

УДК 665.753 (045)

МЕТОДИЧНО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ

С. В. Бойченко, д-р техн. наук, проф.; ¹**О. В. Безпальчук**

Національний авіаційний університет

І. О. Шкільнюк

Випробувальний центр продукції «УЦАХ СЕПРО»

¹olja_0809@ukr.net

Виконано дослідження здатності авіаційних палив до біоураження, проаналізовано механізм деструкції вуглеводнів авіаційних палив та наслідків цього процесу. Схарактеризовано методи визначення наявності біологічної фази авіаційних палив. Вивчено ефективність основних методів забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив. Визначено методично-організаційні засади забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив.

Ключові слова: біодеструкція, авіаційні палива, вуглеводні, алкани, алкени, ароматичні вуглеводні.

The research capacity of aviation fuels to biological damage. The mechanism of degradation of hydrocarbon aviation fuels and the consequences of this process. The methods of determining the presence of biological phases of aviation fuels. The efficiency of the basic methods of biological stability of aviation fuels. Methodical and organizational principles of biological stability of aviation fuels.

Keywords: biodegradation, aviation fuel, hydrocarbons, alkanes, alkenes, aromatic hydrocarbons.

Вступ

Властивість мікроорганізмів засвоювати вуглеводні твердих, рідких та газоподібних нафтопродуктів була відома ще на початку ХХ ст. Це явище стало причиною виникнення суттєвих проблем у сфері нафтодобування, нафтоперероблення і нафтохімії, а особливо під час експлуатації нафтопродуктів [1–6].

З одного боку, зміна властивостей нафти і нафтопродуктів під дією мікроорганізмів знаходить застосування для спеціальних цілей (очищення стічних вод нафтопереробних підприємств, очищення територій і акваторій від забруднення нафтопродуктами). З іншого боку, діяльність мікроорганізмів призводить до деструкції нафтопродуктів і до ушкодження матеріалів і конструкцій, що контактують з ними. Тому захист паливно-мастильних матеріалів від мікробіологічного забруднення є дуже важливою проблемою.

У сфері авіапаливозабезпечення розвиток мікроорганізмів у паливах призводить до погіршення фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей останніх унаслідок зміни їх вуглеводневого складу, накопичення мікробного слизу та осаду, утворення стійких емульсій.

Забивання фільтрів і трубопроводів паливної системи літака мікробною масою призводить до авіаційних інцидентів та аварій [1–6].

Постановка завдання

Мета — створення методологічно-організаційних засад забезпечення мікробіологічної стабільності авіаційних палив.

Об'єкт дослідження — біоураження авіаційних палив та механізм деструкції вуглеводнів.

Предмет дослідження — методи визначення наявності мікробіологічного забруднення у складі авіаційних палив і методів забезпечення їх біологічної стабільності.

Виходячи з актуальності даної проблеми, виділено такі завдання:

1. Дослідження здатності авіаційних палив до біоураження.

2. Дослідження механізму деструкції вуглеводнів авіаційних палив та наслідків цього процесу.

3. Дослідження методів визначення наявності біологічного забруднення авіаційних палив.

4. Дослідження та аналіз ефективності основних методів забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив.

Розв'язання завдання

Активне вивчення питань, пов'язаних з розвитком мікроорганізмів у складі нафтових палив, почалось у США в період створення реактивної авіації. В Україні вирішення цього питання здебільшого зводилось до визначення біостійкості

палив у лабораторних умовах. Цілеспрямованих досліджень біостійкості палив в експлуатаційних умовах практично не проводилось.

Дотепер не існувало загальноприйнятих методів оцінювання біоураження палив. Для цих цілей використовували відомі мікробіологічні методи, за допомогою яких визначали наявність мікроорганізмів у паливах, їх кількісний вміст і видовий склад [3].

За відсутності правильної технологічної дисципліни наявність біодеструкторів палива спостерігається на дні резервуарів для зберігання авіаційних палив, у баках літаків, у відкладеннях на фільтрах [3].

