

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ШКІЛЬНЮК ІРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА

Прим. № _____

УДК

629.7.063:662.6/.9(043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИЧНО-ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ЗАСАД БІОЛОГІЧНОЇ
СТАБІЛЬНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ПАЛИВА**

05.17.07 – «Хімічна технологія палива і паливно-мастильних матеріалів»

161 «Хімічна та інженерія»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ І. О. Шкільнюк

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник (консультант): Бойченко Сергій Валерійович, д.т.н.,
професор

Київ 2020

АНОТАЦІЯ

Шкільнюк І. О. Розроблення методично-організаційних засад біологічної стабільності авіаційного палива. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.07 – хімічна технологія палива і паливно-мастильних матеріалів. – Національний авіаційний університет, Київ, 2020.

Роботу присвячено розвитку наукових засад хімотології, зокрема, удосконаленню технологій збереження та забезпечення якості авіаційних палив, а також технологічних аспектів підтримання хімотологічної надійності авіаційної техніки, спрямованих на забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив.

Запропоновано аксіоматично-феноменологічний опис механізму біодеструкції авіаційних палив. Найбільший рівень біодеструкції виявлено на *Hormoconis resinae* у алканових вуглеводнів з більш довгим вуглецевим ланцюгом.

Розвинуто уявлення про мікробіологічне ураження авіаційних палив як про процес, що складається з трьох послідовних взаємозалежних етапів: *взаємодії (адгезії) мікроорганізмів з паливами – зростання у середовищі вуглеводнів палива – зміна властивостей палива.*

За мікробіологічною стабільністю досліджені палива проранжовано (у порядку зростання) у такий ряд: *автомобільний бензин – паливо для реактивних двигунів – дизельне паливо – авіаційний бензин.*

Доведено незворотну зміну показників якості авіаційних палив (кислотності, корозійної активності, вмісту фактичних смол, термоокиснювальної стабільності, теплоти згорання, температури початку кристалізації, кінематичної в'язкості унаслідок мікробіологічного ураження. Серед мікроорганізмів-деструкторів найпоширенішими є гриби (1 – активні деструктори (наприклад, *Hormoconis resinae*); 2 – потенційні деструктори

(наприклад, *Aspergillus ustus* і *Geotrichum candidum*); 3 – частково адаптовані до середовища та випадкові мікроміцети).

Визначальними чинниками розвитку мікробіологічного ураження в авіаційних паливах є температура (~ 28 °C) та наявність вологи. Показано, що вміст мікроорганізмів до 10^4 клітин/м³ палива вважається безпечним та не становить ризику для безпеки польотів.

Виявлено, що наявність біокомпонентів (етилові естери жирних кислот) пришвидшує розвиток мікробіологічної фази у складі авіаційних палив.

Розроблену на базі реакції Руемана колориметричну методику мікробіологічного забруднення перевірено та підтверджено її дієвість і надійність порівняно з відомим методом тестування MicrobMonitor2. Рівень валідації методики за внутрішньолабораторною відтворюваністю становить 98 %.

Розвинуто уявлення про ефективність біоцидних додатків. Найефективнішими виявились біоциди товарних марок формацид-13, Kathon FP 1,5, Grotan OX, Biobor, Akticide OX, Akticide MV14 з максимальною ефективною концентрацією 0,1 %.

Проблемно-тематичний контент праці, переважно, присвячено створенню практичних рекомендацій для забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив.

Ключові слова: паливо, мікробіологічне ураження, авіація, хімотологія, надійність, довговічність, стабільність, властивості, біодеструкція, окиснення, якість, колориметричний індикаторний метод, біоциди, моніторинг, рекомендації, модель.

ANNOTATION

Irina O. Shkilnyuk. Development of the methodological and organizational basis for the biological stability of aviation fuel. – Manuscript.

Ph.D. Thesis in Engineering Sciences Majoring in 05.17.07 – Fuels and Lubricants Chemical Engineering. – National Aviation University, Kyiv, 2020.

The thesis is devoted to the development of scientific principles of chemmotology, in particular, to the improvement of saving technologies and quality assurance of aviation fuels, as well as technological aspects of maintaining chemmotological reliability of aviation equipment aimed at ensuring biological stability of aviation fuels.

An axiomatic-phenomenological description of the mechanism of biodegradation of aviation fuels is proposed. The highest level of biodegradation was found on *Hormoconis resiniae* in alkane hydrocarbons with a longer carbon chain.

Microorganisms have the selective ability related to various hydrocarbons, and this ability is determined not only by the difference in the structure of substance, and even the number of carbon atoms that are the part of their structure.

Developed understanding of microbial damage jet fuel as a process consisting of three interconnected stages in series: *interaction (adhesion) of microorganisms with fuels - growth in the environment of fuel hydrocarbons - change of fuel properties.*

According to microbial stability, the studied fuels are ranked (in ascending order) in the following order: *automobile gasoline - jet fuel - diesel fuel - aviation gasoline.*

An irreversible change in the quality indicators of aviation fuels (acidity, corrosion activity, the content of actual resins, thermo-oxidative stability, heat of combustion, temperature of the beginning of crystallization, kinematic viscosity)

due to microbial damage. A biocorrosion of the fuel system and aircraft structures is part of the problem fuel with microbiological contamination.

Among the destructive microorganisms, the most common are fungi. They are systematized into three groups: 1 – *active destructors (for example, Hormoconis resinae)*; 2 – *potential destructors (for example, Aspergillus ustus and Geotrichum candidum)*; 3 – *partially adapted to the environment and random micromycetes*.

Determining factors for the development of microbiological damage in aviation fuels are temperature ($\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$) and moisture. It is shown that the content of microorganisms up to 10^4 cells/m^3 is considered safe and does not pose a risk to flight safety.

It was found that the presence of biocomponents (ethyl esters of fatty acids) accelerates the development of the microbial phase in aviation fuels.

The colorimetric method of microbiological contamination developed on the basis of Rueman's reaction is checked and its efficiency and reliability in comparison with the known method of testing MicrobMonitor2 is checked and confirmed. The level of validation of the method for intra-laboratory reproducibility is 98 %.

Developed understanding of the effectiveness of biocide applications. The most effective were biocides of the brands formacid-13, Kathon FP 1,5, Grotan OX, Biobor, Akticide OX, Akticide MV14 with the maximum effective concentration of 0,1 %.

Problem-thematic content of the work is mainly devoted to the creation of practical recommendations for ensuring the biological stability of aviation fuels. An important component of this recommendations is the frequent checks of drainage systems, as well as regular testing and monitoring of microbiological contamination of the fuel and fuel system.

Key words: fuel, microbial damage, aviation, chemmotology, reliability, durability, stability, properties, biodegradation, oxidation, quality, colorimetric indicator method, biocides, monitoring, recommendations, model.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Розділи монографій

1. Microbiological corrosion and importance of monitoring of microbial contamination for reliability aviation technology / I. Shkilniuk, S. Boichenko // Transport 2016. Systems and means of motor transport. Monografia № 7. – Rzeszow (Poland), 2016.– С. 291–300.

Особистий внесок автора полягає у виконанні дослідження, аналізуванні результатів та формулюванні висновків

2. Biological risks of aviation fuel supply / I. Shkilniuk, S. Boichenko // Transport 2019. Systems and means of motor transport. Monografia № 19. – Rzeszow (Poland), 2019.– Р. 67–74.

Особистий внесок автора полягає у визначенні біологічних ризиків, узагальненні інформації та формулюванні висновків

3. Identification and Assessment of Biological Risk of Aviation Fuel Supply / Iryna Shkilniuk, Sergii Boichenko, Tetiana Kondratiuk, Nataliia Shevchuk // Selected aspects of providing the chemo-tological reliability of the engineering: Monograph – S. Boichenko, O. Aksionov, P. Topilnitskyi, Andrii Pushak, K. Lejda. – К.: Center of Educational Literature. – 2019. – Р. 197–214.

Особистий внесок автора полягає у визначенні та ідентифікації біологічних ризиків, узагальненні інформації та формулюванні висновків

Статті у фахових вітчизняних наукових журналах з переліку МОН

4. Нова присадка для підвищення стабільності вуглеводневих палив / Чугуй В. О., Іваношук, Т. О., Шкільнюк І. О. // Вісник НАУ, 2009. – № 2. – С. 153–156.

Особистий внесок автора полягає у виконанні порівняльних досліджень, аналізуванні результатів та узагальненні інформації

5. Дослідження механізму біодеструкції авіаційних палив / Безпальчук О. В., Шкільнюк І. О., Бойченко С. В. // Наукоємні технології. – 2013. – № 1(17). – С. 44–49.

Особистий внесок автора полягає в аналізуванні літератури та узагальненні інформації, формулюванні висновків

6. Систематизація видового складу мікробіологічної фази у складі авіаційних палив / Бойченко С. В., Шкільнюк І. О., Новак А. О. // Наукоємні технології. – 2014. – Том 21. – № 1 (2014). – С. 5–9.

Особистий внесок автора полягає в аналізуванні літератури та узагальненні інформації

7. Аналіз екологічних властивостей компонентів традиційних і альтернативних авіаційних бензинів / С. Бойченко, Л. Павлюх, І. Шкільнюк, А. Яковлева, І. Матвєєва, А. Гудзь // Наукоємні технології, 2019. – № 2(42). – С. 195–206.

Особистий внесок автора полягає в аналізуванні та узагальненні взаємодії вуглеводнів з біологічними структурами

Статті у закордонних періодичних виданнях

8. Methodically organizational principles of biological stability providing of aviation fuel / Shkilniuk I., Boichenko S. // Transactions of the Institute of aviation of Warsaw. – 2014. – № 4 (237). – P. 76–83.

