний документ, розроблений та затверджений у встановленому порядку.

Синтетичні біопалива – синтетичні вуглеводні та суміші синтетичних вуглеводнів, виготовлені з біомаси.

Система якості – сукупність взаємопов'язаних та взаємодійних елементів організаційної структури, визначених механізмів відповідальності, повноважень та процедур організації, а також процесів та ресурсів, що забезпечують здійснення загального керівництва якістю та її відповідність установленим вимогам.

Система контролю якості – це формалізована сукупність принципів, методів і правил, застосовуваних організацією для контролю якості аудиторських послуг (політика контролю якості), а також заходи та дії (процедури), що здійснює організація для впровадження політики контролю якості та моніторингу відповідності системи контролю якості встановленим вимогам.

Термін використання – термін придатності продукту у системах і двигунах до втрати якості.

Чистота авіаційних палив – ступінь забрудненості авіаційних ПММ небажаними розчинними та нерозчинними домішками.

Чутливість палива – різниця між октановими числами, визначена двома стандартними методами – «дослідним» та «моторним».

Функціональна сумісність – здатність двох або більше нафтопродуктів зберігати експлуатаційні властивості після їх змішування.

Якість авіаційних палив – здатність задовольняти вимоги їх використання, зберігання та транспортування відповідно до їх призначення.

Додаток 2. Схвалені види палива для реактивних двигунів та їх основні характеристики

ASTM D 7566 Додаток	Місяць і рік	Назва	Процес	Вихідна сировина	Вуглеводні	Співвідношення суміші у викопному паливі (% об'єму)
A1	Червень 2009	FT-SPK	Газифікація	Синтез-газ з вугілля, газу, біомаси	Гаусів розподіл алканів	50
A2	Липень 2012 року	HEFA-SPK	Гідрообробка	Жири, олії та мастила	Гаусів розподіл алканів	50
A3	Червень 2014 року	SIP	Ферментація	Цукри	Розгалужені алкани (C ₁₅)	10
A4	Листопад 2015	SPK/A	Газифікація Алкілування легких ароматичних сполук не нафтового походження (головним чином бензолу)	Тільки для частини FT: синтез-газ з вугілля, газу, біомаси	Гаусівський розподіл вуглеводнів	50
A5	Квітень 2016 року	ATJ-SPK	Ферментація (ізобутанол)	Цукор, кукурудза або лісові відходи.	Обмежена кількість алканів C ₁₂ і C ₁₆	30

Додаток 3. Клас небезпеки, ГДК та характеристики пожежонебезпеки моторних палив

Найменування палива	Температура, °C		ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки
	спалаху	самоспалахування		
Автомобільний бензин	мінус 39	255–300	100	4
Авіаційний бензин	мінус 34– мінус 38	380–480	100	4
ТС-1	28	218	300	4
РТ	28	220	300	4
Т-1	30	345	300	4
Т-2	мінус 12	300	300	4
ДТ(л)	71	310	300	4
ДТ(з)	78	240	300	4
Зріджений газ				
(пропан, бутан)	430–588	405–466	300	4
Стиснений				
(компримований) газ	545–800	–	300	4

**Додаток 4. Значення коефіцієнта a для визначення ентальпії рідких нафтопродуктів
(до формули (1.44))**

$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$
0 (273)	0,00	130 (403)	248,17	260 (533)	553,75	390 (663)	916,39
5 (278)	8,46	135 (408)	258,90	265 (538)	566,65	395 (668)	931,73
10 (283)	17,05	140 (413)	269,66	270 (543)	579,60	400 (673)	946,94
15 (2880)	25,72	145 (418)	279,89	275 (548)	592,67	405 (678)	962,19
20 (293)	34,44	150 (423)	291,45	280 (553)	605,83	410 (683)	977,56
25 (298)	43,28	155 (428)	302,47	285 (558)	619,07	415 (688)	992,98
30 (303)	52,16	160 (433)	313,62	290 (563)	632,39	420 (693)	1008,53
35 (308)	61,17	165 (438)	324,80	295 (568)	645,80	425 (698)	1024,16
40 (313)	70,26	170 (443)	336,07	300 (573)	659,29	430 (703)	1039,83
45 (318)	79,40	175 (448)	347,47	305 (578)	673,87	435 (708)	1055,62
50 (323)	88,66	180 (453)	358,91	310 (583)	686,53	440 (713)	1071,50
55 (3280)	98,00	185 (458)	370,47	315 (588)	700,27	445 (718)	1091,62
60 (333)	107,38	190 (463)	382,08	320 (593)	714,10	450 (723)	1103,47
65 (338)	116,94	195 (468)	393,77	325 (598)	728,01	455 (728)	1119,14
70 (343)	126,78	200 (473)	405,59	330 (603)	742,00	460 (733)	1135,82
75 (348)	136,30	205 (478)	417,44	335 (608)	756,08	465 (738)	1152,08
80 (353)	145,93	210 (483)	429,43	340 (613)	770,28	470 (743)	1164,48
85 (358)	155,44	215 (488)	441,45	345 (618)	784,53	475 (748)	1184,93
90 (363)	165,71	220 (493)	453,60	350 (623)	798,86	480 (753)	1201,48
95 (368)	175,72	225 (498)	465,84	355 (628)	813,02	485 (758)	1218,11

Закінчення дод. 4

$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$
100 (373)	185,82	230 (503)	478,12	360 (633)	827,81	490 (763)	1234,83
105 (378)	196,00	235 (508)	490,52	365 (638)	842,39	495 (768)	1251,63
110 (383)	206,27	240 (513)	503,00	370 (643)	857,06	500 (773)	1268,52
115 (388)	216,62	245 (518)	515,53	375 (648)	871,85	–	–
120 (393)	227,05	250 (523)	528,19	380 (653)	886,68	–	–
125 (398)	237,57	255 (528)	540,88	385 (658)	901,64	–	–

**Додаток 5. Значення коефіцієнта a для визначення ентальпії пари нафтопродуктів
(до формули (1.48))**

$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$
5 (278)	212,54	130 (403)	279,64	255 (528)	364,94	380 (653)	468,60
10 (283)	214,94	135 (408)	282,69	260 (533)	268,72	385 (658)	473,13
15 (2880)	217,33	140 (413)	285,75	265 (538)	372,57	390 (663)	477,66
20 (293)	219,72	145 (418)	288,90	270 (543)	376,42	395 (668)	482,31
25 (298)	222,11	150 (423)	292,04	275 (548)	380,28	400 (673)	486,87
30 (303)	224,58	155 (428)	295,22	280 (553)	384,22	405 (678)	491,52
35 (308)	227,05	160 (433)	298,41	285 (558)	388,16	410 (683)	496,17
40 (313)	229,52	165 (438)	301,68	290 (563)	392,10	415 (688)	500,91
45 (318)	232,08	170 (443)	304,94	295 (568)	396,12	420 (693)	505,60
50 (323)	234,64	175 (448)	308,21	300 (573)	400,14	425 (698)	510,38
55 (3280)	237,23	180 (453)	311,56	305 (578)	404,20	430 (703)	515,20
60 (333)	239,83	185 (458)	314,87	310 (583)	408,27	435 (708)	520,02
65 (338)	242,54	190 (463)	318,27	315 (588)	412,42	440 (713)	524,83
70 (343)	245,19	195 (468)	321,66	320 (593)	416,56	445 (718)	529,74
75 (348)	24788	200 (473)	325,14	325 (598)	420,71	450 (723)	534,64
80 (353)	250,64	205 (478)	328,62	330 (603)	425,15	455 (728)	539,58
85 (358)	253,41	210 (483)	332,09	335 (608)	429,18	460 (733)	542,43
90 (363)	253,17	215 (488)	335,66	340 (613)	433,41	465 (738)	549,56
95 (368)	259,02	220 (493)	339,22	345 (618)	437372	470 (743)	554,54

$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C (K)}$	$a, \text{кДж/кг}$
100 (373)	261,87	225 (498)	342,78	350 (623)	442,04	475 (748)	559,61
105 (378)	264,76	230 (503)	346,38	355 (628)	446,40	480 (753)	564,68
110 (383)	267,65	235 (508)	350,07	360 (633)	450,76	485 (758)	569,79
115 (388)	270,63	240 (513)	353,71	365 (638)	455,20	490 (763)	574,95
120 (393)	273,60	245 (518)	357,44	370 (643)	459,60	495 (768)	580,14
125 (398)	276,58	250 (523)	361,17	375 (648)	464,08	500 (773)	585,34

Додаток 6. Вплив змін показників якості палив на роботу двигунів

Найменування показника	Характер зміни показника відносно норми	Вплив зміни показника на роботу двигуна	Ознаки, що характеризують порушення у роботі двигуна
Октанове число	Зменшення	З'являється схильність до детонаційного згорання	Металевий гуркіт, вібрації, перегрівання, димний викид
	Збільшення	Забезпечується можливість збільшення ступеня стиснення	Збільшується потужність, але зменшується надійність
Цетанове число	Зменшення (нижче 40)	Погіршуються пускові властивості підвищується жорсткість двигуна	Ускладнюється запуск ДВЗ
	Збільшення (вище 50)	Збільшується витрата палива	Зменшується паливна ефективність
Фактичний склад: температура википання 10 % палива 50 % палива 90 % палива	Підвищення	Погіршуються пускові властивості палива (взимку). Зменшуються ймовірність утворення пароповітряних пробок (влітку)	Погіршення запуску ДВЗ без підігрівання. Можливість експлуатації ДВЗ за надвисоких температур
	Зниження	Утворюються парові пробки в системі живлення (влітку). Покращуються запуск ДВЗ (взимку)	Двигун працює з перебоями
	Зниження	Прискорюється прогрівання ДВЗ	
	Зниження	Покращуються умови згорання палива	Знижується димність відпрацьованих газів
	Підвищення	Збільшується період згорання палива	Перегрівання двигуна