Авіаційні палива зазнають біоушкоджень під час зберігання, транспортування та експлуатації. Особливо нестійкі до біоушкоджень палива, що споживаються реактивною авіацією [1; 4].

Суттєвими факторами, що сприяють активному розвитку мікроорганізмів, є рН середовища, наявність ряду елементів (вуглецю, фосфору, калію, азоту, сірки, заліза), сонячної енергії. Важливою також є і температура оточуючого середовища, оскільки клітини мікроорганізмів активно розмножуються за температури 25–35 °С, хоча можуть рости і за температури 5–45 °С. Доведено, що спори багатьох видів мікроорганізмів залишаються життєздатними протягом декількох годин за температури мінус 40 °С [5].

Також необхідною умовою для розвитку мікроорганізмів є наявність води та поживних речовин у паливі [4]. У зневодненому паливі зростання та розвиток мікроорганізмів припиняється. Однак у реальних умовах експлуатації і зберігання палив неможливо повністю звільнитись від вологи, а присутність у них 0,01–0,02 % води і навіть її слідів за відповідної температури достатньо для того, щоб почався ріст мікроорганізмів. Сьогодні відомо [6] кілька джерел потрапляння цієї води:

- атмосферна конденсація вологи з повітря;
- дощ або сніг можуть потрапити в резервуар через отвори для відбору проб, вентиляційні клапани або нещільно прилеглі ущільнення кришки;
- перевезення або зберігання в танкерах і на бортах може викликати проникнення баластних вод;
- вода з усіх перелічених джерел накопичується на дні резервуара, утворюючи водяний шар.

Мікроорганізми можуть потрапляти до палива через повітря або з водою. Отже, при утворенні водяного шару в ньому розвиваються колонії мікроорганізмів. Для багатьох видів присутніх мікроорганізмів рідке вуглеводневе паливо є хорощим джерелом поживних речовин. У результаті

утворюється популяційний «вибух»: мікроорганізми поширюються на поверхні поділу палива і води, починають жити у водяній фазі, продовжуючи харчуватись паливом [7].

На сьогодні відомо 200 видів мікроорганізмів, що включають 30 родів, здатних використовувати вуглеводні як єдине джерело вуглецю та енергії. До них належать бактерії, дріжджі та гриби. Найбільш повно питання руйнування вуглеводнів мікроорганізмами відображені в працях [1–6].

Основними мікроорганізмами, що викликають біоураження палив, є бактерії родів *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, гриби родів *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* та ін., при цьому в авіаційних паливах частіше, ніж в інших нафтопродуктах знаходять бактерію *Ps.aeruginosa* і гриб *Cladosporium Resinae* («керосиновий гриб») [1; 5]. Останні дослідження виявили ще два активні біодеструктори авіаційних палив *Hormoconis resinae* та *Monascus floridanbs* [7].

Мікробіологічне забруднення, наприклад, *Cladosporium Resinae* складається з волокон, що досягають значної довжини і формують заплутаний шар. Гриби розмножуються спорами, що можуть знаходитись у пасивному стані достатньо довго, очікуючи сприятливих умов для зростання. Тому паливо буває часто забрудненим мікроскопічними грибами під час транспортування, зберігання, підготовки до видачі, а також у паливних баках літака. У зв'язку з цим спори можуть залишатись непоміченими протягом значного періоду часу. Тільки у випадку виникнення умов, що сприяють їх розвитку, спори проростають, гриби розмножуються і, внаслідок цього, забруднюється паливо [8].

Доведено, що біоушкодження палива пов'язане з мікробіологічним ферментативним окисненням вуглеводнів з утворенням органічних кислот, що мають поверхнево-активні властивості [8]. Швидкість і глибина мікробіологічного окиснення авіаційного палива залежать від їх вуглеводневого складу. Вуглеводні, що мають лінійну будову молекул, швидше руйнуються, ніж їх розгалужені ізомери. Аліфатичні вуглеводні (парафіни) частіше менш біостійкі, ніж ароматичні. Тому і палива, що містять в основному парафінові вуглеводні, можуть руйнуватись мікроорганізмами швидше, аніж ті, що містять більшу кількість ароматичних сполук [8].