Особистий внесок автора полягає у виконанні дослідження, аналізуванні та узагальненні результатів, формулюванні висновків

9. Traditional and Alternative Jet Fuels: Problems of Quality Standartization / Iakovlieva A., Boichenko S., Vovk O., Shkilniuk I., Lejda K. // Petroleum and Environmental Biotechnology. – 2013. – Volume 4, № 3. – P. 1–5.

Особистий внесок автора полягає у формулюванні вимог до чистоти та якості авіаційних палив

10. Investigation of the microbiological stability of traditional and alternative aviation fuels / Shkilniuk Iryna // Int. J. Sustainable Aviation, Vol. 2. – № 2, 2016. – P. 111–118.

Особистий внесок автора полягає у виконанні дослідження, порівнянні результатів та узагальненні отриманої інформації, формулюванні висновків

Статті у закордонних фахових виданнях, що входять до науково-метричних баз даних

11. The problems of biopollution with jet fuels and the way of achieving solution / Boichenko S., Shkilniuk I., Turchak V. // Transport. – 2008. – № 23 (3). – P. 253–257.

Особистий внесок автора полягає в аналізуванні літератури, виконанні дослідження та узагальненні результатів

12. Vacuum distillation of rapeseed oil esters for production of jet fuel bioadditives / Iakovlieva A., Boichenko S., Vovk O., Shkilniuk I., Lejda K. // Procedia Engineering. – 2017. – Vol.187. – P. 363–370.

Особистий внесок автора полягає у формулюванні вимог до чистоти та стабільності палив

Тези та матеріали вітчизняних і міжнародних конференцій

13. Исследование влияния микробиологической стабильности топлив для воздушно-реактивных двигателей на надёжность работы топливной системы самолёта / Шкильнюк И. А., Романов С. Ф., Гринько В. В. // Проблеми хімотології: IV Міжнародна науково-технічна конференція, 24–28 вересня 2012 р.: тези доп.– Рибаче, 2012. – С. 370–373.

Особистий внесок автора полягає в аналізуванні літератури, виконанні дослідження та узагальненні результатів

14. Research of influence of microbiological stability of fuels for jet engines on reliability of work of airplanes fuel system / Shkilniuk I., Grinko V., Boichenko S. // "Systems and means of motor transport", № 3 Seria: Transport (Poland). – 2012. – P. 291–294.

Особистий внесок автора полягає у виконанні дослідів, обробленні та узагальненні інформації

15. Dependence of the aircraft fuel system reliability from microbiological contamination of fuels / Shkilniuk I., Boichenko S. // “Systems and means of motor transport”, № 4 Seria: Transport (Poland). – 2013. – P. 309– 311.

Особистий внесок автора полягає в обробленні та узагальненні інформації, систематизації наслідків, формулюванні висновків

16. Видовий склад мікробіологічної фази у паливах для повітряно-реактивних двигунів / Шкільнюк І. О., Бойченко С. В., Кондратюк Т. О., Новак А. О. // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Авіа-2013» 21–23 травня 2013, Київ. – С. 31.107–31.110.

Особистий внесок автора полягає в аналізуванні літератури, обробленні та узагальненні інформації

17. Biodegradation and biostability of mineral and biological fuels / Shkilniuk I., Kondratuk T., Boichenko S. // World Congress Petrochemistry and Chemical Engineering, 18–23 november 2013. – San-Antonio, USA, 2013. – P. 48.

Особистий внесок автора полягає у виконанні дослідів, обробленні та узагальненні інформації, формулюванні висновків

18. Проблеми мікробіологічного забруднення та стандартизації у сфері забезпечення чистоти авіаційних палив / Шкільнюк І., Бойченко С., Нікітін А. // Поступ у нафто-, газопереробній та нафтохімічній промисловості – 2014: VII Міжнародна науково-технічна конференція, 19–24 травня 2014 р.: тези доповідей. – Львів, 2014. – С. 43.

Особистий внесок автора полягає в аналізуванні нормативних документів, обробленні та узагальненні інформації

19. Розроблення технічного регламенту щодо вимог до авіаційного бензину та палива для реактивних двигунів / Бойченко С., Яковлева А., Азаренкова А., Шкільнюк І. // Поступ у нафто-, газопереробній та нафтохімічній промисловості – 2014: VII Міжнародна науково-технічна конференція, 19–24 травня 2014 р.: тези доп. – Львів, 2014. – С. 106.

Особистий внесок автора полягає в обробленні та узагальненні інформації

20. Проблеми чистоти та мікробіологічного забруднення у сфері авіапаливозабезпечення / Шкільнюк І. О., Фесак Т. А. // Проблеми хімотології. Теорія та практика раціонального використання традиційних та альтернативних паливно-мастильних матеріалів: IV Міжнародна науково-технічна конференція, 6–10 жовтня 2014 р.: тези доп., Рибаче, 2014. – С. 94–96.

Особистий внесок автора полягає в обробленні та узагальненні інформації

21. Research of the biodegradation mechanism of petroleum hydrocarbons / Shkilniuk I., Boichenko S. // «From Biotechnology to Environmental Protection»: 9th International Conference of Young Naturalists, 06-08 november 2014, Zielona Gora (Poland). – P. 66–67.

Особистий внесок автора полягає в описанні механізму біодеструкції та узагальненні інформації, формулюванні висновків

22. Дослідження корозійної активності авіаційного палива з мікробіологічним забрудненням / Шкільнюк І. О., Бойченко С. В., Терещенко В. А. // “Systems and means of motor transport”, № 6 Seria: Transport (Poland). – 2015. – P. 269–274.

Особистий внесок автора полягає у виконанні дослідів, обробленні та узагальненні інформації

23. Investigation of the microbiological stability of traditional and alternative aviation fuels / Shkilniuk I. // International Symposium on Sustainable Aviation 2015, Istanbul (Turkey), 31 may – 3 june 2015.– P. 134.

Особистий внесок автора полягає у виконанні дослідів, обробленні та узагальненні інформації, формулюванні висновків

24. Evolution of aviation fuel biocide additives / Shkilniuk I., Boichenko S. // AVIA-2015: XII Міжнародна науково-технічна конференція, 28-29 квітня 2015 р.: тези доп. – Київ, 2015. – С. 29.26 – 29.30.

Особистий внесок автора полягає в обробленні та узагальненні інформації

25. Microbiological control in the system of civil aviation jet fuel supply / Iryna Shkilniuk, Sergii Boichenko, Kazimierz Lejda / Proceedings of the 19th Conference for Junior Researchers ‘Science – Future of Lithuania’ TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 6 May 2016, Vilnius, Lithuania. – P. 90–94.

Особистий внесок автора полягає у виконанні дослідів, обробленні та узагальненні інформації

26. Исследование влияния микробиологического загрязнения на коррозионные свойства традиционных и альтернативных моторных топлив / Шкільнюк І. А., Бойченко С. В., Лейда К. // VI Международная научно-техническая конференция «Проблемы химмото-логии: от эксперимента к математическим моделям высокого уровня»: Тезисы докладов. 17–19 октября 2016, г. Москва. – С. 92.

Особистий внесок автора полягає в виконанні дослідів, обробленні та узагальненні інформації, формулюванні висновків

27. Влияние микробиологического загрязнения на кислотность традиционных и альтернативных авиационных топлив // Проблемы химмотологии. Теория та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів: монографія // С. Бойченко, К. Лейда, В. Матейчик, П. Топільницький / за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К.: Центр учбової літератури, 2017. – С. 341–346.

Особистий внесок автора полягає в виконанні дослідів, обробленні та узагальненні інформації

28. Вплив мікробіологічного забруднення на компонентний склад авіаційних палив // Поступ в нафтогазовій та нафтопереробній промисловості, 14–18.05.2018, м. Львів: Матеріали конференції // Шкільнюк І.О. – Л.: Видавництво «Львівська політехніка». 2018. – С. 92–94

Особистий внесок автора полягає у виконанні дослідів, обробленні та узагальненні інформації, формулюванні висновків

29. Біологічні ризики в системі авіапаливозабезпечення // Поступ в нафтогазовій та нафтопереробній промисловості, 18–23.05.2020, м. Львів: Матеріали конференції // Шкільнюк І., Бойченко С. – Л.: Видавництво «Львівська політехніка». 2018. – С. 60–64.

Особистий внесок автора полягає в обробленні та узагальненні інформації, формулюванні висновків

Патент

30. Методика визначення мікробіологічного забруднення авіаційних палив / Бойченко С.В., Шкільнюк І. О., Новак А.О. // Пат. 94190 Україна, заявл. 16.10.2013; опубл. 10.11.2014. – Бюл. № 21. – 2 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	16
Розділ 1 Біологічна стабільність авіаційних палив. Стан, проблеми та перспективи вирішення.....	23
1.1. Історичні аспекти вивчення питання.....	23
1.2. Мікробіологічне забруднення авіаційних палив.....	26
1.2.1 Мікроорганізми як забруднювачі авіаційних палив.....	26
1.2.2 Умови розвитку мікробіологічного забруднення.....	31
1.2.3 Локалізація в паливі та паливних системах.....	39
1.2.4 Біоплівка	43
1.3 Вплив мікробіологічного забруднення на хімотологічну надійність роботи техніки.....	44
1.3.1 Мікробіологічна фаза – джерело забруднення авіаційних палив.....	44
1.3.2 Вплив мікробіологічного забруднення на якість палив.....	46
1.3.3 Вплив мікробіологічного забруднення палив на роботу техніки. Мікробіологічна корозія.....	51
1.4 Нормативні вимоги до вмісту та виявлення мікробіологічного забруднення в паливах та паливних системах.....	56
1.5 Методи виявлення мікробіологічного забруднення палив.....	59
1.6 Методи захисту палив від мікробіологічного забруднення.....	62
1.6.1 Фізико-механічні методи.....	62
1.6.2 Хімічні методи.....	63
Висновки до розділу.....	66
Розділ 2 Науково-методичне забезпечення та результати досліджень.....	67
2.1. Загальна методика проведення досліджень.....	67