Найменування показника	Характер зміни показника відносно норми	Вплив зміни показника на роботу двигуна	Ознаки, що характеризують порушення у роботі двигуна
Тиск насиченої пари	Підвищення	Збільшується ймовірність утворення парових пробок	Знижується ймовірність раптової зупинки двигуна. Погіршується запуск.
	Зниження	Зменшується ймовірність утворення парових пробок	
Вміст сірки	Вище норми	Оксиди, що утворюються за підвищених температур від з'єднання з киснем, при взаємодії з вологою викликають корозію	Знижується надійність двигуна, збільшується інтенсивність зношування
Водорозчинні кислоти та луки	Наявність	Викликають корозію приладів системи паливоживлення ДВЗ	Зниження надійності
Фактичні смоли	Вище норми	Зменшують пропускну здатність жиклерів і паливопроводів, утворюють нагар на деталях камери згорання	Збільшення робочої суміші, калільне спалахування суміші. Зниження надійності ДВЗ
Температура помутніння	Вище норми	Забруднення фільтрів	Перебої у подаванні палива
Температура застигання	Вище норми	Припинення подачі палива	Зупинка двигуна

Найменування показника	Характер зміни показника відносно норми	Вплив зміни показника на роботу двигуна	Ознаки, що характеризують порушення у роботі двигуна
В'язкість	Нижче норми	Витікання палива із з'єднання, підтікання палив у форсунках, погане змащування поверхонь тертя.	Коксування отворів розпилювачів
	Вище норми	Погіршення розпилювання палива, неповне згорання	Задимленість відпрацьованих газів, підвищення температури двигуна
Забрудненість	Наявність механічних частинок	Забрудненість фільтрів, відстійників, підвищення зношування паливо подавальної апаратури.	Зниження ймовірності безвідмовної роботи
	Наявність води	Для карбюраторного ДВЗ покращення процесу згорання, підвищення детонаційної стійкості (влітку). Для дизельних двигунів корозія деталей системи паливоживлення.	Зависання голок розпилювачів форсунок

Додаток 7. Методи тестування, що використовуються для випробувань авіаційних палив

Багато з описаних нижче методів тестування мають як ASTM, так і IP позначення. У деяких випадках методи є еквівалентними, і будь-який з методів може бути використаний для тестування відповідності специфікаціям; однак це не завжди так. Багато з цих методів тестування ASTM і IP мають аналоги в ISO.

Найменування показника	Стандартний метод тестування	Опис
Фракційний склад	ASTMD 86 / IP 123 – Дистиляція нафтопродуктів	Зразок об'ємом 100 мл розміщується в круглій колбі та нагрівається з швидкістю, що вказана для зразка з його характеристиками парового тиску. Температура пари фіксується, коли збирається перша краплина конденсату (початкова температура кипіння) і при обсягах, що відновлюються, 5 мл, 10 мл, 15 мл, 20 мл, а також у кожному наступному інтервалі по 10 мл до 80 мл, 85 мл, 90 мл, 95 мл та в кінці випробування (кінцева точка). Кількість зразка, що залишилася в колбі в кінці випробування, та кількість, що втрачена під час випробування – обидві у відсотках за об'ємом – відповідно фіксуються та розраховуються.
	ASTM D 2887 / IP 406 – Розподіл температур кипіння нафтяних фракцій за допомогою газової хроматографії	Невелика частина зразка інjektується на неполярну газову хроматографічну колону, що розділяє сполуки за температурою кипіння. Час елюції перетворюється на температуру кипіння аналізуванням суміші <i>n</i> -парафінів з відомими температурами кипіння за ідентичних умов.
Термічна стабільність	ASTM D 3241 / IP 323 – Термостабільність окиснення авіаційних турбінних палив (процедура JFTOT)	Паливо перекачується через нагріту алюмінієву трубку зі сталі за постійною швидкістю протягом 2,5 год. Після контакту з трубкою паливо фільтрується, щоб зібрати будь-які тверді продукти розкладу. Падіння тиску через фільтр контролюється під час випробування. Наприкінці тесту трубка знімається та візуально перевіряється на наявність будь-яких плям або змін кольору, що оцінюються порівнянням зі стандартною кольоровою шкалою. Ця візуальна оцінка трубки та падіння тиску через фільтр в кінці тесту повідомляються як результати тесту.

Найменування показника	Стандартний метод тестування	Опис
Густина	ASTM D 1298 / IP 160 – Густина, відносна густина (специфічна вага) або API-гравітація сирої нафти та рідких нафтопродуктів методом гідрометра	Паливо переливають у циліндричну ємність і обережно опускають у циліндр гідрометр і дають відстоятися. Після досягнення рівноваги температури зразка записують значення на шкалі гідрометра, розташованого на поверхні зразка, і температуру зразка. Значення гідрометра перетворюється на густину при 15,6°C або вагу API при 60°F за допомогою стандартних таблиць.
	ASTM D 4052 / IP 365 – Густина та відносна густина рідин за допомогою цифрового денситометра	Невеликий об'єм зразка вводиться в осцилюючу трубку, що підтримується за постійної температури. Зміна частоти коливань, викликана зміною маси трубки, пов'язана з щільністю зразка
В'язкість	ASTM D 445 / IP 71 – Кінематична в'язкість прозорих та непрозорих рідин	Зразок поміщають у калібрований скляний візкозиметр та підтримують при точно контрольованій температурі. Вимірюють час, необхідний для проходження певного об'єму зразка через капіляр під дією сили тяжіння. Цей час пропорційний кінематичній в'язкості зразка.
Тиск пари	ASTM D 323 / IP 69 – Тиск пари нафтопродуктів (метод Рейда/Reid Method) Referee Method*	Використовується спеціальний циліндр з окремими камерами для пари та рідини, які можуть бути з'єднані між собою. Рідинна камера заповнюється охолодженим зразком, а потім негайно з'єднується з камерою пари, що була нагріта до 37.8°C (100°F). Зібрана апаратура занурюється в ванну, що підтримується за 37.8°C (100°F), поки не буде зафіксовано стабільний тиск. Цей тиск включає внесок повітря та води, розчиненої в паливі.
	ASTM D 5191 – Тиск пари нафтопродуктів (Міні-метод)	Охолоджений зразок вводять в евакуйовану, термостатично контрольовану камеру. Камера та зразок нагріваються до 37.8°C (100°F), і вимірюється викликане цим підвищення тиску. Розмір зразка та об'єм камери обираються так, щоб повторити умови методу Рейда.

Найменування показника	Стандартний метод тестування	Опис
Температура спалаху	ASTM D 56 – Температура спалаху за тестером закритого типу (Tag closed tester)	Зразок поміщають у закриту чашу і нагрівають повільно та з постійною швидкістю. Через рівні проміжки часу кришку відкривають і направляють джерело запалювання в чашу. Найнижча температура, при якій джерело запалювання спричиняє займання пари над зразком, є температурою спалаху.
	ASTM D 3828 / IP 303 – Температура спалаху за допомогою закритого тестера малих обсягів (Small Scale Closed Tester)	Зразок поміщають у закриту чашу, і чашу нагрівають до фіксованої температури. Після заданого часу кришку відкривають, підносять тестове полум'я, і спостерігають, чи відбувається спалах. Тест повторюють з новим зразком за інших фіксованих температур, поки температура спалаху не буде встановлена з необхідною точністю (не більше ніж 0.5°C (1°F)).
Чиста теплота згорання	ASTM D 3338 – Оцінка чистої теплоти згорання авіаційних палив	Чисту теплоту згорання зразка оцінюють на основі його API-щільності, вмісту ароматичних сполук та дистиляційного профілю. Оцінка базується на кореляції, розробленій для широкого спектра палива.
	ASTM D 4529 / IP 381 – Оцінка чистої теплоти згорання авіаційних палив	Чисту теплоту згорання зразка оцінюють на основі його анілінової точки, щільності та вмісту сірки. Оцінка ґрунтується на кореляції, розробленій для широкого спектра пального.
	ASTM D 4809 – Теплота згорання рідких вуглеводневих палив за допомогою бомбового калориметра Referee Method*	Зважений зразок пального поміщають у бомбовий калориметр під заданими умовами. Паливо запалюється, і збільшення температури калориметра використовується для розрахунку теплоти згорання.
Точка замерзання	ASTM D 2386 / IP 16 – Температура замерзання авіаційних палив Referee Method	Зразок поміщають у спеціальну трубку -сорочку, оснащену мішалкою та термометром. Трубка розміщується в ванні з низькою температурою та перемішується під час охолодження зразка. Коли з'являються кристали вуглеводнів, трубку виймають з охолоджувальної ванни і дозволяють їй повільно нагріватися з постійним перемішуванням. Температура, за якої кристали вуглеводнів повністю зникають, є температурою замерзання.
	ASTM D 5972 / IP 435 – Температура замерзання авіаційних палив (метод автоматичного фазового переходу)	Невелика порція пального охолоджується з постійною швидкістю та контролюється оптичним способом. Коли оптична система виявляє утворення кристалів вуглеводнів, зразок нагрівається з постійною швидкістю, поки кристали не розчиняться знову. Температура палива в цей момент є температурою замерзання.