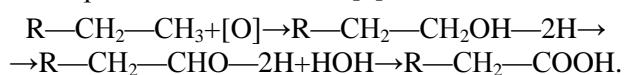
Процеси мікробіологічного окиснення вуглеводнів дуже складні, тому що на процеси біогенного окиснення здійснюють вплив багато факторів: волога, кислотність середовища (Ph), температура, осмотичний тиск і т. д. Крім перерахованих факторів мають значення і фізіологічні особ-

ливості самих мікроорганізмів, які проявляються при окисненні індивідуальних вуглеводнів і їх сумішей [7; 8].

Мікроорганізми володіють властивістю вибіркового відношення до різноманітних вуглеводнів, причому ця здатність визначається не тільки відмінністю в структурі речовини, але навіть і кількістю вуглеводневих атомів, які входять в їх структуру.

Гідрофобність вуглеводневої молекули має велике значення для хімізму мікробіологічного окиснення цих сполук, їх транспорту в мікробну клітину, динаміки розмноження біодеструкторів та їх фізіології.

Першими стабільними продуктами окиснення вуглеводнів є первинні спирти. Наступний етап складають звичайні біологічні перетворення спирту в альдегід і альдегіду в кислоту. Загальна схема реакцій виглядає так [7]:



Зниження парафінового потенціалу палива при біохімічному окисненні відбувається за рахунок видалення з модельних систем *n*-алканів як речовин, які переважно споживають мікроорганізми.

Від фізіологічних особливостей кожного роду мікроорганізмів залежить направленість процесу деструкції індивідуальних вуглеводнів і їх сумішей, які мають різний ступінь стійкості до окиснення.

Дослідження здатності мікроорганізмів окислювати конкретні класи вуглеводнів у складі авіаційних палив дозволяє у перспективі створювати біопрепарати цільового призначення.

Після ураження палива мікроорганізмами за наявності зазначених вище сприятливих умов спостерігаються такі наслідки [1–7; 9]:

– *зміна фізико-хімічних властивостей палива*, а саме підвищення значень таких основних фізико-хімічних показників, як кінематична в'язкість, коефіцієнт заломлення, кислотність, вміст фактичних смол та ін. Також характерними ознаками є утворення осаду, помутніння палива, поява специфічного запаху;

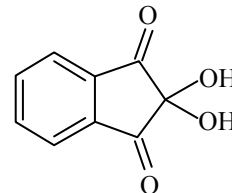
– *корозія смностей для зберігання авіаційних палив*. Розвиток корозії металів донної частини, де нагромаджується водний шлам, особливо на межі розподілу системи «паливо — вода», корозійні ураження баків літальних апаратів, корозія силових конструкцій літаків;

– *забивання і пошкодження паливних фільтрів, насосів та паливних систем*. Відкладення осадів міцелію і колоній бактерій на внутрішніх стінках паливних систем призводить до забиван-

ня осадами трубопроводів, фільтрів, насосів і паливних систем;

– *загроза безпеки польотів літальних апаратів*. Зміна фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей авіаційних палив призводить до передчасного забивання фільтрів, забруднення регулювальної апаратури, що викликають нестабільну роботу паливної системи, і внаслідок цього можуть викликати вихід з ладу двигуна і навіть повну відмову всієї системи, і як наслідок — виникнення аварій і вимушених посадок літаків [3].

Способи виявлення мікробіологічного забруднення палив поділяються на довгострокові та експрес-методи [2]. До довгострокових способів належать методи, що включають у себе посів мікроорганізмів на поживні середовища з подальшим мікроскопічним аналізом вирощених культур. Експрес-методи використовуються в умовах роботи аеропорту. Вони засновані на індикації мікроорганізмів за допомогою хімічних сполук. Одним з таких способів є методика визначення мікробіологічного забруднення палив для реактивних двигунів за допомогою розчину нінгідрину. Нінгідрин — органічна сполука, що належить до класів кетонів, спиртів та конденсованих карбоциклів, використовується як якісний і кількісний реактив при визначенні первинних амінів і амінокислот.