2.2 Характеристика зразків палив, що використовувалися для досліджень.....	69
2.3 Дослідження властивостей, основних закономірностей та механізму біодеструкції авіаційних палив.....	70
2.4 Дослідження видового складу мікроорганізмів нафтодеструкторів.....	84
2.5 Визначення впливу мікробіологічного забруднення на вміст вуглеводнів авіаційних палив.....	87
2.6 Визначення біологічної стабільності моторних палив.....	90
2.7 Дослідження впливу мікробіологічного забруднення на фізико-хімічні та експлуатаційні показники моторних палив.....	96
2.8 Кольорові методи визначення наявності мікробіологічного забруднення палив.....	102
2.9 Визначення ефективності біоцидних додатків.....	110
2.10 Математичне оброблення результатів.....	113
Висновки до розділу	115
Розділ 3 Практична реалізація результатів досліджень щодо запобігання мікробіологічного забруднення авіаційних палив	117
3.1 Оцінка ризику виникнення мікробіологічного забруднення	115
3.2 Моніторинг мікробіологічного забруднення палив	118
3.3 Система моніторингу палив та паливних систем. Практичні рекомендації	124
Висновки	133

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АП – авіаційне паливо;

ПММ – паливно-мастильні матеріали;

ПРД – повітряно-реактивний двигун;

ГТД – газотурбінний двигун;

ПС – повітряне судно;

ІКАО – Міжнародна організація цивільної авіації;

ІАТА – Міжнародна організації транспортної авіації;

ПАР – поверхнево-активні речовини;

АТФ – аденозинтрифосфорна кислота;

НАД – нікотинамідаденіндинуклеотид.

ВСТУП

Актуальність теми. Хімотологічна надійність техніки визначається комплексом показників якості й експлуатаційних властивостей палива, зокрема, стабільністю на усіх етапах життєвого циклу. Практичний досвід і численні дослідження свідчать, що не існує вуглеводнів, що є стійкими до впливу тих чи інших мікроорганізмів. Впливаючи на експлуатаційні матеріали, зокрема, на паливо, мікроорганізми-деструктори викликають пошкодження (мікробіологічне ураження), що призводить до зміни їх первинних експлуатаційних характеристик. Практично усі експлуатаційні матеріали піддаються мікробіологічному ураженню, економічний збиток від якого становить 2–3 % вартості усього об'єму продукції. За даними зарубіжної статистики, причиною 33 % усіх аварій та катастроф літаків, а також 50 % відмов авіаційних реактивних двигунів є забрудненість палива, у тому числі й мікроорганізмами. Розвиток мікроорганізмів у паливних системах призводить до погіршення фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей палив внаслідок зміни їх вуглеводневого складу, накопичення слизу та осаду, утворення стійких емульсій, результатом чого є погіршення хімотологічної надійності та виходу з ладу авіаційної техніки. Забруднення фільтрів і каналів паливної системи мікроорганізмами призводить до непрацездатного стану технічного засобу та аварій загалом.

Відсутність у нашій державі системних досліджень та практичного досвіду забезпечення біологічної стабільності як традиційних, так і альтернативних авіаційних палив потребує створення методично-організаційних засад і розроблення практичних рекомендацій щодо запобігання їх мікробіологічному ураженню. Висока біологічна стабільність авіаційних палив має задовольняти низку хімотологічних вимог, пов'язаних з ефективністю, надійністю та довговічністю авіаційної техніки.

Постійне вивчення мікроорганізмів, що розвиваються в авіаційному паливі, і своєчасний контроль якості палива та стану авіаційної техніки дозволить уникнути проблем, пов'язаних з мікробіологічним ураженням

авіаційного палива й матеріалів паливних систем. Тобто спільна робота технологів, хіміків, хімотологів і мікробіологів зможе забезпечити високу біологічну стабільність палива та, відповідно, безпечну експлуатацію авіаційної техніки.

Отже, розроблення комплексу заходів забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив є затребуваним і актуальним науково-прикладним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано згідно з планами наукових досліджень кафедри екології Інституту екологічної безпеки (2012–2018), кафедри хімії та хімічної технології Факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій (2018–2020) та Українського науково-дослідного та навчального центру хімотології і сертифікації паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин Національного авіаційного університету за технічними завданнями науково-дослідних проектів: № 780-ДБ12 «Методологія і технологія розробки та упровадження біологічних палив і мастильних матеріалів для авіаційної техніки» (2012–2014, номер державної реєстрації 0112U002049); № 933-ДБ14 «Розробка проекту технічного регламенту щодо вимог до авіаційного бензину, палива для реактивних двигунів» (2014, номер державної реєстрації 0114U001192); № 940-ДБ14 «Підвищення енергоощадності та екологічності авіаційної і наземної техніки впровадженням альтернативних моторних палив» (2014–2015, номер державної реєстрації 0114U001597); № 994-ДБ15 «Підвищення екологічної безпеки авіаційної техніки впровадженням альтернативних моторних палив» (2015–2016, номер державної реєстрації 0115U002469); № 1055-ДБ16 «Отримання та використання високоефективних екологічно безпечних компонентів сумішевих авіаційних палив» (2016–2017, номер державної реєстрації 0116U004631), № 182-ДБ18 «Підвищення експлуатаційних характеристик палив для газотурбінних двигунів, безпеки авіаційного транспорту та його екологічності» (2018–2019, номер державної реєстрації 0118U003369).

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення комплексу методично-організаційних заходів забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив. Для досягнення мети необхідно розв'язати такі основні завдання:

- систематизувати інформацію щодо мікробіологічного ураження авіаційних палив, методів виявлення та способів запобігання;
- виявити причини, джерела, умови виникнення та поширення мікробіологічного забруднення авіаційних палив;
- визначити біологічну стабільність традиційних і альтернативних авіаційних палив;
- дослідити видовий склад мікроорганізмів-деструкторів авіаційних палив;
- дослідити основні закономірності та механізм біодеструкції авіаційних палив;
- розробити універсальний метод оперативного встановлення мікробіологічного забруднення авіаційних палив;
- систематизувати чинники, що сприяють виникненню та розвитку мікробіологічного забруднення в паливних системах літаків;
- проаналізувати ефективність та систематизувати інформацію щодо існуючих методів забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив;
- запропонувати організаційні та методичні заходи запобігання мікробіологічному ураженню авіаційних палив. Створити практичні рекомендації для забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив.

Об'єкт дослідження – мікробіологічне ураження, біодеструкція та зміна властивостей авіаційних палив.

Предмет дослідження – методично-організаційні засади забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив.

Методи дослідження. В основу науково-методичного забезпечення досліджень покладено використання комплексу емпіричних інженерних і теоретичних методів. Серед теоретичних методів застосовувалися системний

аналіз і синтез, узагальнення, формалізація, класифікація, аналогія. Серед емпіричних – вимірювання, порівняння та експеримент із застосуванням стандартних методів дослідження фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей традиційних і альтернативних авіаційних палив.

З інструментальних методів аналізу використовували газову хроматографію хімічного складу авіаційних палив. З метою найбільш ефективного вирішення поставлених завдань застосовувались евристичні методи виявлення мікробіологічного ураження моторних палив, оброблення й упорядкування системи закономірностей, організаційних і методологічних засобів формування нового завдання щодо забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив на основі узагальнення колишнього досвіду та випереджаючого відображення моделей майбутнього.

Наукова новизна отриманих результатів. Важливі наукові результати, що були досягнуті під час досліджень й визначають новизну дисертації, полягають у такому:

1. Дістало подальшого розвитку знання про видовий склад мікроорганізмів-деструкторів, що здатні засвоювати вуглеводні авіаційного палива. Це мікроскопічні гриби, бактерії та дріжджі. Встановлено, що найпоширенішими серед них є гриби. Активним деструктором визнано гриб *Hormoconis resiniae*.

2. Розвинуто теоретичне уявлення про механізм деструкції вуглеводнів авіаційних палив, що полягає в адаптивному ферментативному окисненні вуглеводнів. Встановлено, що мікроорганізми мають до різних вуглеводнів властивість вибіркового відношення, що визначається не тільки структурою вуглеводню, а й кількістю вуглеводневих атомів у його структурі.

3. Уперше описано деструкційний вплив мікроорганізмів-деструкторів на біокомпоненти до авіаційних палив. Експериментально доведено, що вміст біокомпонента рослинного походження у складі авіаційного палива інтенсифікує розвиток мікробіологічного ураження палив.

4. Доведено можливість використання колориметричних методів для визначення наявності мікробіологічного забруднення в авіаційних паливах. Встановлено, що нінгідрінова реакція (або так звана реакція Руемана) дозволяє якісно встановити наявність мікроорганізмів у складі авіаційних палив традиційного та альтернативного походження.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено комплекс практичних заходів для забезпечення мікробіологічної стабільності авіаційних палив. А також:

– доведено незворотну зміну показників якості авіаційних палив унаслідок мікробіологічного ураження. Встановлено, що розвиток мікробіологічного забруднення в паливі впливає на кислотність та корозійні властивості, і обґрунтовано призводить до появи мікробіологічної корозії експлуатаційних матеріалів паливної системи, резервуарів тощо під час виконання технологічних операцій з авіаційними паливами;

- розроблено та впроваджено методику оперативного визначення вмісту мікробіологічного забруднення у складі авіаційних палив традиційного та альтернативного походження. Рівень валідації методики за внутрішньолабораторною відтворюваністю становить 98 %;

- розроблено систему моніторингу мікробіологічного забруднення паливно-заправних комплексів і паливних систем транспортних засобів;

- систематизовано чинники, що сприяють виникненню та розвитку мікробіологічного забруднення в паливних системах літальних апаратів. Для графічного відтворення причинно-наслідкових зв'язків мікробіологічного ураження та хімотологічної надійності побудовано причинно-наслідкову діаграму (*Ishikava Diagram, cause effect diagram*);

- оцінено ефективність біоцидних додатків.