Найменування показника	Стандартний метод тестування	Опис
Вміст нафталіну	ASTM D 1840 – Нафталінові вуглеводні в авіаційних турбінних паливах за допомогою ультрафіолетової спектрофотометрії	Зразок розчиняється в ізооктані при відомій концентрації, і вимірюється абсорбція розчину на довжині хвилі 285 нанометрів, яка використовується для розрахунку вмісту нафталінів.
Люмінометричні числа	ASTM D 1740 – Люмінометричні числа авіаційних турбінних палив	Зразок спалюється в лампі ASTM-CRC Люмінометра для отримання кривої випромінювання полум'я в залежності від підвищення температури в пальнику. Люмінесцентне число розраховується на основі різниці підвищення температури між тестовим паливом та тетраліном, поділеної на різницю підвищення температури між ізооктаном і тетраліном. Примітка: Цей метод більше не входить до специфікації, але наведений тут для історичного довідника.
Сірка	ASTM D 1266 / IP 107 – Сірка в нафтопродуктах (Ламповий метод)	Зразок спалюється в скляній лампі з бавовняним гнітом, щоб окиснити сірку до діоксиду сірки. Продукти згорання пропускаються через розчин перекису водню для перетворення діоксиду сірки на сірчану кислоту. Кількість утвореної сірчаної кислоти вимірюється або методом осадження барію, або титруванням.
	ASTM D 1552 – Сірка в нафтопродуктах (метод високих температур)	Зразок спалюється, щоб окиснити сірку до діоксиду сірки. Діоксид сірки або поглинається в кислому розчині йодиду калію з індикатором крохмалю та титрується назад стандартним розчином калій йодату, або збирається в осередку, де вимірюється його інфрачервона абсорбція. Примітка: Цей метод більше не входить до специфікації, але наведений тут для історичного довідника.
	ASTM D 2622 / IP 447 – Сірка в нафтопродуктах за допомогою хвильової дисперсійної рентгенівської спектрометрії	Зразок поміщається в рентгенівське випромінювання, і вимірюється інтенсивність флуоресценції рентгенівських променів сірки, що використовується для розрахунку вмісту сірки в зразку.
	ASTM D 4294 / IP 336 – Сірка в нафтопродуктах методом енергетично-дисперсійної рентгенівської флуоресцентної спектроскопії.	Зразок поміщають у рентгенівський промінь, і вимірюється результативне характеристичне рентгенівське випромінювання, що використовується для розрахунку вмісту сірки в зразку.

Найменування показника	Стандартний метод тестування	Опис
Сірка (продовження)	ASTM D 5453 – Визначення загальної сірки в легких вуглеводнях, моторних оліях і оліях методом ультрафіолетової флуоресценції	Зразок спалюють, щоб окиснювати сірку до діоксиду сірки. Продукти згорання опромінюються ультрафіолетовим світлом, і вимірюється флуоресценція діоксиду сірки.
Меркаптанова сірка	ASTM D 3227 / IP 342 – Меркаптанова сірка в бензині, газі, авіаційних турбінних та дистильованих паливах (потенціометричний метод).	Зразок, вільний від сірководню, розчиняють в алкогольному натрієвому ацетаті і титрують потенціометрично стандартним розчином нітрату срібла, що осаджує меркаптанову сірку у вигляді сульфиду срібла.
Корозія мідної стрічки	ASTM D 130 / IP 154 – Виявлення корозії міді від нафтопродуктів за допомогою тесту на потемніння мідної стрічки.	Поліровану мідну стрічку занурюють у зразок на дві години за температури 100°C (212°F), після чого її виймають і миють. Стан поверхні міді якісно оцінюється порівнянням з еталонами.
Кислотність	ASTM D 3242 / IP 354 – Кислотність в авіаційному турбінному паливі.	Визначена кількість зразка розчиняється в титраційному розчиннику і титрується алкогольним гідроксидом калію до кольорового кінцевого значення. Кількість кислотності в паливі виражається в мг КОН/г.
Наявність камеді	ASTM D 381 / IP 131 – Вміст камеді в паливі методом джет-евапорації.	Виміряна кількість пального переноситься до зваженої чаші, що поміщається в нагрітий водяний бані, і випаровується під потоком пари. Отриманий залишок зважується і повідомляється як наявність камеді.
Вміст ароматичних речовин	ASTM D 1319 / IP 156 – Типи вуглеводнів у рідких нафтопродуктах методом адсорбції флуоресцентних індикаторів.	Невелику кількість зразка поміщають на верхню частину спеціальної скляної адсорбційної колони, заповненої активованим силікагелем. Перед цим верхній шар гелю обробляють флуоресцентними барвниками. Для транспортування зразка та флуоресцентних барвників вниз по колоні використовується ізопропіловий спирт. Вуглеводні розділяються на смуги ароматичних, олефінових та насичених сполук через їх різні спорідненості до гелю. Флуоресцентні барвники, що також вибірково розділяються, роблять межі ароматичних, олефінових і насичених зон видимими під ультрафіолетовим світлом.

Найменування показника	Стандартний метод тестування	Опис
Вміст ароматичних речовин (продовження)	ASTM D 6379 / IP 436 – Типи ароматичних вуглеводнів в авіаційних паливах – Високоєфективна рідинна хроматографія з рефрактометричним детектуванням.	Невелику кількість зразка інjektують на полярну HPLC-колону, яка відокремлює ароматичні сполуки від насичених. Для кількісного визначення ароматичних вуглеводнів використовується рефрактометричний детектор, порівнюючи з раніше підготовленою калібрувальною кривою.
Димова точка	ASTM D 1322 / IP 57 – Димова точка гасу та авіаційного турбінного пального.	Зразок спалюється в лампі з подачею пального через гніт. Димова точка – це максимальна висота полум'я, що може бути досягнута без диму.
Електропровідність	ASTM D 2624 / IP 274 – Електрична провідність авіаційних та дистильованих палив	Зразок поміщають у комірку з двома електродами. На електроди подається напруга, і результируючий струм виражається в залежності від провідності зразка.
Реакція води	ASTM D 1094 / IP 289 – Реакція води з авіаційними паливами	Зразок струшується з водним буферним розчином у чистій скляній циліндрі за кімнатної температури, а потім дозволяється відстоятися, щоб суміш розділилася на вуглеводневу та водну фази. Після п'яти хв відстоювання вимірюється зміна об'єму водного шару. Також перевіряється вигляд інтерфейсу вуглеводневої/водної фази на наявність бульбашок або плівки. Примітка: Цей метод наразі виключається з специфікацій DEF STAN та ASTM, оскільки було виявлено, що він неефективний у виявленні сурфактантів, що можуть зневоднювати коалесценти. Він буде замінений на D3948.
Водорозчинність	ASTM D 3948 – Визначення характеристик розділення води в авіаційних турбінних паливі за допомогою портативного сепаратора	З використанням напівавтоматичного приладу Micro-Separometer паливний зразок змішується з водою, проштовхується через скловолоконний коалесціюючий середовище і оцінюється. Рейтинг MSEP вказує на відносну легкість коалесціювання води з зразка. Прилад калібрується на паливному зразку, вільному від води.
Змащувальна здатність	ASTM D 5001 – Вимірювання змащувальних властивостей авіаційних турбінних палив за допомогою приладу для оцінки змащувальних властивостей кулькових циліндрів (BOCLE)	Нерухома сталева куля притискається до циліндричного кільця. Циліндричне кільце обертається з фіксованою швидкістю, частково зануреним у паливо. У кінці випробування куля виймається і перевіряється на знос. Розмір зношеної ділянки пов'язаний із змащувальними властивостями пального (велика зношена ділянка свідчить про погані змащувальні властивості).

Найменування показника	Стандартний метод тестування	Опис
Тверді частинки	ASTM D 2276 / IP 423 – Часткові забруднювачі в авіаційному паливі методом лінійного відбору зразків.	Паливо з польового пробовідбірника пропускається через мембрану з розміром пор 0,8 мікрметра. Мембрана порівнюється з прикладами в довідковій брошурі для оцінки її кольору та інтенсивності кольору.
	ASTM D 5452 – Часткове забруднення в авіаційному паливі методом лабораторної фільтрації.	Паливо з польового пробовідбірника пропускається через пару мембран із однаковою вагою та розміром пор 0,8 мікрметра. Мембрани висушуються за стандартних умов і зважуються. Різниця у вазі між двома мембранами є показником вмісту часткових забруднювачів у зразку.

*RefereeMethod/Тест арбітра – це спеціально розроблений тест, що надсилається до ряду лабораторій з метою отримання інформації, що має на меті покращення тестування, а також надання цінного зворотного зв'язку лабораторіям-учасникам.

Додаток 8. Основні показники якості рідких палив та їх зв'язок з експлуатаційними характеристиками двигунів

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Анілінова точка	Показник пов'язаний із структурно-груповим складом нафтопродуктів, що вказує на вміст ароматичних вуглеводнів в паливі. Визначення (ISO2977) полягає у вимірюванні мінімальної температури, за якої рівні об'єми аніліну й палива повністю змішуються за нормальних умов. Вимірюється в °C або °F.	Найменші значення анілінової точки мають <i>ароматичні вуглеводні</i> , найвищі – <i>парафінові</i> . <i>Нафтові і парафінові вуглеводні</i> за цим показником займають проміжне положення. Використовується, наприклад, під час визначення дизельного індексу палива.
В'язкість	Властивість рідини чинити опір переміщенню, що обумовлений внутрішніми молекулярними взаємодіями в середовищі, що рухається. <i>Кінематична в'язкість</i> (ν) – міра опору рідини під впливом гравітаційних сил, визначається капілярними віскозиметрами (типу Оствальда (Каннон-Фенське, Пінкевича та ін.), Убеллоде, Канон-Фенське-Опака та ін.) як добуток виміряного часу витікання (τ) і постійної віскозиметра (c), має розмірність $\text{м}^2/\text{с}$ або сантистокс (сСт); $1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. <i>Умовна в'язкість</i> – відношення часу витікання певної кількості рідини, що аналізується при заданій температурі з віскозиметра типу Енглера до часу витікання дистильованої води за тих же умов. Вимірюється в умовних одиницях (ВУ) чи градусах Енглера (°E). $1^\circ\text{E} = 1 \text{ ВУ}$.	Показник <i>прокачуваності та протизносних властивостей</i> палив. Залежить від вуглеводневого складу палива. Найменшу в'язкість і найпологішу в'язкісно-температурну характеристику мають ациклічні сполуки. Бензини мають низьку в'язкість і дуже пологі в'язкісно-температурну залежність, що обумовлює їх добру прокачуваність, але низькі протизносні характеристики. Останні незначні в карбюраторних двигунах, де відсутні пари тертя, проте в системах впорскування є негативним чинником. Для підвищення протизносних властивостей бензинів до них можуть вводиться присадки. В'язкість дизельних палив визначає процеси їх випаровування і сумішоутворення і зносостійкість систем впорскування. Чим нижче в'язкість, тим краще розпилювання палива і повнота його згорання, але збільшуються витоки через щілини плунжерних пар і знижуються їх зносостійкість. Із збільшенням в'язкості погіршуються параметри впорскування і згорання, зростає