У цій галузі існують запатентовані методики виявлення біозабруднень авіаційних палив з використанням наборів MicrobMonitor 2, Hum Bug Detector, Bug Alert, Bug Check, електронного вимірювача НМВ IV.

Так, наприклад, при використанні MicrobMonitor 2 результати тестування доступні через три дні і не потребують подальшого розшифрування [9].

Практика експлуатації показує, що в місцях, де ризик зараження палив є найбільш високим, періодичність перевірки на наявність мікробіологічного зараження повинна бути не рідше одного разу на місяць.

Методи попередження мікробіологічного ушкодження авіаційних палив поділяються на активні і пасивні [1–4].

До пасивних відноситься низка заходів на підприємствах авіапаливозабезпечення, що дозволяють знизити ймовірність розвитку біоушкодження палива.

До активних заходів належать додавання до палива біоцидів — антимікробних присадок.

До групи експлуатаційних захисних методів відносяться:

- виконання умов правильного зберігання палив;

- вчасне їх осушування і видалення води (відстою) із донної частини резервуарів, фільтрів, паливних ємностей, баків літальних апаратів;

- запобігання контакту з водою і атмосферою вологою, тобто зменшення контакту з повітрям, особливо вологим;

- своєчасне проведення очищення технологічного обладнання зберігання палив;

- фільтрація.

Існує багато способів запобігання біологічному ураженню палив. Одним з таких методів є метод ультрафіолетового та електромагнітного опромінення. Ультрафіолетове опромінення викликає загибель мікроорганізмів. Для цього розроблено ультрафіолетову лампу. При її розробленні виключено можливість вибуху та займання палив. Лампа може бути встановлена в нижню частину паливного бака та переміщуватися вздовж нього, а також уздовж паливної лінії. Можливе також встановлення лампи під час перекачування палива з одного резервуара в інший. Знищення мікроорганізмів можливе також за допомогою електромагнітного опромінення з певною частотою радіохвиль [4]. Колонії грибів і бактерій можна видалити фільтруванням через пористий матеріал, розмір пор якого не більше ніж 2 мкм. Можливий спосіб захисту палив через бактеріальні фільтри, наповнені сполуками срібла — бавовну, скло, синтетичну гуму.

До фізико-механічних методів боротьби з мікробіологічними забрудненнями також відносяться центрифугування, агломерація з наступним фільтруванням, флотація, використання іонно-обмінних смол, електрогідролітичне осаджування, оброблення ультразвуком [4].

На сьогодні найдієвішим способом захисту палив від біологічного забруднення є біоцидні присадки, що зменшують життєдіяльність мікроорганізмів в авіаційних паливах і запобігають біологічній корозії паливних баків [1; 5].

Під час вибору біоцидних присадок користуються такими вимогами: вони не повинні погіршувати показники якості палив, характеризуватися пролонгованою дією, шкідливо впливати на конструктивні деталі двигуна, паливорегулюючі апарати, надійність роботи фільтрів і фільтрів-сепараторів, бути токсичними. Продукти згоряння цих речовин не повинні спричиняти шкідливу дію на навколишнє середовище [4].

Біоцидні присадки можуть бути розчинними і у паливах, і у водній подушці та знищувати мікроорганізми в обох фазах [4; 5].

За кордоном було випробувано багато біоцидних препаратів, що задовольняють перераховані вище вимоги, проте виділяють такі: етиленгліколь монометил ефір і біофор F [4].

Етиленгліколь монометил ефір — це протидокристалізаційна присадка, до складу якої входить гліцерин. Однак було встановлено, що гліцерин активно сприяє збільшенню мікроорганізмів, а без нього етиленгліколь монометил ефір зменшує їх зростання.

При додаванні до складу палива для повітряно-реактивних двигунів (ПРД) — 0,1–0,15 % мас. препарат концентрується у воді до 20 %, що не тільки запобігає утворенню кристалів льоду, але й розмноженню мікроорганізмів.