Наведені в роботі дані є теоретичною базою для розроблення національного стандарту щодо мікробіологічного забруднення палив і паливних систем. Отримані результати можуть бути використані для створення мікробіологічно стабільного біопалива.

Корисність, новизну та практичну значущість роботи підтверджено патентом України № 94190 від 10.11.2014 р., двома актами упровадження в навчальний процес у Національному авіаційному університеті та двома актами упровадження у виробництво в ТОВ «Дніпроавіа» (м. Дніпро) та Центр екологічної безпеки в аеропортах (м. Київ).

Особистий внесок здобувача полягає в участі у формулюваннях науково-прикладної проблеми, мети та завдань досліджень, а також аналізі літератури, виконанні експериментальної частини роботи, а також в аналізі та інтерпретації результатів досліджень. Вивчення фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей, хроматографічні випробування, дослідження індикаторів уражених авіаційних палив виконані в акредитованій Випробувальній інтерактивній лабораторії «АвіаТЕСТ» Національного авіаційного університету. Постановка завдання, планування та постановка експериментів, формулювання основних наукових положень і висновків виконано спільно з науковим керівником. У спільних публікаціях автору належить переважний внесок.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися та опубліковані в матеріалах міжнародних і вітчизняних конференцій, зокрема на III, IV, V, VI, VII Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми хімотології» (Київ, 2008, 2010, 2012, 2014, 2017, 2019); IV Всесвітньому конгресі «Aviation in the XXI century» (Київ, 2010); Міжнародній науково-технічній конференції «Systems and means of motor transport» (Poland, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2019); Міжнародній науково-практичній конференції «Поступ у нафтогазо-переробній та нафтохімічній промисловості» (Львів, 2012, 2014, 2018, 2020); Всесвітньому конгресі Petrochemistry and Chemical Engineering (USA, 2013); IX Міжнародній конференції «From Biotechnology to Environmental Protection» (Poland, 2014); XII Міжнародній науково-технічній конференції «ABIA-2015» (Київ, 2015); Міжнародному симпозіумі «International

Symposium on Sustainable Aviation» (Turkey, 2015, 2016); XIX Конференції молодих учених «Science – Future of Lithuania’ transport engineering and management» (Lithuania, 2016); I Міжнародній науково-практичній конференції «Високоякісні бітуми для будівництва українських доріг» (Львів, 2016).

Публікації. Основні результати дисертаційних досліджень та зміст роботи викладено у 30-и наукових працях: 3 розділи у 3-х монографіях (2 з них видані за кордоном), 9 статей у наукових фахових виданнях, з них 4 статті у вітчизняних фахових наукових журналах з переліку МОН, 3 статті у закордонних періодичних виданнях, 2 статті у закордонних фахових виданнях, що входять до науково-метричних баз даних, 1 патент на корисну модель і 17 матеріалів і тез доповідей на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3-х розділів, висновків, списку використаних джерел (165 найменувань) та 8-и додатків. Загальний обсяг дисертації – 166 сторінок. Дисертація містить 21 таблицю та 41 рисунок.

РОЗДІЛ 1. БІОЛОГІЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ. СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРІШЕННЯ

1.1 Історичні аспекти вивчення питання

Повітряний транспорт є одним з основних споживачів високоякісних паливно-мастильних матеріалів (ПММ). За великих масштабів споживання високоякісних нафтопродуктів питання підвищення ефективності авіаційної техніки, економії та раціонального використання авіаційних ПММ має важливе державне та економічне значення. Важливою проблемою авіапаливозабезпечення є захист вуглеводневих палив від мікробіологічного забруднення.

Працездатність та надійність роботи системи паливо забезпечення суттєво залежить від якості авіаційного палива. Найбільша кількість відмов і несправностей елементів паливної системи, двигунів та ЛА, пов'язана з якістю палива та його чистотою.

Визнання ролі мікробів як чинників погіршення якості нафтопродуктів випереджає перші повідомлення про нафтопромислові проблеми. За словами Роджерса М. та Каплана А. (1968 р.), зростання мікроорганізмів на нафтопродуктах було зафіксоване ще в 1895 році.

Перший етап вивчення деструкції вуглеводнів мікроорганізмами був зроблений вченими Söhngen N. L. та Kaserer H. у 1906 році [1,2]. Після багатьох досліджень у 1913 році вчений Söhngen доповів, що бензин, керосин, парафінова олія може бути окислений до вуглекислого газу, води та деяких органічних елементів. Вчений зазначив, що окислення здійснюється формами, ізольованими з садового ґрунту та компосту, та описав ці види мікроорганізмів у своїй роботі [3].

Вчені Tausz J. and Peter M. у 1919 році виявили та описали мікрорганізми, зрощені на субстраті з гексану, циклогексану и диметициклогексану, а также парафинової оливи [4].

Одна з самих ранніх доповідей про мікробіологічний фактор у паливі та нафті була представлена вченими Bushell L. та Haas H. в 1930-х рр., коли розвиток корозії в системах паливозабезпечення у літаках віднесли до сульфат-відновлювальних бактерій. Вони дізналися, що мікроорганізми можуть використовувати вуглеводні, як джерело енергії для життєдіяльності [5]. Фундаментальні роботи щодо мікробіологічного ураження нафти та нафтопродуктів були видані в 1954 р. Бірштехером Е. [6].

В 1960 р. було виявлено, що більш сприятливі умови для мікробіологічного забруднення, наявні в авіаційному паливі [25]. Вже в 1963 р. вченим С. Вардом було встановлено залежність ушкодження паливного баку з появою мікроорганізмів. Дослідники в 1967 році Р. Edmonds та J. Coony ідентифікували та описали мікроорганізми, виділені з паливних систем [7]. S. London, V. Finefros встановили залежність проблем в паливних системах військової авіації (забивання фільтрів, корозії) та мікробіологічною активністю (1966 р.) [9]. Вітчизняні вчені у 1969 році описали вплив мікроорганізмів на властивості нафтових палив [10]. А дослідник Park P. в 1970 р. виявив та описав біодеградацію авіаційних паливних систем [11]. Вчені Genner C. and Hill E. у 1981 р. дослідили, що паливо для повітряно-реактивних двигунів не спричиняє токсичну дію на розвиток мікроорганізмів [12]. Нейхотом Р.А. в 1988 році, був ідентифікований грибок *Normonic resinac*, як біодеструктор палива. Повітряні сили США помітили зниження проблем мікробіологічного ураження, у випадку використання адитивного діетилового ефіру монометілетиленгліколю (ДЕМЕГ) для покращення низькотемпературних властивостей в JP-4 реактивному паливі в 1962 р. (Нейхот Р.А., 1988).

Про проблеми мікробіологічного пошкодження продовжували доповідати, як в 1970 так і в 1980-тих рр. разом з проблемами палива для морських суден (Neihot and May, 1983) та дизельного палива (Readdy, 1988).

В епоху використання тетраетилсвинцю в бензині практично всі проблеми, пов'язані з мікробним забрудненням, обмежувалися авіаційним та

середньо-дистилятними паливами. Збільшення кількості випадків мікробного забруднення бензинів супроводжувалося переходом на бензин без додавання тетраетилсвинцю. З січня 1994 року, коли в США вступили в силу нові правила ЕРА щодо палива та паливних присадок, значно зросла як частота виникнення проблем з мікробним зараженням, так і інтенсивність інфекцій. Таке ж явище спостерігалось в Євросоюзі, коли з 1 січня 2000 р. було заборонено використання тетраетил свинцю для автомобільного бензину.

В Україні дослідження мікробіологічного ураження авіаційних палив виконувалися вченими та дослідниками Київського міжнародного університету цивільної авіації: Литвинов О., Ластовець А., Ерьоменко С., Лопатенко С., Полякова Л., Полякова О. Проведено багато досліджень щодо визначення мікробіологічної фази у складі авіаційних палив, засобів захисту від впливу.

Американські військові періодично проводять перевірку своїх військових баз щодо мікробіологічного забруднення палив та паливних систем військових літаків. Результати досліджень свідчать про актуальність проблеми мікробіологічного забруднення авіаційних палив для військової авіації [15].

На теперішній час активно вивчення питання біологічної стабільності нафтопродуктів, зокрема авіаційних палив (АП), активно займаються американські вчені, окремі дослідження виконують австралійські, новозеландські, африканські дослідники. В останнє десятиріччя з'явилося багато доповідей з результатами досліджень вчених з Південної Кореї, В'єтнаму, Китайської народної республіки.

Широка зацікавленість вчених і дослідників багатьох країн свідчить, що проблема мікробіологічного ураження нафтопродуктів, зокрема авіаційних, є актуальною і не зникла з розвитком бази хімічних додатків та розробки технологічних рішень для паливних систем і засобів зберігання палив.

1.2 Мікробіологічне забруднення авіаційних палив

1.2.1 Мікроорганізми як забруднювачі авіаційних палив

Усі об'єкти матеріального світу, зокрема промислові матеріали підлягають мікробіологічному ураженню (рис. 1.1) .



Рис. 1.1. Співвідношення біопшкодження промислових матеріалів [18].