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
В'язкість (продовж.)		опір похитування в паливній системі. Оптимальною вважається в'язкість палива в межах (1,8–7,0) сСт.
Тиск насиченої пари	Показник, що вказує тиск пари, що знаходиться в рівновазі з рідиною або твердим тілом за даної температури. Визначається з використанням бомби Рейда (ДСТУ 4160 (ISO 3007), ДСТУ EN 13016-1) або на установці з механічним диспергуванням за температури $(37,8 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$ та співвідношення об'ємів, що займають паливо та його пара в співвідношенні 1:4. Вимірюється в Па, мм рт. ст. та ін.	Показник <i>випаровуваності</i> , що характеризує летючість палив. Тиск насиченої пари (ТНП) залежить від фракційного складу палива і, перш за все, наявності в його складі низькокиплячих фракцій з низькою температурою кипіння. З підвищенням температури ТНП збільшується. Чим вище ТНП бензинів, тим більша їх схильність до випаровування і втрат під час зберігання, вища вірогідність утворення парових пробок під час роботи двигуна, але кращі пускові властивості; за ТНП менше 34 кПа запуск двигуна неможливий. У літніх бензинів ТНП не повинен бути більший 66,7 кПа, а в зимових – 66,7–93,3 кПа. ТНП дизельних палив становить близько 25 кПа за температури 40°C.
Октанове число	Показник, що вказує детонаційну стійкість бензину в одиницях еталонної шкали. ОЧ дорівнює вмісту (% об.) ізооктану в його суміші з <i>n</i> -гептаном, що за детонаційною стійкістю еквівалентна паливу, що випробовується на одноциліндровому двигуні зі змінним ступенем стиснення у стандартних умовах на збідненій робочій суміші. ОЧ бензинів визначають за моторним і дослідницьким методами на установці з двигуном типу CFR F1/F2 (ДСТУ 8736, ДСТУ 8737; ДСТУ ENISO 5163, ДСТУ ENISO 5164). Умови випробувань за моторним методом більш жорсткі, ніж за дослідницьким. Основним елементом цих установок є стандартний одноциліндровий двигун з перемінним	Показник горючості бензинів, що характеризує їх здатність згорати в двигунах без детонації (міра детонаційної стійкості бензинів). Залежить від їх вуглеводного і фракційного складу, а також наявності антидетонаційних присадок. У загальному випадку детонаційна стійкість вуглеводнів зростає у ряді: <i>n</i> -парафінові – нафтенові – ненасичені – ароматичні. Залежно від технології нафтопереробки окремі фракції мають різну детонаційну стійкість. Найбільшу чутливість (10–12 од.) мають бензини каталітичного реформування жорсткого режиму, що містять велику кількість ароматичних вуглеводнів, середню

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Октанове число (продовж.)	ступенем стиснення. Різниця в ОЧ бензину, визначених двома методами, називається <i>чутливістю</i> бензину. Чисельно дорівнює вмісту ізооктану (у %) в еталонній суміші з гептаном, що за детонаційною стійкістю в умовах стандартного одноциліндрового двигуна еквівалентна бензину, що випробовується. Такі індивідуальні вуглеводні, як ізооктан (2,2,4-триметилпентан, C_8H_{18}) і н-гептан (C_7H_{16}), є еталонними паливами. Детонаційна стійкість ізооктану умовно прийнята за 100 од., а н-гептану – за 0. Визначення ОЧ зводиться до підбору суміші еталонних вуглеводнів, що при даному ступені стиснення стандартного двигуна згорають з такою ж інтенсивністю детонації, як і випробовуваний бензин. Наприклад, якщо ОЧ бензину 90, то це означає, що паливо детонує так само, як суміш 90 % ізооктану і 10 % гептану.	(4–7 од.) – бензини термічного крекінгу і коксування, найменшу ($\pm 1-2$ од.) – бензини прямої перегонки, що містять значну кількість парафінових вуглеводнів. Для досягнення необхідних значень ОЧ і чутливості автомобільних бензинів їх одержують змішуванням різних фракцій, компонентів і спеціальних присадок. Для бездетонаційної роботи необхідне дотримання співвідношення між ступенем стиснення двигуна і ОЧ бензину. Детонаційна стійкість бензину є головним критерієм, що визначає можливість ефективного використання того чи іншого бензину в двигуні з певним ступенем стиснення. Стійкість вуглеводнів, що входять до складу бензинів, до хімічних змін у паровій фазі у камері згорання двигуна називають детонаційною стійкістю. Сам процес детонації являє собою складний хімічно-тепловий процес дуже швидкого завершення згорання в результаті самозапалювання частини робочої суміші й утворення ударних хвиль, що поширюються з надзвичайною швидкістю 2000–2500 м/с, тобто у 100 разів швидше, ніж нормальне згорання, а температура згорілої суміші може досягати 2800–3200 °С. Зовнішні ознаки детонації: поява дзвінких металевих звуків у циліндрах двигуна в результаті багаторазового відбивання ударних хвиль від стінки камери згорання, зниження потужності і перегрів двигуна, викид з

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Октанове число (продовж.)		вихлопної системи чорного диму. Процес виникнення і протікання детонаційного згорання до кінця не вивчений. На сьогодні існує кілька теорій. Найбільш повно механізм виникнення детонації пояснює пероксидна теорія, розроблена О.М. Бахом, Н.Л. Календером і М.М. Семеновим. Згідно цієї теорії, під час окиснення вуглеводнів первинними продуктами є переоксиди типу: $R-O-O-R$ (діалкіл пероксиди) та $R-O-O-H$ (гідропероксиди). Реакція утворення пероксидів протікає за ланцюговим механізмом. До експлуатаційних характеристик двигуна, що погіршуються при детонаційному згоранні палива відносять: перегрів двигуна; зменшення потужності двигуна; збільшення витрати палива; поява чорного диму. Причиною перегрівання двигуна є не абсолютне підвищення температури газів у камері згорання під час детонаційного згорання, а різке підвищення коефіцієнта теплопередачі від газів до стінок циліндра, чому сприяють високі температури у фронті ударної хвилі і збільшення швидкостей руху потоків гарячих газів. Зменшення повноти згорання палива і поява чорного диму (вихлопу) зумовлені тим, що ударна хвиля, проходячи камерою згорання, перемішує незгорілу частину робочої суміші з продуктами згорання, створюючи тим самим нестачу кисню. А великі швидкості згорання ведуть до того, що не встигає повністю згоріти вуглець і деякі проміжні продукти згорання, що утворилися при

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Октанове число (продовж.)		глибокому розщепленні молекул вуглеводнів. Зменшення повноти згорання палива і перегрів двигуна, та пов'язані з ним великі теплові втрати через стінки циліндра, є причиною зменшення коефіцієнта використання теплової енергії палива і, як наслідок, призводять до зменшення потужності двигуна та збільшення витрати палива. Детонаційне згорання палива дуже негативно позначається також на надійності та довговічності роботи двигуна, бо такий режим згорання є причиною цілої низки поломок: вихід з ладу поршневих пальців; поломка або вигинання шатунів; викривлення вкладишів шатунних і корінних підшипників; розтріскування ізоляції і вигорання контактів свічок запалювання; прогорання днищ поршнів; підгорання робочих фасок випускних клапанів та їх сидел; прогорання прокладок між головкою і блоком циліндрів; пригорання поршневих кілець та їх підвищене зношування. Причиною усіх цих серйозних поломок є ударні навантаження на кривошипно-шатунний механізм і високі термічні навантаження на деталі камери згорання, що зумовлені високими тисками і температурами у фронті ударної хімії, що виникає під час детонаційного згорання.
Дизельний індекс	Показник, що побічно характеризує ЦЧ і випаровуваність дизельних палив. Визначається по формулі: $DI = A \cdot \rho / 100$, де: A – анілінова точка в $^{\circ}F$; ρ густина в градусах API	Приблизна залежність між дизельним індексом і ЦЧ: DI: 20 30 40 50 62 70 80 ЦЧ: 30 35 40 45 55 60 80

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Зольність	Показник, що вказує на наявність в паливі речовин, що не згорають. Визначення (ДСТУ EN ISO 6245) полягає у спалюванні палива, що аналізується прожарюванні твердого залишку до постійної маси. Вимірюється в % мас.	Показник схильності до утворення відкладень за високих температур. Висока зольність сприяє нагароутворенню та підвищенню абразивності палив і продуктів їх згорання. Показник регламентується в дизельних паливах
Індукційний період	Показник, що вказує на період часу, протягом якого нафтопродукт в умовах окиснення зберігає задані властивості. Визначення (ДСТУ 7685, або EN ISO 7536, або ASTM D525, або ASTM D873) полягає в оцінці часу, протягом якого бензин, що знаходиться в лабораторній бомбі в середовищі кисню під тиском 700 кПа і за температури 100°C, практично не піддається окисненню. Вимірюється в хвиликах.	Показник хімічної стабільності бензинів; характеризує схильність бензинів до окиснення і смолоутворення під час тривалого зберігання. Окиснення відбувається під час перекачування, транспортування та тривалого зберігання. При цьому змінюється його колір, з'являється різкий запах, відбуваються конденсація і полімеризація ненасичених сполук, утворення кислих продуктів і смолистих речовин, що під час роботи двигунів може викликати появу відкладень на деталях, збільшення нагароутворення в камерах згорання, детонацію, залипання кілець і корозію деталей. На окиснюваність бензинів впливають їх хімічний склад, температура, контакт з повітрям під час зберігання, світло, волога та ін. Задані значення індукційного періоду бензинів досягаються підбором їх компонентного складу і застосуванням антиокиснювальних присадок.
Індекс випаровуваності (індекс парової пробки)	Розраховується (EN 228) за формулою: $IB = 10 TH + 7V_{70},$ де: ТНП – тиск насиченої пари, кПа; V_{70} – об'єм бензину, що випарувався, за температури 70°C, %	Показник випаровуваності бензинів характеризує їх схильність до утворення парових пробок. Слугує основним критерієм під час оцінки класу випаровуваності та визначенні кліматичних умов використання бензинів.