Біофор F після введення в нафтопродукт концентрується у вільній воді. Механізм дії цієї речовини також заснований на підвищенні осмотичного тиску. Ефективність препарату проявляється при його більш низьких концентраціях у воді. Ця присадка має такий недолік: при додаванні до палива для реактивних двигунів вона осідає на лопатях авіаційних турбін і може викликати їх корозію через збільшення кислотності води.

Багаторічні спостереження за паливними резервуарами з покриттям з фуранових смол показали, що життєдіяльність мікроорганізмів у таких резервуарах зменшується [4].

Досить відомою є протидокристалізаційна рідина «И-М», що являє собою продукт асоціації етилцелозольву і метанолу. Рідина «И-М» призначена для застосування як присадки до складу палив для ПРД, що заправляють у повітряні судна цивільної авіації для зменшення ймовірності обмерзання літакових і вертолітних фільтрів за низьких температур. Були досліджені також бактерицидні властивості даної присадки, що викликані вмістом метанолу [10].

Використовуються біоциди, в яких активними компонентами є целозольви, сполуки нікелю, міді, інших металів, гетероциклічні сполуки в кількості 0,0001–0,005 % [7].

У зв'язку з розширенням асортименту біоцидних присадок було вивчено бактерицидну дію таких сполук диметилдіалкіламонійхлорид ($[(R_2(CH_3)_2N]Cl)$ і диметилалкілбензіламонійхлорид ($[R(CH_3)_2NC_6H_5-CH_2]Cl)$ для авіаційних палив — бензину і палива для ПРД марки ТС-1 [8].

Під час дослідження цих сполук було встановлено [8], що в кількості 0,05 % і більше названі вище присадки зменшують зростання всіх мікроорганізмів в авіаційному бензині і паливі ТС-1.

Було досліджено біоцидну дію таких сполук: солей цинку синтетичних жирних кислот, змішаних солей цинку і ртуті, оцтової та олеїнової кислот.

При введенні в палива для реактивних двигунів у концентрації 0,05–0,1 % вони виявили достатню активність, зменшуючи кількість мікроорганізмів на 75–85 %. Солі вищих карбонових кислот хрому, міді і свинцю, а також нафтенати заліза, міді і хрому виявилися малотоксичними [3; 4; 5; 11].

Ураховуючи актуальність проблеми захисту палив як від нагромадження статичного струму, так і від мікробіологічного забруднення, було отримано комплексну присадку, яка мала бактерицидні й антистатичні властивості.

Було досліджено суміші бактерицидних і антистатичних присадок різного складу, причому як бактерицидний компонент використовували диметилдіалкіламонійхлорид [8]. Одночасно ця присадка є ефективною антистатичною присадкою, у концентрації 0,003 % підвищує електропровідність нафтопродуктів і зменшує електризацію під час їх руху [8].

Установлено, що високий бактерицидний ефект має противодокристалізаційна присадка PFA-55MB для реактивних двигунів.

Уведення в реактивне паливо в кількості 0,05–0,15 % присадки PFA-55MB практично повністю запобігає розвитку мікроорганізмів і корозії паливних баків реактивних двигунів. Ця присадка — найпоширеніша за кордоном [9].

Виявлено, що 8-оксихінолін і дисаліцилденпропандіамін при додаванні до складу палива для ПРД марки Т-1 у концентрації 0,2 і 0,1 % зменшували зростання мікроорганізмів відповідно на 88 і 75 %.

Первинні аміни C_{12} — C_{15} , що додавалися до палива у кількості 1 %, зменшували зростання мікроорганізмів на 95 %.

Спеціальні дослідження [1;2] показали, що активними біоцидними присадками у водно-паливних системах можуть бути речовини, що не розчиняються в паливі, але розчиняються у воді.

Так, повне знищення мікроорганізмів у середовищі з паливом ТС-1 спостерігали при введенні в водну фазу однієї з таких речовин: 0,04 % 1,2-діаміно-пропана або гексаметилдіаміна, 0,12 % етилендіаміна, гідроксиламіна солянокислого або метиламіну виннокислого, 0,16% триметиламіна або *n*-бутиламіна.