Аналізування літератури щодо біоураження нафтопродуктів, свідчить, що паливно-мастильні матеріали (ПММ) - це одна з найбільш нестійких до біоуражень продукція. Мікробіологічній деструкції підлягають практично усі види ПММ: моторні палива, оливи, мастила, мастильно-холодильні рідини, бітуми [6, 10, 12, 13,17-22].

Багаточисельні дослідження вчених і дослідників з усього світу підтверджують, мікробіологічне забруднення АП здійснюють гриби, бактерії, та дріжджі.

Мікроорганізми – це специфічна форма існування живої матерії. Вони відрізняються чисельністю, різноманітністю форм, розповсюдженням, широкою сферою взаємодії з середовищем та масштабністю впливу на нього [6,12].

На теперішній момент виявлено та ідентифіковано понад 150 видів мікроорганізмів, здатних до деструкції вуглеводнів [16]. Це властивість мікроорганізмів є вагомою проблемою в нафтовидобутку, нафтопереробці, нафтохімії і, особливо, під час використання нафтопродуктів. На

сьогоднішній день вивчення проблеми біодеструкції вуглеводнів є досить актуальною. Дослідження показали, що мікроорганізми, які знаходяться у паливі, настільки всюдисущі та різноманітні, настільки здатні легко пристосовуватися до умов існування та видів нафтопродуктів, що повністю знищити їх неможливо. Тому згадана проблема буде залучати постійну увагу та вимагати великих затрат.

Бактерії класифіковано як прокаріотичні клітини, які у своїй будові мають цитоплазму, яка оточена цитоплазматичною мембраною, клітинну стінку, капсулу, джгутики, ворсинки тощо та характеризуються високою швидкістю розмноження. Відомо, що форма бактерій є видовою ознакою [23]. Лінійні розміри бактерій складають у середньому 0,15-3 мкм [24].

Відомо, що гриби – різнорідна група еукаріотичних мікроорганізмів, які мають ядро з ядровою оболонкою, цитоплазму з органелами, цитоплазматичну мембрану та міцну клітинну стінку. Гриби складаються з довгих тонких нитеподібних волокон (гиф) завтовши 5 мкм, що сплітаються в міцелій [23, 24]. Гриби – це специфічні рослинні організми, які не мають хлорофілу і не синтезують органічні речовини, Грибам потрібні для здійснення життєдіяльності готові органічні речовини.

Встановлено, що дріжджі – це мікроскопічні одноклітинні гриби, що розмножуються поділом або брунькуванням. Тобто термін «дріжджі» не має таксономічного значення. Розміри дріжджів становить: діаметр у найдрібніших у межах 1,5–2 мкм, діаметр у великих клітин у межах 8–10 мкм, довжина деяких видів може сягати 20–25 мкм [24].

Здійснення нормального метаболізму, росту та розмноження, можливе тільки у водному середовищі, що є характерною особливістю усіх мікроорганізмів, встановленою вченими [24].

Варто зазначити, що в процесі індивідуального розвитку мікроорганізму ферментна система для здійснення метаболізму може змінюватися. Наприклад, для бактерій ця властивість пластичного метаболізму є

необхідною через дуже малий розмір клітини і неможливість вміщувати увесь можливий спектр ферментів [24].

Відомо, що під час зростання на поживному середовищі мікроорганізми проходять 5 фаз росту та розмноження, під час яких змінюються розміри клітин, швидкість розмноження, морфологічні та фізіологічні характеристики (рис. 1.2) [13].

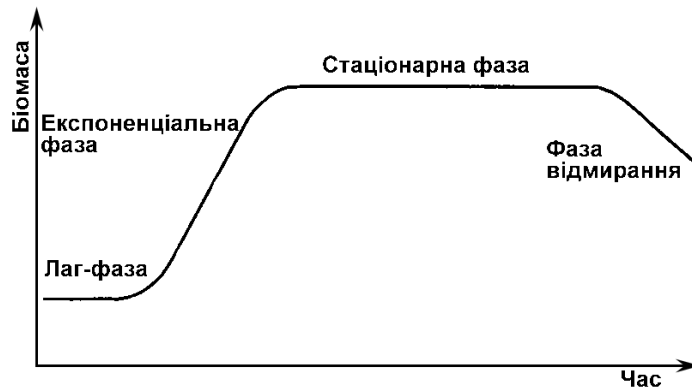


Рис. 1.2. Фази зростання мікроорганізмів на поживному середовищі [13]

Перша фаза – лаг-фаза – фаза пристосування, в цей час в клітинах підвищується вміст нуклеїнових сполук, що є свідченням активної підготовки та подальшому активному розмноженню. Друга фаза – експоненціальна – характеризується високою активністю розмноження клітин і обмежуючим чинником якої є кількість поживних речовин. Стаціонарна фаза (третья) – фаза помірному зростання, кількість новоутворених клітин дорівнює кількості відмираючих клітин. Фаза відмирання – остання – характеризується зменшенням живих клітин через їх відмирання [13, 23].

За результатами ідентифікації багатьох вчених [6, 10, 12, 17-36] основними представниками мікроорганізмів-деструкторів вуглеводнів є:

1) анаеробних і аеробних бактерій - *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Artrobacter*, *Bacillus*, *Bacterium*, *Brevibacterium*, *Citrobacter*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Desulfovibrio*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Flavobacterium*,

Metanobacterium, Micrococcus, Micromonospora, Mycobacterium, Nicrococcus, Pseudomonas, Sarcina, Serratina, Spirillum, Vibrio, Thiobacillus;

2) грибів (або мікроміцетів) – *Alternaria, Aspergillus niger, Aspergillus fumigatus, Hormoconis resinae, Monascus floridanus, Phialophora sp., Cephalosporium, Penicillium;*

3) дріжджів – *Candida, Debaryomyces, Endomycopsis, Hansenula, Rhodotorula, Saccharomyces, Torula, Torulopsis, Trichoderma, Trichosporon.*

По відношенню до повітря мікроорганізми поділяються на дві групи: аеробні, що розвиваються в умовах доступу повітря, та анаеробні, що здатні розвиватися без доступу повітря. Тому процес розмноження мікроорганізмів може відбуватися на поверхні нафтопродукту і його товщі [16].

Багато вчених та дослідників відмічають, що міцеліальні гриби найчастіше зустрічається в авіаційних паливах та паливних системах та становлять небезпеку для нормального функціонування паливних систем [9, 12, 15, 16, 25-29, 36, 41-43].

На думку вчених [42], виділені з палива гриби можна за ступенем активності зростання (рис. 1.3) можна поділити на:

- активні деструктори;
- потенційні деструктори;
- частково адаптовані та випадкові види.

Активним представником грибів, так названим «керосиновим» грибом є *Hormoconis resinae* (рис. 1.4) [32-43]. В природних умовах цей грибок живе в ґрунтах субтропічної та тропічної зони. «Керосиновий грибок» – активний деструктор. Насьогодні наявна інформація щодо його присутності в зразках авіаційних палив з Австралії, у великій кількості – Бразилії та Каліфорнії, Великобританії, Данії, Індії, Сирії, Нігерії, Японії, Нової Зеландії [39-41]. Очевидно, що розвиток авіації та географії польотів сприяє поширенню гриба в інших географічних зонах. В науковій літературі він відомий під іншими назвами: *Hormodendrum resinae, Cladosporium resinae, Amorphotheca resinae* [44].

Мікроміцети

1.3.

Активні деструктори	Потенційні деструктори
Hormoconis resinae Monascus floridanus	Altemaria altemata Aspergillus ustus Fusarium solani Geotrichum candidum
Частково адаптовані до середовища і випадкові види	
Altemaria altemata Aspegillus chevalieri Aspegillus fumigatus Aspegillus niger Botryotrichum piluliferum A. sydowii	Chromelosporium fulvum Cladosporium bruhnei C. macrocarpum C. cladosporioides Phoma eupyrena Penicillium adametzii

Рис.

Класифікація мікроорганізмів за активністю зростання в паливі

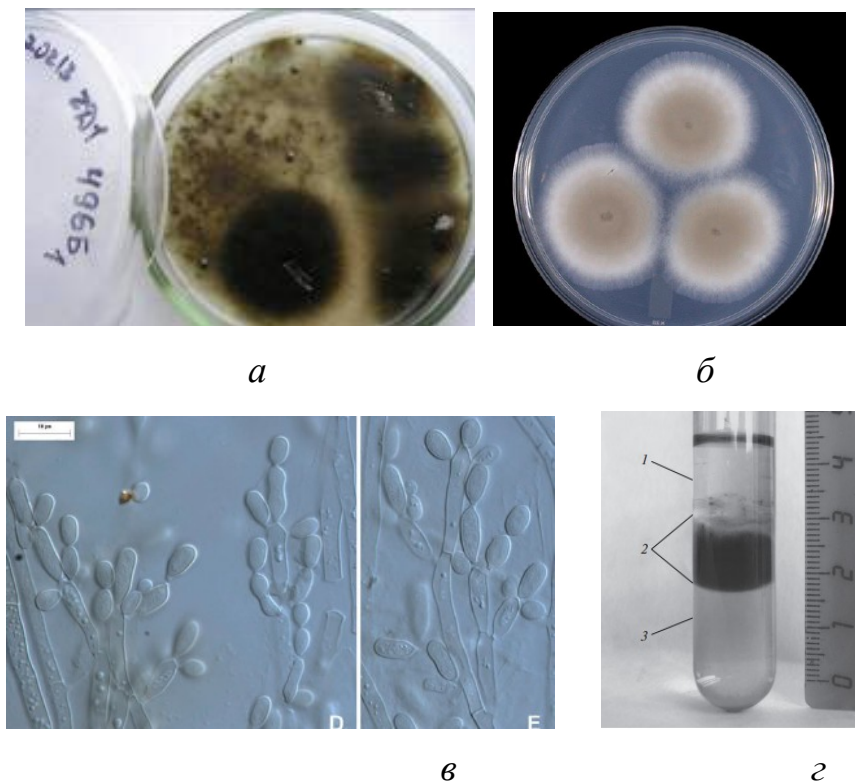
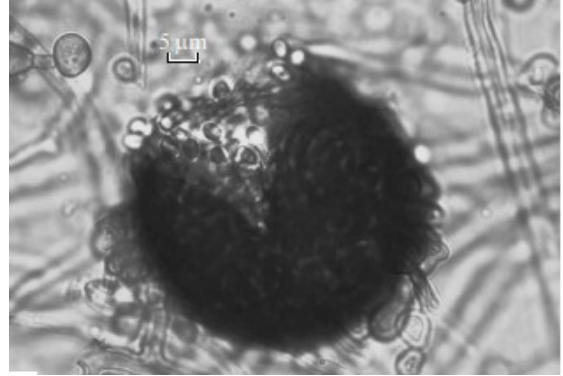