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Випробування на мідній пластинці	Показник, що вказує на корозійність палив. Визначення (ДСТУ EN ISO 2160, ASTM D 130) полягає у витримванні мідної пластинки у паливі за підвищених температур (для бензинів зазвичай за $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$) і фіксування зміни її зовнішнього вигляду, що характеризує інтенсивність корозійної дії палива.	Показник сумісності палив з матеріалами, що характеризує їх здатність не викликати корозію деталей паливних систем двигуна, виготовлених із сплавів міді (бронза латунь та ін.). На корозійну агресивність бензинів і дизельних палив найбільший вплив має наявність у них активних сполук сірки (вільна сірка, сірководень, меркаптани та ін.), водорозчинних неорганічних кислот, органічних кисневмісних сполук кислотного характеру і води.
Йодне число	Показник, що вказує наявність ненасичених вуглеводнів в паливах. Визначення (ASTM D 5768) полягає в обробленні нафтопродукту спиртовим розчином йоду і відтитруванні вільного йоду розчином тіосульфату натрію. Вимірюється числом грамів йоду, що приєднався до 100 г нафтопродукту.	Показник схильності до утворення відкладень. У дизельних паливах ненасичені вуглеводні мають підвищену схильність до окиснення, сприяють утворенню смолистих речовин і нагару під час роботи двигуна, що є причиною зниження потужності двигуна, підвищення корозії і зносу деталей двигуна.
Кислотність	Показник, що вказує на наявність в паливах органічних кислот і інших кислих продуктів. Визначення (ASTM D3242) проводиться видаленням з випробовуваного палива киплячим спиртом органічних кислот і титрування розчином їдкого калію у присутності індикатора. Вимірюється кількістю мг КОН, що витрачається на нейтралізацію 100 мл палива.	Показник протизносних властивостей, що характеризує наявність в паливі продуктів, що провокують збільшення корозії та інтенсивності зношування пар тертя двигуна й системи подавання палива, а також корозію резервуарів трубопроводів і арматури в процесі транспортування та зберігання палив. На кислотність палив істотно впливає наявність органічних кислот, що залишаються після переробки нафти та які нагромаджуються під час тривалого зберігання.
Коксівність	Показник, що вказує схильність палива утворювати коксові відкладення при згоранні. Визначення по Конрадсону (ISO 6615, альтернативно за EN ISO 10370)	Показник схильності до утворення відкладень (високотемпературних) на деталях під час згорання палив у двигуні. Залежить від вмісту в складі палива смолистих

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Коксівність (<i>продовж.</i>)	полягає у спалюванні палива та визначенні маси коксівного залишку. Вимірюється в % мас.	сполук і його фракційного складу. Утворення високотемпературних відкладень призводить до зниження потужності двигуна та збільшенні зношування його деталей.
Концентрація свинцю	Показник, що вказує на наявність в бензинах сполук свинцю. Визначення (ДСТУ EN 237, ASTM D 5059, ДСТУ EN ISO 3675, ДСТУ ISO 12185, ASTM D1298, або ASTM D 4052) полягає в екстрагуванні сполук свинцю розчинами аміаку та сірчистоокислого натрію та спектрофотометричному визначенні свинцю у вигляді комплексу з 4-(2-піридил-азо-)-резорцинолом (ПАР) або сульфарсазеном (плюмбоном). Метод використовується для визначення концентрацій свинцю від 0,005 до 3,0 в г/дм ³ . Вимірюється в г/дм ³ .	Показник забруднення бензинів, що характеризує його безпеку. Наявність свинцю свідчить про те, що до складу бензину введений свинцевий антидетонатор (тетраетил свинець або аналоги). Бензини автомобільні, що мають концентрацію свинцю до 0,013 г/дм ³ – відносяться до неетильованих, вище – до етильованих. Свинцеві антидетонатори і продукти їх згорання отруйні.
Концентрація фактичних смол	Показник вказує на вміст продуктів окиснення, полімеризації і конденсації вуглеводневих і неуглеводневих сполук, що містяться в паливі і що утворюються під час його випаровування під струменем повітря або водяної пари в умовах випробування. Визначення показника (EN ISO 6246 або ASTM D 381): - в бензинах полягає в випаровуванні продукту за заданої температури і витрати повітря або водяної пари та визначенні маси залишку після екстрагування <i>n</i> -гептаном; - в дизельних паливах випаровуванням палива, що аналізується під струменем водяної пари в умовах дослідження. Вимірюється в мг на 100 мл палива.	Показник схильності палив до утворення низькотемпературних відкладень. Смоли, що утворюються в паливах, містять схильні до окиснення сполуки (ненасичені вуглеводні, кисень, азот і сірко-вмісні сполуки). На смолоутворення істотно впливають умови зберігання (температура, поверхня зіткнення з повітрям і з металами і ін.). Відкладення смолистих сполук в паливному баці, на деталях паливної апаратури, на клапанах, в камері згорання, на поверхнях поршня і поршневих кілець, а також картері двигуна порушують нормальну експлуатацію двигуна і можуть привести до його зупинки або аварії.

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Гранична температура фільтрування, коефіцієнт фільтрування	Гранична температура фільтрованості – це найвища температура, за якої цей об'єм палива не проходить через стандартний фільтр у встановлений час за стандартних умов охолодження. Показник, що вказує на наявність в дизельних паливах забруднень. Визначення (ДСТУ EN 14274, ДСТУ EN 116, EN 16329) полягає в оцінці зміни пропускнуої спроможності фільтру під час послідовного пропускання через нього певних кількостей палив. Розраховується як відношення часу фільтрування через паперовий фільтр за атмосферного тиску десятої порції фільтрованого палива до першої. Вимірюється в безрозмірних величинах. Визначення показника полягає в поступовому охолодженні палива з інтервалами в 1°C за секунду й стіканні його через дровову фільтраційну сітку за тиску 1961 Па (200 мм рт. ст.). Визначення виконують до температури, за якої кристали парафіну, виділеного з розчину на фільтр, викликають припинення або уповільнення протікання в такій мірі, що час наповнення піпетки перевищує 60 с, або паливо не стікає повністю назад у вимірювальну посудину. Вимірюється в °C.	Як показник <i>прокачуваності</i> характеризує ступінь чистоти дизельних палив. Змінюється в межах від 1,5 до 3,0. На фільтрацію палив впливає наявність в них механічних домішок, води, смолистих речовин, сіркоорганічних сполук, мил, нафтових кислот. Від ступеня чистоти палива залежить зносостійкість, надійність і ефективність роботи паливної апаратури. За температур палива нижче $T_{гр.ф.}$ або коли різниця температур помутніння (T_n) і $T_{гр.ф.}$ більше 10°C, у ньому накопичується значна кількість достатньо великих кристалів парафіну, що не проходять через осередки фільтрів й осідають на дно ємностей. Залежить від вуглеводневого й фракційного складу палива. Необхідну граничну температуру фільтрації палив забезпечують підбиранням фракційного складу палива й/або додаванням <i>депресорних додатків (присадок)</i>.
Масова частка меркаптанової сірки	Показник, що вказує на наявність в паливі меркаптанових сполук сірки. Суть зімічного методу полягає в потенціометричному титруванні палива азотнокислим аміаком срібла. Вміст меркаптанової сірки розраховується за об'ємом азотнокислого аміаку срібла, що витрачений на титрування палива, що не містить сірководню. Вимірюється в % мас.	Показник <i>сумісності з матеріалами</i>, що характеризує корозійність палива. Присутність меркаптанової сірки, що вища за допустиме значення, приводить до підвищення корозійної активності палива.