Зменшення росту мікроорганізмів на 98 % спостерігається при вмісті у водній фазі 0,08 % *n*-бутиламіна, етилендіаміна, гідроксиламіна солянокислого або метиламіну щавелевого кислого.

Пригнічення збільшення мікроорганізмів на 70, 75, 90 % спостерігалось в середовищі з паливом ТС-1 при введенні у водну фазу відповідно 0,24 % ацетату хрому, 0,16 % нітрату хрому, 0,16 % ацетату міді [9; 10].

Відома також поліфункціональна присадка ППОД (ізопропілоктадециламін).

Вивчено бактериоцидність присадки на основі газових конденсатів. На відміну від інших присадок, її отримують на основі вуглеводневої фракції (145–280) °С газових конденсатів.

Додавання присадки у кількості 0,1 % знищувало мікроорганізми впродовж 10–15 діб на 100 % [5].

Синтезована присадка має не тільки бактерицидні, але й антиокиснювальні і антикорозійні властивості.

Уведення присадки до кінцевої концентрації 0,1 % запобігає утворенню осадів у паливі на 80 % [5].

Одним із високоефективних біоцидів, що сьогодні використовуються у світі для різних видів палива, є Katon FP 1.5 компанії ROHM AND HAAS (США).

За номенклатурою Міжнародної спілки теоретичної та прикладної хімії активні компоненти Katon FP 1.5 визначають як 5-хлоро-2-метил-4-ізотиазолін-3-один.

На сьогодні виробництвом біоцидних присадок до нафтопродуктів займається багато закордонних німецьких компаній, таких як: «Bang and Bomsomer», «THOR», «Rohm and Haas» та ін. [3].

Авторами статті були проведені дослідження ефективності використання сучасних біоцидних присадок (додатків) вищезгаданих закордонних виробників.

Дослідження проводилось за допомогою методу зональної дифузії, який полягає в випробуванні мікробіологічної стійкості реактивного палива, захищеного протимікробними присадками з різними концентраціями в чашці Петрі на поживному сухому агарі для культивування мікроорганізмів. Діаметр зон відсутності росту характеризував ступінь стійкості випробовуваного палива.

Як тест-культура використовувалась суміш аеробних бактерій (*Pseudomonas*, *Bacterium*, *Mycobacterium*), що виділені з уражених нафтопродуктів.

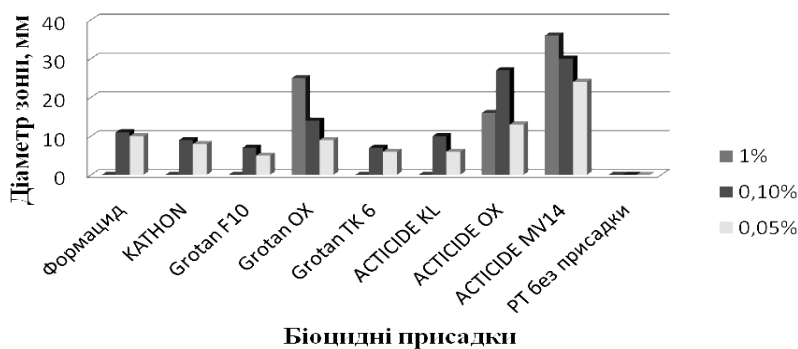
Результати досліджень біостійкості авіаційного палива РТ, захищеного біоцидними присадками, за методом зональної дифузії наведено в таблиці та показано на рисунку.

Отже, з побудованої діаграми можна зробити висновок, що найкращі протимікробні властивості проявили такі присадки: GROGAN OX, AKTICIDE OX, AKTICIDE MV14.