Рис. 1.4. Вигляд *Hormoconis resinae*: а – в паливі ТС-1 [43], б – на поживному середовищі PDA [41], в – під мікроскопом [41], г - міцеліальний згусток після 1 місяця зростання в пробірці з паливом та поживним середовищем

Вченими був виділений та ідентифікований з фільтраційної системи літака ще один активний деструктор (рис. 1.3) *Monascus floridanus* (рис. 1.5), який теж можна назвати «керосиновим» грибом [42, 46, 47].



a



б

Рис. 1.5. Вигляд *Monascus floridanus* [47]: *a* – на агарі, *б* – під мікроскопом

1.2.2 Умови розвитку мікробіологічного забруднення

Мікроорганізми – це високоактивні організми, життєдіяльність яких здійснюється у відповідності до загальнобіологічного закону: чим менший розмір організму, тим інтенсивніший в нього обмін речовин. Ферменти мікроорганізмів здатні до впливу на великий об'єм поживного субстрату в одиницю часу. Мікроорганізми, які не мають відповідних ферментних систем для окислення невідомого їм продукту, здатні в процесі пристосування до нового джерела живлення виробляти адаптивні ферменти [24].

Встановлено, що природно-кліматичні умови визначають чисельний та якісний склад мікроорганізмів та їх діяльність в середовищі існування. А швидкість розвитку та поширення мікроорганізмів, в свою чергу, залежить від таких чинників [16, 24-28]:

- кисень;
- волога;
- температура;

- поживні речовини;
- рН.

Мікроорганізмам для розвитку потрібна вільна вода, органічне джерело харчування, неорганічні поживні речовини, відповідна температура та відповідний рН для розвитку. Деяким потрібен кисень для здійснення метаболізму. Усі ці чинники можуть створюватися у засобах використання та зберігання авіаційних палив.

Органічне середовище. Нафтопродукти містять достатню кількість органічних поживних речовин для розвитку мікроорганізмів-нафтодеструкторів. Мікроорганізми, як правило, краще споживають низькомолекулярні (до C₁₈) аліфатичні вуглеводні з прямими ланцюгами. Здатність нафтопродуктів до біодеструкції має тенденцію збільшуватися зворотно пропорційно до вмісту ароматичних сполук та температури дистиляції. Тобто, середньодистилятні палива та бензини особливо схильні до біодеструкції та мають низький рівень біологічної стійкості [16,48].

Наявність вологи. Вода – це критичний чинник розвитку та метаболічної активності мікроорганізмів в авіаційних паливах [51-54]. Як зазначено вище, життєдіяльність мікроорганізмів залежить від води, так як вода складає 75-90% маси вегетативної клітини [24].

В нафтовій промисловості розрізняють три види води [49]:

1. вільна вода, складається з донної води та води, що накопичується в біоплівках (колоніях мікроорганізмів) на стінках резервуарів та трубопроводів;
2. емульгована вода розсіюється у вигляді краплин всередині палива, розмір яких становить від $3,9 \times 10^{-5}$ дюйма до $2,5 \times 10^{-2}$ дюйма;
3. розчинена вода, утворення якої в паливі відбувається з підвищенням температури;

Вільна вода потрапляє до палива з дощем (особливо в резервуарах з плаваючою кривлею), з баластної води морського судна, крізь протікаючи

дефектні ущільнення та вентиляційні отвори в системі, залишків, що утворюються після зачищення резервуарів.

Волога у паливі також утворюється через перепад температур, з конденсату. Під час охолодження палива вода конденсується і на стінках та дні баків утворюються краплини вільної води. Наприклад, в паливних баках літаків волога конденсується на стінках баків [15, 49].

Палива для ПРД гігроскопічні. Під впливом зовнішніх чинників паливо здатне до поглинання вологи, яка може переходити з палива в навколишнє середовище або утворювати емульсію води у паливі. З часом краплини емульсійної води зливаються під впливом гравітаційних сил та утворюють відстійну воду. Розчинність води у паливі визначається багатьма чинниками, основні з яких – це температура, тиск, відносна вологість повітря, з яким зустрічається паливо, та вуглеводневий склад палива [49].

Кількість розчиненої води пов'язана з довжиною вуглеводневого ланцюга, наявністю ароматичних структур та температурою. Парафіни з коротким ланцюгом розчиняють більше води ніж парафіни з довшим ланцюгом. На думку вченого Park P. B., керосин здатний до мікробіологічного ураження, зокрема, через властивість поглинати воду [11].

Вода, що наявна в зовнішньому середовищі, може бути доступною або недоступною. Встановлено, що ступінь доступності води для мікроорганізмів визначають показником активності води, який характеризує ступінь зв'язаності її молекул. Для чистої вільної води цей показник дорівнює одиниці, а для води, що знаходиться в певній взаємодії з іншими речовинами, менше одиниці. Отже, мікроорганізми можуть зростати в середовищах з коефіцієнтом доступності води в межах 0,6-0,9 [24, 53].

Після розмноження мікроорганізми в процесі біодеструкції вуглеводнів палив починають виділяти воду як один з кінцевих продуктів свого метаболізму. За результатами досліджень вчених, наприклад, *Hormoconis resiniae* в процесі чотиритижневого розвитку може виділяти 0,94 г води на 1 л палива [50].

Деякі бактерії та спори грибів здатні виживати в зневодненому паливі від декількох місяців до декількох років (наприклад, *Hormoconis resinae*). Виконі вченими [21] дослідження щодо виживання *Ps. aeruginosa* та спор гриба *Hormoconis resinae* в різних паливах без водної фази за температур 18-20 °С, 28-30°С та 37°С показали, що *Ps. aeruginosa* не розвивається після висівання з палив через 1–2 тижні, а спори *Hormoconis resinae* залишаються життєздатними у більшості палив тривалий час (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Дослідження життєздатності грибів без водної фази

Паливо	Термін зберігання життєздатності, місяці		
	18-20°С	28-30°С	37°С
ТС-1	20	18	10
Т-6	17	17	17
РТ	11	17	17
Д-Л	20	20	20
А-93	10	6	6
Б-70	1,5	5	3

Результати досліджень свідчать про витривалість спор гриба *Hormoconis resinae* в паливі за відсутності води, що становить загрозу його розвитку у випадку потрапляння вологи до палива та відповідної температури. Потрібно зазначити, що на момент виконання досліджень (70-ті роки минулого століття) в автомобільні бензини додавалась антидетонаційна присадка – тетраетисвінець, яка через свою токсичність перешкоджала збереженню життєздатності спор даного гриба.

Кисень. По відношенню до кисню мікроорганізми поділяються на дві групи: аеробні (здатні до розвитку в умовах доступу кисню) та анаеробні (розвиваються за умови відсутності кисню) .

Такі мікроорганізми як *Pseudomonas* використовують кисень для аеробного дихання, проте можуть використовувати нітрати для анаеробного дихання. Кисень присутній в резервуарах для зберігання палив. Керосин може містити більше 300 ppm розчиненого кисню [12]. Для розвитку

анаеробних мікроорганізмів, наприклад сульфатвідновлюючі бактерії SRB, кисень не потрібен для вироблення енергії. Сильне забруднення аеробними мікроорганізмами на дніщі резервуару може привести до утворення біомаси з анаеробними умовами під нею.

Неорганічні поживні речовини. Азот, сірка, фосфор, калій, магній, кальцій, залізо, селен, цинк – це основні неорганічні поживні речовини, необхідні для розвитку та метаболізму мікроорганізмів-нафтодеструкторів [24]. Хлорид натрія, вольфрам та нікель можуть бути теж необхідні мікроорганізмам. Вода, пил та паливні добавки можуть забезпечувати наявність таких поживних речовин [53, 54].

Температура. Кожен вид мікроорганізмів має свій діапазон мінімальної, оптимальної та максимальної температур для розвитку та виживання. Зі збільшенням температури в межах цього діапазону пришвидшується метаболізм мікроорганізмів [13, 24, 30, 48, 54]. При перевищенні максимальної температури клітинний мікроорганізм перестає функціонувати та мікроорганізм помирає. Оптимальна температура для більшості мікроорганізмів-нафтодеструкторів складає 25–30°C. Проте зафіксоване зростання мікроорганізмів і за температури 2°C та 55°C [50].

Реакція мікроорганізмів, що розвиваються за рахунок вуглеводнів авіаційних палив, на перепад температур дуже різноманітна та залежить від фізіологічних особливостей мікроорганізмів [36].

По відношенню до температури (рис.1.6) мікроорганізми поділяються на [13, 24]:

– психрофіли – мікроорганізми, які розвиваються за температур до 10 °C;

– мезофіли – мікроорганізми, які найкраще розмножуються за помірних температур 25–40 °C;

– термофіли – мікроорганізми, які активно розмножуються за температур вище 50°C).