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Масова частка ароматичних вуглеводнів	Показник, вказує на наявність в паливах ароматичних сполук. Визначення показника: - за хімічним методом полягає в обробленні продукту 98,5%-ною сірчаною кислотою, що реагує з ненасиченими і ароматичними вуглеводнями; - для бензолу – ДСТУ EN 238 (метод інфрачервоної спектроскопії); - за ДСТУ 4019 полягає в хроматографічному розділенні вуглеводнів бензину на високополярній селективній нерухомій фазі, що забезпечує елюювання бензолу після насичених і олеїнових вуглеводнів і визначенні бензолу і сумарного вмісту ароматичних вуглеводнів (для бензолу – ДСТУ EN 12177). Вимірюється в % об.	Показник <i>горючості</i> палив. У складі бензинів ароматичні вуглеводні підвищують їх детонаційну стійкість. ОЧ ароматичних вуглеводнів залежать від їх будови: найбільшу детонаційну стійкість має бензол; при збільшенні бічного нерозгалуженого ланцюга детонаційна стійкість знижується, а розгалуження бічного ланцюга змінюється незначно; наявність двох або декількох CH_3-груп в молекулі підвищує, а при переході від <i>пара</i>- до <i>орто</i>-ізомеру також змінюється незначно. У дизельних паливах ароматичні вуглеводні знижують ЦЧ. Найнижчі ЦЧ мають вуглеводні, що не мають бічних ланцюгів; із збільшенням бічного парафінового ланцюга ЦЧ збільшується. Разом з тим ароматичні вуглеводні погіршують сумісність палив з гумовими і пластмасовими ущільненнями, збільшують нагароутворення і кількість бенз(а)перена в продуктах згорання.
Масова частка механічних домішок	Показник, що вказує на наявність в паливах твердих частинок забруднювача. Визначення (ASTMD 5452) полягає в розбавленні і фільтрації проби з подальшою оцінкою маси нерозчинного осаду. Вимірюється в % мас. Масова частка механічних домішок до 0,005 % включно оцінюється як їх відсутність.	Показник <i>прокачуваності</i>, що характеризує забрудненість дизельних палив частинками, що потрапляють в нього під час виробництва, транспортування або зберігання й знаходяться в зваженому етапі. Наявність механічних домішок приводить до засмічення фільтрів і виходу з ладу паливної апаратури транспортного засобу.

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Масова частка сірководню	Показник, що вказує на наявність в паливах сірководню. Визначення хімічним методом полягає в потенціометричному титруванні палива азотнокислим аміаком срібла. Вміст сірководневої сірки розраховується за різницею об'ємів азотнокислого аміакату срібла, який витрачений на титрування до і після видалення сірководню з палива. Вимірюється в % мас.	Показник <i>сумісності з матеріалами</i> , що характеризує корозійність палива. Присутність сірководню в паливах не допускається, так як це призводить до підвищення корозійної активності палива, утворення відкладень і нагароутворення.
Масова частка сірки	Показник, що вказує на наявність у паливах сірки (елементарної й сірковмісних сполук). При визначенні вмісту сірки (понад 0,01 %) у бензинах і дизельних паливах зазвичай використовується ламповий метод, сутність якого полягає в спалюванні палива в лампі в чистому вигляді або після розведення розчинником з наступним поглинанням утворених оксидів сірки розчином вуглекислого натрію й титруванням соляною кислотою. Останнім часом більшого поширення знайшли різновиди інструментального хроматографічного, рентгено-флуорисцентного методу та інших за ДСТУ EN ISO 14596, ДСТУ EN ISO 20884, ДСТУ ISO 20846, ДСТУ ISO 20847, EN ISO 13032, ASTM D4294. Вимірюється в % мас.	Показник <i>сумісності з матеріалами</i> , що характеризує корозійність палив. Сірка може бути присутньою у паливах в активній (елементарна сірка, меркаптани, сірководень) і неактивній (сульфіди, полісульфіди, сульфони, сульфоксиди й ін.) формах. Загальне збільшення вмісту сірки, вище допустимих (регламентованих НД) значень призводить до різкого зростання корозійної агресивності палив і продуктів їх згорання, а також збільшенню зношування деталей двигуна, утворенню відкладень, нагароутворенню й підвищенню токсичності викидів.
Докторська проба	Це якісний тест (Doctor Test for Petroleum Distillates) на наявність або відсутність сірководню або меркаптанів у складі бензину, реактивному, дизельному паливі, гасі та подібних паливах	Показник <i>сумісності з матеріалами</i> , що характеризує корозійність палива. Визначається за вимогами ASTM D 4952.

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Механічні домішки й вода	Показник, що вказує наявність у бензинах твердих часток забруднювача й води. Визначається візуально. Метод визначення регламентується НД на продукцію (наприклад, ДСТУ EN 12662).	Показник <i>прокачуваності</i> , що характеризує чистоту бензинів. Наявність механічних домішок і вільної води в бензинах не допускається тому що може бути причиною серйозних порушень у системах подачі палива у двигун, гідролітичного розкладання присадок, підвищеного нагароутворення й корозії деталей.
Густина	Маса одиниці об'єму. Визначається з використанням ареометрів, пікнометрів, вагів Мора-Вестфала або інших атоматизованих приладів. Істотно залежить від температури. Для приведення значень, отриманих за іншої температури вимірювання до стандартного (15 або 20°C) користуються спеціальними таблицями. Стандартизовані методики визначення за ДСТУ EN ISO 3675, ДСТУ ISO 12185, ASTM D1298, ASTM D4052. Вимірюється в кг/м ³ , г/см ³ , градусах API й ін.	Показник <i>горючості</i> , що характеризує питому енергоємність палив. Густина палив істотно впливає на процеси випаровування й сумішоутворення, а також на роботу паливної системи двигуна. Підвищення густини дизельних палив призводить до погіршення розпилення, збільшенню діаметра краплі й зменшенню повноти згорання робочої суміші, збільшенню питомої витрати палива й димності відпрацьованих газів. За використання палив підвищеної густини, а значить і в'язкості, збільшується опір паливної системи, зменшується наповнення насоса, що може призвести до перебоїв у роботі двигуна. А використання палива із заниженою густиною й в'язкістю без регулювання паливних апаратів може привести до прогару головок поршня, збільшенню витоків через щілини плунжерних пар. Може нормуватися за $t = 20^{\circ}\text{C}$ або 15°C .
Вміст водорозчинних кислот і лугів	Показник вказує наявність у паливах водорозчинних кислот і лугів (ВКЛ). Визначення показника полягає в добуванні з палив ВКЛ водою або водним розчином і визначенні рН водної витяжки або реакції середовища за допомогою індикаторів. Вміст ВКЛ відсутній, якщо рН витяжки перебуває в межах	Показник <i>сумісності з конструкційними матеріалами</i> , що характеризує корозійність палив. Присутність ВКЛ у паливах не допускається, тому що водорозчинні кислоти викликають корозію чорних і кольорових металів, а водорозчинні луги – корозію алюмінію.

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Вміст ВКЛ (продовж.)	від 5 до 9 або (при застосуванні індикаторів) за відсутності рожевого або червоного фарбування витяжки від фенолфталеїну або метилового оранжевого індикаторів.	
Вміст води	Показник, що вказує наявність у паливах води. Визначення показника (ДСТУ ISO 12937) полягає в нагріванні проби нафтопродукту з нерозчинним у воді розчинником і вимірі обсягу сконденсованої води. Вимірюється в % об. або % мас. Відсутність води у випробуваному паливі визначається станом, за якого в нижній частині приймача-пастки не видно крапель води. У сумнівних випадках відсутність води перевіряється нагріванням випробуваного палива в пробірці, поміщеної в масляну баню, до температури 150°C. При цьому відсутність води вважається випадок, коли не чути потріскування.	Показник <i>прокачуваності</i> , що характеризує чистоту палив. Вода в паливах перебуває в розчиненому й вільному станах. Незважаючи на незначну розчинність (тисячні частки %) розчинена в паливі вода вимерзає за низьких температур і виділяється у вигляді дрібних кристалів, що можуть забити фільтри й порушити роботу двигуна. Найбільшу небезпеку представляє вільна вода, що може потрапити в палива при транспортуванні й зберіганні. Вода погіршує прокачуваність палива, знижує теплоту згорання палива й викликає корозію деталей. Зневоднення бензинів здійснюються відстоюванням. Дизельні палива попередньо підігрівають до 50–60°C, а потім відстоюють.
Температура спалаху	Показник, що вказує мінімальну температуру горючої речовини, за якої в умовах випробування над його поверхнею утвориться суміш пари або газів з повітрям, здатна спалахувати в повітрі від джерела запалювання, але швидкість їх утворення ще недостатня для наступного горіння. Визначення проводиться в апаратах з відкритим або закритим тиглем. Вимірюється в °C або °F.	Показник <i>займистості</i> , що характеризує температуру запалення палив. Залежить від фракційного складу палива. Характеризує також їх пожежонебезпеку. Температура спалаху бензинів – у межах мінус 27–мінус 39. У НД на автомобільні бензини цей показник не регламентується. У дизельних і реактивних паливах значення температури спалаху регламентується залежно від області застосування палив.
Температура застигання	Показник, що вказує температуру (T_z), за якої нафтопродукт втрачає рухливість в умовах випробувань. Визначення показника (ДСТУ ISO 3013) полягає в попередньому	Показник прокачуваності, що характеризує низькотемпературну плинність дизельних палив і умови їх складського зберігання. Залежить від вуглеводневого й фракційного складу палива.