Результати проведення експерименту методом зональної дифузії

Назва присадки	Діаметр зони, мм		
	Концентрація присадки в паливі РТ		
	1 %	0,1 %	0,05 %
Формацид	0	11	10
KATHON	0	9	8
Grotan F10	0	7	5
Grotan OX	25	14	9
Grotan TK 6	0	7	6
ACTICIDE KL	0	10	6
ACTICIDE OX	16	27	13
ACTICIDE MV14	36	30	24
Паливо РТ без присадки	0	0	0

Результати дослідження біостійкості палив, захищених біоцидними присадками



Порівняльний розподіл результатів дослідження біостійкості палив, захищених біоцидними присадками методом зональної дифузії

Висновки

Аналіз здатності авіаційних палив до біоуряження, а також вивчення механізму деструкції вуглеводнів показав, що поряд з обводненням палива і забрудненням механічними домішками має місце мікробіологічне забруднення, що впливає не тільки на якість палив, але і на експлуатаційну надійність роботи обладнання.

Дослідження методів визначення наявності біологічного забруднення авіаційних палив показало, що поява і розвиток біоценозу в паливах призводить до погіршення їх фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей унаслідок зміни їх вуглеводневого складу, нагромадження мікробного слизу та осадів, утворення стійких емульсій.

Оптимальним методом виявлення мікроорганізмів в умовах оперативної роботи аеродрому є використання індикаторних експрес-методик.

Серед різноманіття методів захисту мікроорганізмів виявлено, що найефективнішим методом захисту авіаційних палив від мікробіологіч-

ного забруднення є використання антимікробних (біоцидних) присадок.

Міжнародна практика біоцидного захисту від мікроорганізмів в авіаційних паливах достатньо ефективна, але вона не застосовується в країнах СНД у зв'язку з високою вартістю реагентів і відсутністю рекомендацій щодо їх застосування в нормативній базі.

Науково-практичний інтерес становить розробка експрес-методу щодо визначення наявності мікробіологічного забруднення в умовах оперативної роботи аеродрому та вітчизняної біоцидної присадки, яка сприятиме істотному зниженню ступеню мікробіологічного ураження авіаційних палив.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shkilniuk I. Research of influence of microbiological stability of fuels for Jet engines on reliability of work of airplanes fuel system // Systemy i spodki transportu samochodowego / I. Shkilniuk, V. Grinko, S. Boichenko. — Rzeszow : Politechnika Rzeszowska, 2012. — С. 291–294.

2. *Бойченко С. В.* Методи оцінки біологічного забруднення нафтопродуктів // Методи та прилади контролю якості / С. В. Бойченко, Н. М. Кучма — 2004. — № 12. — С. 94–99.
3. *Вплив мікробіологічного забруднення вуглеводневих палив на хімотологічну надійність паливних систем* // Вопросы химии и химической технологии / С. В. Бойченко, Н. М. Кучма, О. С. Тітова, В. М. Турчак. — 2006. — № 1. — С. 107–109.
4. *Boychenko S.* The problems of biopollution with jet fuels and the way of achiving solution // Transport / S. Boychenko. — 2008. — № 23 (3). — С. 253–257.
5. *Инженерные основы авиационной химмотологии* / Л. С. Яновский, Н. Ф. Дубовкин, Ф. М. Галимов. — Казань : Изд-во Казанск. ун-та, 2005. — 714 с.
6. *Литвинов А. А.* Основы применения ГСМ в ГА: учеб. / А. А. Литвинов. — М. : Транспорт, 1987. — 308 с.
7. *Кривушина А. А.* Микромицеты в авиационном топливе: автореферат / А. А. Кривушина. — МГУ им. М. В. Ломоносова. — 2012. — С. 1–26.
8. *Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти: навч. посіб.* / І. П. Козлова, О. С. Радченко, Л. Г. Степура, Т. О. Кондратюк. — К. : Наук. думка, 2008. — 528 с.
9. *Скрибачилин В. Б.* О биоповреждении топлив // Химия и технология топлив и масел / В. Б. Скрибачилин, Е. А. Лаптева, Л. К. Михайлова. — 1983, № 12. — С. 29–30.
10. *IATA* Руководящий материал по спецификациям на авиационные топлива для газотурбинных двигателей // Международная ассоциация воздушного транспорта, изд. 4-е, 2000.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2012.