Відносна активність, %

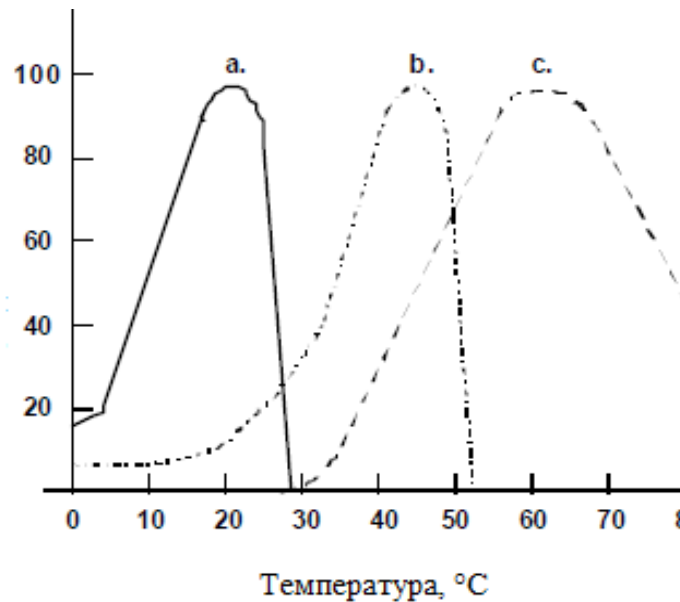


Рис. 1.6. Вплив температури на мікробіологічну активність: а – психрофілів; б – мезофілів; с - термофілів

Більшість мікроорганізмів-нафтодеструкторів належить до групи, яка активно розвивається за температур 20–50°C, тобто мезофілів. Як видно з рис. 1.6 метаболічний потенціал мікроорганізмів зростає зі збільшенням температури в межах оптимального діапазону. Нижча температура за оптимальний діапазон уповільнює розвиток мікроорганізмів. Клітини мікроорганізмів можуть гинути або уповільнювати свій розвиток деякий час, якщо температура перевищує оптимальний діапазон. Деякі мікроорганізми активно розвиваються за помірних температур, проте можуть витримати температуру кипіння [48].

Цей висновок підтверджують дослідження вчених [36] на прикладі грибів *Hormoconis resinae* та *Phialophora sp.*, які були виділені з зразків авіаційного палива. За результатами вказаних досліджень обидва штами зберігають свою життєздатність за температури мінус 57°C (табл. 1.2) [36]. Спори *Hormoconis resinae* залишається життєздатним за температури 60°C не більше 3-х діб та гинули за температури 70°C. Спори *Phialophora sp.* залишаються життєздатними за температури 55°C не довше доби та гинули за температури 60°C.

Таблиця 1.2

Життєдіяльність грибів за екстремальних температур ВІАМ

Назва гриба	Час, доба	Температура, °С							
		-57	-20	40	45	50	55	60	70
<i>Hormoconis resiniae</i>	1	+	+	+	+	+	+	+	-
	3	+	+	+	+	+		+	-
	7	+	+	+	+	+	+	-	-
<i>Phialophora sp.</i>	1	+	+	+	+	+	+	-	-
	3	+	+	+	+	+	-	-	-
	7	+	+	+	+	-	-	-	-

Примітка: «+» - збереження, «-» - відсутність життєдіяльності.

Найбільш активний розвиток обох видів на паливі спостерігався за температури 28°C (табл. 1.3) [36].

Таблиця 1.3

Розвиток мікроорганізмів в паливі за позитивних температур (в балах)

Назва гриба	Час прояву ознак зростання, доба	Температура, °С			
		9	18	28	36
<i>Hormoconis resiniae</i>	7	0	0	0	0
	14	0	1	2	0
	21	1	2	3	1
<i>Phialophora sp.</i>	7	0	0	2	0
	14	1	2	4	2
	21	2	2	4	3

Примітка: 0 – відсутність ознак зростання, 1 бал – помутніння водного шару, утворення осаду, 2 бали – поява дрібних пластівців у водному шарі, 3 – поява великих пластівців у водному шарі, 4 бали – утворення невеликих згустків, 5 балів – утворення великих згустків.

Відомо, що спори штамів *Aspergillus fumigatus*, виділених з палива надзвукових літаків, виживають за температури до мінус 32°C та 80°C [30].

За свідченням вчених деякі види родів *Aspergillus* та *Cladosporium* виживають під час охолодження до мінус 196 °С [56].

Ефект рН. Встановлено, що більшість мікроорганізмів, здатних до деструкції вуглеводнів палив, розвиваються при нейтральному рН [24]. Гриби розвиваються за рН 4-6, бактерії SRB найкраще усього зростають за рН 7,5 [57]. Рівень рН підтоварної води в резервуарах є безпечним середовищем для розвитку мікроорганізмів так як її рівень рН знаходиться в діапазоні 6-9 [48].

Відомо, що вплив рН на мікробну клітину може бути прямим або опосередкованим. У випадку опосередкованого впливу, рН здійснює вплив на поживні компоненти зовнішнього середовища, що, в свою чергу, впливає на проникненість цих компонентів в клітину мікроорганізму [24].

Рівень рН може впливати на розвиток різних видів мікроорганізмів у під товарній воді. Вчені Р. Нейгоф та М. Мей [14] вивчали види мікроорганізмів, що розвиваються в паливних баках на морських судах, де морська вода використовувалася в баластній системі суден та накопичувалась на днищі паливних баків. рН морської води становить 8. За результатами цих досліджень встановлено, що *Hormoconis resiniae* розвивається в баках за наявності дріжджів *Candida sp.* *Candida sp.* продукує кислі метаболіти, які зменшують рівень рН. Ця здатність дріжджів створює умови для розвитку *Hormoconis resiniae*, які погано розмножуються при лужному рН. Результати цих досліджень також показали, що низький рівень рН пригнічує розвиток бактерій-нафтодеструкторів, а високий рівень рН пригнічує розвиток грибів (табл. 1.4).

Зокрема встановлено, що деякі мікроорганізми-нафтодеструктори здатні за допомогою вироблення органічних кислот зменшити рівень рН, тим самим даючи можливість розмножуватися іншим мікроорганізмам-нафтодеструкторам [57].

Таблиця 1.4

Вплив рН на розвиток мікроорганізмів-нафтодеструкторів

pH	Мікроорганізми, що інтенсивно розвиваються	Неактивні мікроорганізми	Мікроорганізми з пригніченим розвитком
<4	Гриби та дріжджі	Нетипові бактерії	Бактерії, зокрема SRB
4–8	Гриби та дріжджі	Бактерії, SRB	-
> 8	Бактерії SRB	Гриби	Гриби та дріжджі

Клімат. Вологість повітря, кількість води в навколишньому середовищі залежить від географічного положення, клімату, зокрема кількості опадів. Вчений F. Passman [48] розробив критерії оцінювання ризику мікробіологічного ураження нафтопродуктів на основі середньорічної кількості опадів: низький (середньорічна кількість опадів становить 64 см), середній ризик (середньорічна кількість опадів – від 64 см до 190 см), високий ризик (середньорічна кількість опадів – більше 190 см) та кількості днів, коли це відбувається (низький ризик – менше 100 днів на рік, середній ризик – від 100 до 200 днів на рік, високий ризик – більше 200 днів на рік).

1.2.3 Локалізація в паливі та паливних системах

Встановлено, що мікроорганізми-нафтодеструктори активно розвиваються на межі поділу паливо-вода за рахунок засвоєння вуглеводнів палива та можливості здійснення біохімічних реакцій перетворення цих вуглеводнів в середовищі води [38, 43, 48, 49, 50, 52, 54, 57]. В ємностях на межі водного та вуглеводневого шару накопичується найбільше скупчення мікроорганізмів та продуктів їх життєдіяльності (рис. 1.7). З рис. 1.7 видно, що мікробіологічне забруднення палив характеризується утворенням студнеподібної слизистої аморфної маси від світло-сірого до темно-коричневого кольору.

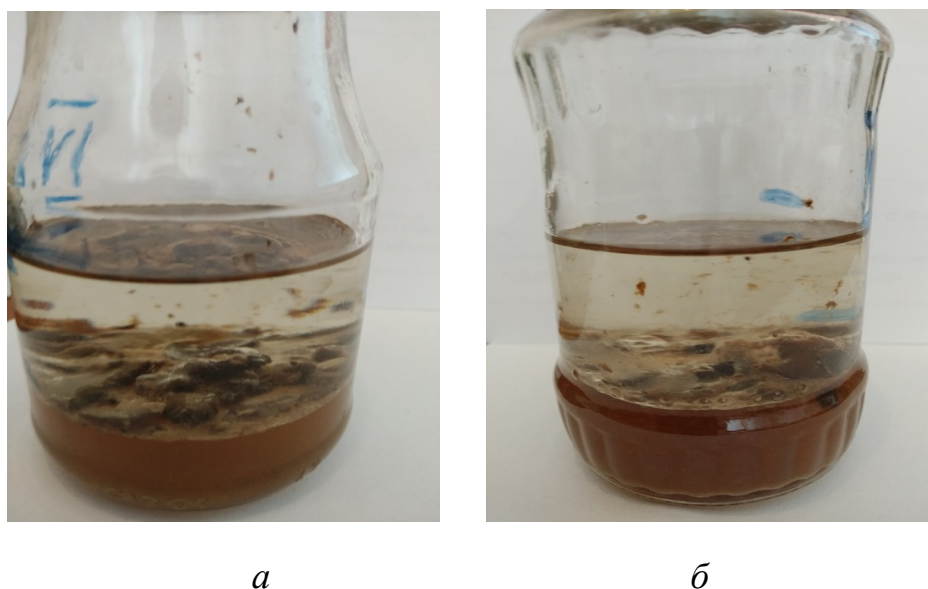


Рис. 1.7. Зразки АП з мікробіологічним забрудненням (ВІЛ «АвіаТЕСТ»): *а* – паливо РТ з бака літака, *б* – паливо ТС-1 з днища резервуару

Згідно досліджень вчених [17], мікроскопування зі 20–70-кратним збільшенням мікробіологічне забруднення палив має вигляд сплетіння тонких нитеподібних структур та різноманітних форм плівок, а також клітин паличкоподібної або овальної форми. Нитеподібні форми мають діаметр 1-3 мкм з перегородками, включеннями, виростами на поверхні. Автори цього дослідження відмічають, зокрема, високий вміст білка (більше 5%) та азоту (більше 2%). Вигляд мікробіологічного забруднення палив під мікроскопом визначався і у Випробувальній інтерактивній лабораторії «АвіаТЕСТ» (ВІЛ «АвіаТЕСТ») Національного авіаційного університету (НАУ) (рис. 1.8). Забруднення слизеподібного вигляду темно-коричневого кольору – це скупчення нитеподібних, паличкоподібних та овальних форм.