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Температура застигання (<i>продовж.</i>)	нагріванні зразка нафтопродукту з наступним охолодженням його із заданою швидкістю до температури, за якої зразок стає нерухомим. Вимірюється в °С.	Для забезпечення необхідної температури застигання зимові дизельні палива одержують додаванням фракцій, що мають, у порівнянні з використовуваними в літніх, більш низькі температури википання або додаванням <i>депресорних присадок</i> .
Температура помутніння	Показник (ДСТУ ISO 3013), що вказує температуру (T_n), за якої рідкий прозорий нафтопродукт починає мутніти в умовах випробування через виділення дисперсних кристалів твердих парафінів або (за наявності в паливі води) льоду. Вимірюється в °С бо °F.	Показник <i>прокачуваності</i> , що характеризує фільтрацію дизельних палив і визначає умови їх застосування у двигунах. Залежить від вуглеводневого й фракційного складу палива. Для забезпечення необхідної T_n зимові дизельні палива одержують додаванням фракцій, що мають більш низькі температури википання. Для більшості палив ($T_z - T_n$) становить (5–7) °С. Депресорні присадки, як правило, T_n не знижують.
Цетанове число (ЦЧ)	Показник, що чисельно дорівнює вмісту цетану (в % об.) у суміші з альфаметилнафталіном, за якого ця суміш по самозайманню еквівалентна паливу, випробуваному на одноциліндровому двигуні зі змінним ступенем стиснення в стандартних умовах. ЦЧ дизельних палив (ДСТУ ISO 5165, ASTM D 613, EN 15195, EN 16144) визначають на установках з двигуном.	Показник <i>горючості</i> , що характеризує спалахування дизельних палив під час роботи двигуна. ЦЧ дизельного палива залежить від його вуглеводневого, фракційного й компонентного складу. У загальному випадку ЦЧ вуглеводнів знижується в ряді: <i>n-парафінові – нафтенові – ненасичені – ароматичні</i> . Чим краще низькотемпературні властивості палива, тим нижче його ЦЧ. Сучасні дизельні палива мають ЦЧ від 40 до 50. Чим нижче ЦЧ, тим вище жорсткість роботи дизеля, витрата палива й димність відпрацьованих газів. Чим вище ЦЧ – тим нижче швидкість наростання тиску й менш жорстко працює двигун. Влітку можна допустити застосування палив із ЦЧ 40 і вище, а взимку – не менше 45. ЦЧ палива може бути підвищене додаванням відповідних додатків (присадок).

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Цетановий індекс (ЦІ)	Інформаційне значення цетанового числа, що обчислюється за емпіричними залежностями, виходячи зі значень показників фізичних властивостей дизельного палива. Сутність методу (ДСТУ ISO 4264, ASTM D 4737) полягає у визначенні густини дизельного палива за температури 15°C й середньої температури кипіння 50%-вої фракції дизельного палива. На основі отриманих даних визначають ЦІ за номограмою або за емпіричною формулою.	Показник використовується для дизельних палив, що не містять додатків (присадок), що підвищують ЦЧ, і призначений для визначення ЦІ не вище 60. Розрахунок ЦІ за рівнянням не замінює визначення ЦЧ на апаратурі, але є додатковим методом його визначення. Розрахунковий ЦІ рекомендується застосовувати для характеристики дистильованих фракцій дизельних палив і палив, отриманих на установках каталітичного крекінгу, а також для характеристики їх сумішей у тих випадках, коли немає апаратури для випробування або кількість зразка недостатня для проведення випробування на двигуні. Метод дає значні розбіжності при застосуванні його для визначення ЦІ нафти, залишкових продуктів і високолетючих продуктів з кінцем кипіння нижче 260°C, що можуть додаватися до складу дизельного палива.
Фракційний склад	Показник, що характеризує склад палив, визначає кількісний вміст фракцій, що википають у певних температурних межах, залишок і втрати під час перегонки. Визначення (EN ISO 3405, ASTM D86) полягає у перегонці 100 см³ палива, що аналізується. У бензинах визначаються температури, за яких починається кипіння ($t_{п.к.}$), переганяється 10% ($t_{10\%}$), 50% ($t_{50\%}$), 90% ($t_{90\%}$) палива, кінець кипіння, ($t_{к.к.}$), а також залишок після перегонки й втрати (% об.), а в дизельних паливах — $t_{50\%}$ та $t_{90\%}$.	Показник <i>випаровуваності</i> палив. Є одним з найважливіших показників палив, що впливають на експлуатаційні характеристики двигунів. Межі википання фракцій бензину регламентуються стандартами на продукцію: - чим нижче $t_{п.к.}$ й $t_{10\%}$, тим краще пускові властивості бензинів і прийомистість двигуна, але вище схильність до утворення парових пробок під час роботи двигуна або зледеніння карбюратора; граничну температуру запуску

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Фракційний склад (продовж.)	У деяких випадках оцінюється кількістю палива (в % об.), що переганяється за температур 70°C (V ₇₀ або E70), 100°C (V ₁₀₀ або E100).	двигуна ($t_{зап}$) можна визначити за емпіричною формулою: ($t_{зап} = t_{10\%}/2 - 50,5$); - чим нижче $t_{50\%}$, тим вище швидкість прогрівання двигуна і його прийомистість, але вище небезпека зледеніння карбюратора; - $t_{90\%}$ і $t_{к.к.}$ – характеризують повноту згорання бензинів і рівномірність розподілу робочої суміші по циліндрах двигуна. За $t_{к.к.}$ вище 220°C відбувається неповне згорання бензину, підвищується його витрата, а також збільшується зношування двигуна, знижуються його економічність і потужність. У дизельних паливах межі кипіння повинні перебувати в межах, регламентованих НД: полегшення фракційного складу може призвести до зниження ЦЧ й збільшенню жорсткості роботи двигуна, погіршення пускових властивостей, зростання зношування паливних апаратів і збільшення витоків палива; - надмірно важкий фракційний склад може призвести до погіршення сумішоутворення й пускових характеристик, підвищенню нагароутворення й закоксованості форсунок, збільшення димності й підвищеного зношування деталей двигуна; - $t_{90\%}$ літніх палив змінюється в межах 260–280°C, зимових – 249–260°C, УФС – до 290 °C. Двигуни з безпосереднім впорскуванням більш, а з передкамерним впорскуванням менш чутливі до фракційного складу палива.

Найменування показника	Суть показника, методи визначення	Зв'язок з експлуатаційними показниками двигуна
Температура самозаймання	Показник, що характеризує температуру загорання парипалива безконтакту з полум'ям в умовах випробування. Визначення показника (ДСТУ 8829) полягає у додаванні певної маси речовини в нагрітий об'єм і оцінюванні результатів випробувань. Змінюючи температуру випробування, знаходять її мінімальне значення, за якого відбувається самозаймання палива. Вимірюється в °C бо °F.	Показник <i>займистості</i> палив, що характеризує здатність запалення робочої суміші палива з повітрям під час стиснення в циліндрі двигуна, а також пожежонебезпечність палив.
Колір	Визначається візуально або за допомогою стандартного колориметра. Колір нафтопродукту за шкалою порівнянь визначається на колориметрі (типу ЦНТ або ін.) порівнянням кольорів нафтопродукту або його умовних одиниць від 0,5 до 8. За ASTM D 1500 вимірюється в одиницях NPA. Перерахунок кольорів одиниць ЦНТ в одиниці NPA виконується за номограмами.	Показник <i>прокачуваності</i> палив, що характеризує їх чистоту. Неетильовані бензини повинні бути чистими й прозорими. Помутніння може бути викликано наявністю механічних домішок і води. Зміна кольорів під час зберігання бензину від жовтого до світло-коричневого свідчить про його осмолення. Етильовані бензини повинні зафарбовуватись відповідно до вимог НД. У дизельних паливах колір характеризує наявність важких фракцій або присутність негідроочищених дистилатних фракцій вторинних процесів, що негативно впливають на стабільність палив. Дизельні палива повинні бути прозорими й можуть мати колір від світло жовтого до світло коричневого. Помутніння може свідчити про наявність води, механічних домішок, а також кристалів льоду або парафінів. Збільшення інтенсивності кольору під час зберігання свідчить про підвищення вмісту фактичних смол.

Додаток 9. Стандартна практика оцінки нових авіаційних турбінних палив та паливних додатків за вимогами стандарту ASTM D 4054-22

Таблиця 9.1

Типові вимоги до об'єму палива для оцінки нового палива або нової паливної добавки

ПРИМІТКА 1 – Вказані об'єми палива стосуються одного тестового палива. У більшості випадків, окрім нової паливної суміші, нової готової паливної суміші або суміші паливних додатків, що оцінюються, знадобиться базове паливо рівного об'єму.

Рівень	Опис тестування рівня	Об'єм палива, галони США (літри)	Примітки
1	Властивості специфікації палива	10(37,8л)	
2	Придатні для використання властивості	80(320,8л)	
3	Випробування компонентів та установок	від 250до10000(946,3л до37854.1л)	Об'єм палива залежить від типу компонента
4	Випробування двигуна	від 450до225000(1703до851718л)	Об'єм палива залежить від типу двигуна та від того, чи це випробування на продуктивність, чи на витривалість

Таблиця 9.2

Властивості, що відповідають призначенню

Найменування властивості	Метод випробування ^A	Одиниці	Min	Max	Примітки
ХІМІЯ					
Типи вуглеводнів	ASTM D2425	мас. %	Повідомляється		Визначає нормальні та ізопарафіни, циклопарафіни, моноароматичні сполуки, індани, індани, тетраліни, нафталіни, аценафтени, аценафталіни, трициклічні ароматичні сполуки.

Продовж. Таблиці 9.2

Найменування властивості	Метод випробування А	Одиниці	Min	Max	Примітки
Ароматичні речовини	ASTM D1319 або ASTM D6379	об'ємні %	8 8.4	25 26.5	
Водень	ASTM D5291, D3701, або D7171	мас. %	Повідомляється		
Сліди матеріалів					
Органічні продукти					
Карбоніли	ASTM E411	мкг/г (частин на мільйон за масою)	Повідомляється		Жодних обмежень не встановлено.
Спирти	Метод EPA 8015	мас % або мг/л (ppm – частин на мільйон)	Повідомляється		
Естери	Метод EPA 8260	мг/л (ppm – частин на мільйон)	Повідомляється		
Феноли	МетодEPA 8270	мг/л (ppm – частин на мільйон)	Повідомляється		
Неорганічні речовини: N	ASTM D4629	мг/кг (частин на мільйон за масою)	Повідомляється		
Мікроелементи					
Cu	ASTM D6732	мкг/кг (частин на мільярд за масою)		< 20	

Продовж. Таблиці 9.2

Найменування властивості	Метод випробування А	Одиниці	Min	Max	Примітки
		масою)			
Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg,Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Si, Sn, Sr, Ti, V, Zn	ASTM D7111 або UOP 389	мг/кг (частин на мільйон за масою)	Повідомляється		
ФІЗИЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ В ОБ'ЄМІ					
Розподіл точки кипіння	ASTM D86	°C			На основі опитування CRC World Survey та дослідження інформаційної системи Агентства логістики з питань енергетики та якості нафти (Defense Logistics Agency Energy Petroleum Quality Information System).
Початкова температура кипіння		°C	Повідомляється		
10% (T10)		°C	150	205	
20%		°C	Повідомляється	Повідомляється	
30%		°C	Повідомляється	Повідомляється	Мінімальні та максимальні значення базуються на даних Всесвітнього опитування Координаційної дослідницької ради (Coordinating Research Council World Survey) та опитування Інформаційної системи якості енергетики та нафти Агентства оборонної логістики (Defense Logistics Agency Energy Petroleum Quality Information System).
40%		°C	Повідомляється	Повідомляється	
50% (T50)		°C	165	229	
60%		°C	Повідомляється	Повідомляється	
70%		°C	Повідомляється	Повідомляється	

Продовж. Таблиці 9.2

Найменування властивості	Метод випробування ^A	Одиниці	Min	Max	Примітки
80%		°C	Повідомляється	Повідомляється	Мінімальні та максимальні значення базуються на даних Всесвітнього опитування Координаційної дослідницької ради (Coordinating Research Council World Survey) та опитування Інформаційної системи якості енергетики та нафти Агентства оборонної логістики (Defense Logistics Agency Energy Petroleum Quality Information System).
90% (T90)		°C	190	262	
Кінцева точка кипіння		°C		300	
T50 - T10		°C	15	—	
T90 - T10		°C	40	—	
Імітація дистиляції	ASTM D2887		Повідомляється повний діапазон		
Термічна стабільність, поріг стабільності за JFTOT	ASTM D3241, Додаток X2	°C	див. коментар		Додатки не можуть погіршити поріг стабільності.
Товщина відкладення в точці розриву	ASTM D 3241, Додаток A3 (Еліпсометр) або ASTM D3241, Додаток A2 (Інтерферометр)	нм	Повідомляється		
Змащувальність	ASTM D 5001	мм WSD (діаметр сліду зношування)		0.85	Базується на вимогах DEF STAN 91-01
Реакція на інгібітор корозії/присадку для поліпшення змащувальних властивостей	ASTM D 5001	мм WSD (діаметр сліду зношування)	Відповідність ^B		Див. рис. A1.2 стандарту D4054–22 для типової відповіді
В'язкість та температура	ASTM D445 або D7042	мм ² /с	Відповідність ^B		Побудуйте графік в'язкості за температури мінус 40°C (або температури замерзання плюс 5°C, залежно від того, що вище), мінус 20°C, 25°C та 40°C. Типові значення див. на рис. A1.1 стандарту ASTM D 4054.

Продовж. таблиці 9.2

Найменування властивості	Метод випробування ^A	Одиниці	Min	Max	Примітки
Питома теплоємність та температура	ASTM E1269	кДж/кг/К	Відповідність ^B		Див. рис. A1.3 стандарту ASTM D 4054 для діапазонів температур, типових значень та коливань температури. Питома теплоємність на додекановому стандарті повинна бути виконана та надана разом зі значенням палива.
Густина та температура	ASTM D4052	кг/м ³	Відповідність ^B		Густина графіка за $t = \text{мінус } 20^{\circ}\text{C}, 20^{\circ}\text{C} \text{ та } 6^{\circ}\text{C}$. Типові значення див. на рис. A1.4 стандарту ASTM D4054.
Поверхневий натяг та температура	ASTM D1331	мН/м	Відповідність ^B		Див. рис. A1.5 стандарту ASTM D4054 для мінімальних значень та типових варіацій.
Ізентропний модуль об'ємної пружності в залежності від температури та тиску	ASTM D6793	МПа	690 МПа (100 000 фунтів на квадратний дюйм)		Межі невідомі; див. рис. A1.6 стандарту ASTM D4054 для типових значень та варіацій.
Теплопровідність та температура	ASTM D2717	Вт/м/К	Відповідність ^B		Межі невідомі; типові значення та варіації див. на рис. A1.7 стандарту ASTM D4054.
Розчинність у воді в залежності від температури	ASTM D6304	мг/кг	Відповідність ^B		Див. CRC Handbook of Aviation Fuel Properties (Довідник CRC щодо властивостей авіаційного палива) для отримання типових значень.
Розчинність у повітрі (кисень/азот)	Коефіцієнт Оствальда та Бунзена (мм ³ газу/мм ³ палива)		Відповідність ^B		Типові значення див. на рис. A1.9 стандарту ASTM D4054. Досвід виробників оригінального обладнання (ОЕМ) базується на розчинності в повітрі TS-1 та JP-5, що є найменш цільними та найбільш леткими, на які наразі розраховані двигуни.
Залежність істинного тиску пари від температури	ASTM D6378	кПа або фунт/кв дюйм	Повідомляються -28, 12, 25, 38, 78 та 200 °C		Див. рис. A1.10 стандарту ASTM D4054 для типових істинних тисків пари для різних типів реактивного палива.
Температура спалаху	ASTM D56, D3828, D93	°C		68	

Найменування властивості	Метод випробування ^A	Одиниці	Min		Max
Методи визначення точки замерзання – реакція на ручний та автоматичний фазовий перехід	ASTM D2386 та D5972	°C	Відповідність ^B		
ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ					
Діелектрична проникність та густина	ASTM D924	N/A (не визначено)	Відповідність ^B		Типові значення див. на рис. A1.8 стандарту ASTM D4054
Реакція провідності	ASTM D2624	пСм/м	Відповідність ^B		Див. рис. A1.9 стандарту ASTM D4054 для типової реакції.
НАЗЕМНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ВЛАСТИВОСТІ ТА БЕЗПЕКА					
Вплив на фільтрацію глини	ASTM D3948	MSEP No.	див. Коментар		Немає впливу порівняно з Jet A
Фільтрація – коалесцентні фільтри та	API/EI 1581	ppm за	див. Коментар		Немає впливу порівняно з Jet A
Монітори (водяні запобіжники)		об'ємом (частин на мільйон за			
Стабільність при зберіганні					
Пероксиди	ASTM D3703	мг/кг (частин на мільйон за масою)	–	8.0	Зберігати протягом 6 тижнів за $t = 65^{\circ}\text{C}$.
Потенційна наявність смол	ASTM D5304	мг/100 мл	–	7.0	Зберігати протягом 16 годин за $t = 100^{\circ}\text{C}$.
Токсичність	Огляд паспорту безпеки продукції (MSDS – Material Safety Data Sheet)				
Межі займистості	ASTM E681	°C	див. коментар		Немає впливу порівняно з Jet A
Температура самозаймання	ASTM E659	°C	див. коментар		Немає впливу порівняно з Jet A

Закінчення таблиці 9.2

Найменування властивості	Метод випробування A	Одиниці	Min	Max	Властивість палива
Температура займання гарячої поверхні	FED-STD-791, Метод 6053 або ISO 20823	°C	див. коментар		Немає впливу порівняно з Jet A
СУМІСНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ (лише для нових додатків)					
Сумісність з іншими затвердженими Додатками	ASTM D4054, Додаток A2	N/A (не визначено)	див. коментар		Антиоксидант, інгібітор корозії/добавка для поліпшення змащувальних властивостей, Інгібітор обмерзання паливної системи, додаток для розсіювання статичної електрики Відсутність видимого розділення, помутніння, твердих частинок або потемніння кольору.
Ефективність нової присадки	ASTM D4054, Додаток A2	N/A (не визначено)			
СУМІСНІСТЬ ПОПЕРЕДНІХ МАТЕРІАЛІВ					
З вибраними еластомерами для ущільнювальних кілець		N/A (не визначено)	див. 6.4.3 ²⁴		Нітрилові, фторсиліконові та фторвуглецеві (вітонові) еластомери

^A Еквівалентні методи IP є прийнятними.

^B Відповідність = відповідає типовій реакції або значенням, отриманим з досвіду виробників двигунів/планера. Див. коментар.

²⁴ 6.4.3 Попередня сумісність нового палива та присадок з матеріалами паливної системи – попередня оцінка сумісності включає три типи еластомерів ущільнювальних кілець, як зазначено в Додатку A3: (1) Нітрil (N0602-70), Специфікація SAE AMS-P-5315, від мінус 70 °F до 180 °F, чорний; (2) Фторсилікон (L1120-70), Специфікація SAE AMS-R-25988, TY I, CL I, GR 70, сертифікований UL, від мінус 100 °F до 350 °F, синій; (3) Фторвуглець (Вітон) (V1226-75), Специфікація SAE AMS-7276, сертифікований UL, від мінус 15 °F до 400 °F, коричневий. Зразки, що пройшли старіння, та зразки, що не пройшли старіння, слід замочувати протягом семи днів у темряві за кімнатної температури, а потім перевіряти на твердість за Шором M (D2240), зміну об'єму (D1414/D471) та міцність на розтяг (D1414/D412).

6.4.3.1 Концентрація добавки для попередніх випробувань на сумісність матеріалів повинна бути в 4 рази більшою за концентрацію, що вимагається для кваліфікації. Температура випробувань має бути найвищою температурою, якій піддаються матеріали під час їх конкретного застосування в паливній системі літака або двигуна. Температура випробувань для кожного матеріалу наведена в таблицях A3.2 та A3.3 у додатку A3 стандарту ASTM D4054 разом зі стандартною процедурою випробувань та критеріями проходження/непроходження випробувань.