Аналізування літературних джерел свідчить, що розвиток мікробіологічного ураження в паливних системах починається в місцях накопичення води (рис. 1.9). Отже, донна частина наземних та підземних резервуарів, паливопроводи – зони підвищеного ризику розвитку

мікробіологічного забруднення. Наприклад, в 0,1 мл палива, узятого з дна резервуару, може міститися до 2400 колоній мікроорганізмів [58].

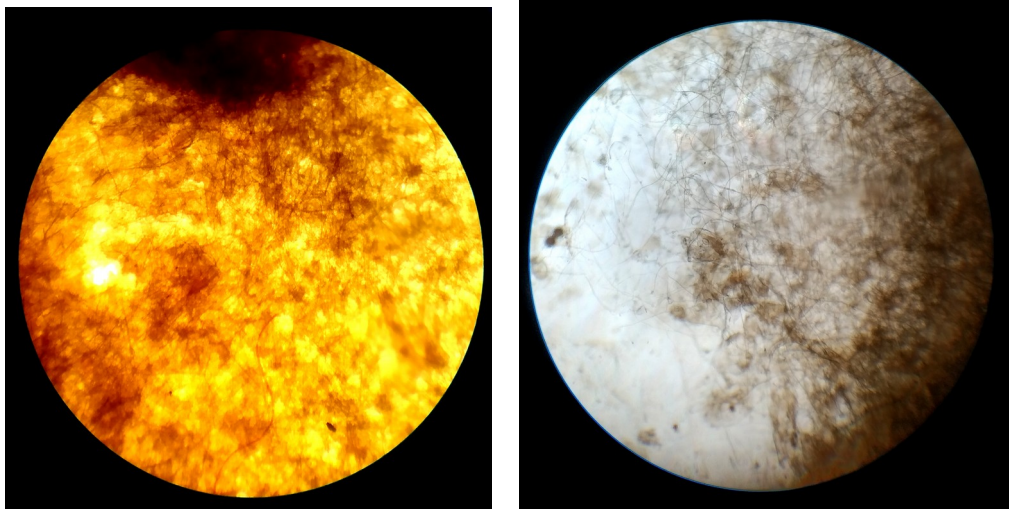


Рис. 1.8. Вигляд мікробіологічного забруднення (збільшення 100x)

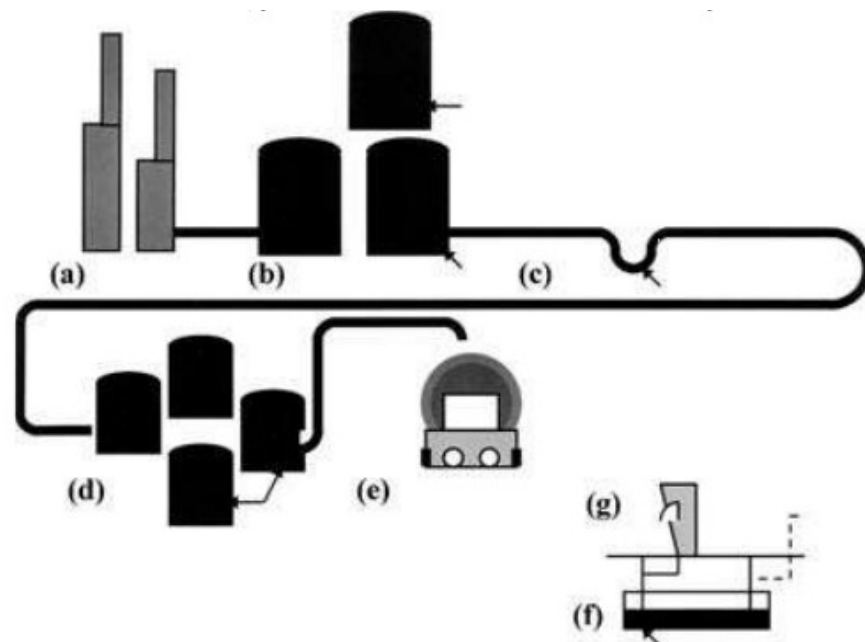


Рис. 1.9. Схема розподілу палива та місць виникнення мікробіологічного забруднення (стрілками вказані місця, де вода та мікробіологічні забруднення мають тенденцію накопичуватися) [55]: (a) – ректифікаційні колони НПЗ; (b) – резервуари НПЗ; (c) – паливопроводови для транспортування палива; (d) – резервуари терміналу розподілу палива; (e) – комерційна станція дозування та автоцистерни; (f) – підземний резервуар для зберігання продукту; (g) – роздрібна система дозування

Багато дослідників відмічають, що в літаках активними місцями розвитку мікроорганізмів є паливні баки та фільтри (рис. 1.10). Було встановлено після перевірки скритих панелей паливних баків повітряних суден (ПС) поширення їх мікробіологічного ураження у вигляді суцільного темного нальоту міцелію гриба, прикріпленого до герметика. Також були виявлені окремі колонії грибів діаметром 2,5–3 см у вигляді слизеподібних згустків світлокоричневого кольору, прикріплені до матеріалу бака або плаваючі у паливі [58]. Багато вчених відмічають появу мікробіологічного забруднення саме в паливних баках ПС [15, 28, 30, 35, 48, 50, 51, 52].

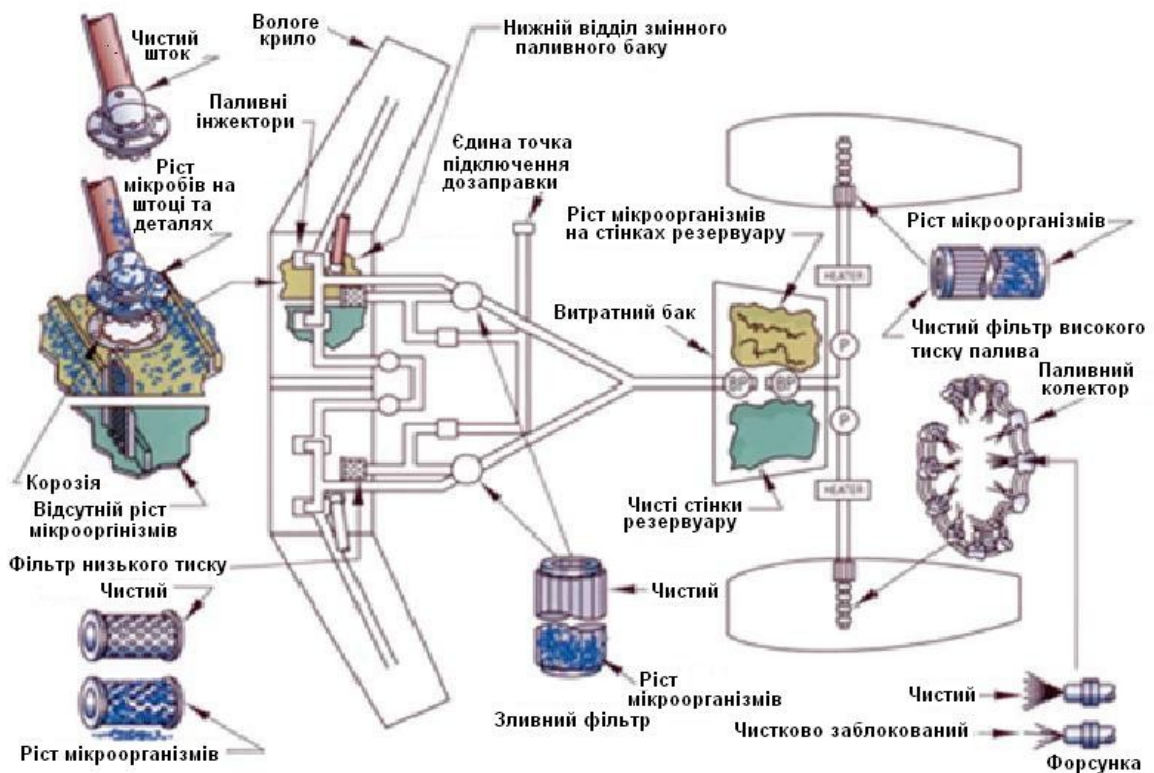


Рис. 1.10. Поверхні паливної системи ПС, які схильні до зростання мікроорганізмів при забрудненому паливі

Отже, компоненти паливної системи ПС та засоби зберігання ПММ на складах ПММ здатні до біоураження через паливо та появу води.

Попередній аналіз зразків палив з різних ділянок паливної системи ПС, виконаний дослідниками Київського міжнародного університету цивільної

авіації (тепер Національний авіаційний університет (НАУ)) показав, що за ступенем активності зростання мікроорганізмів на паливі найбільш багаті зразки з фільтрів. Аналізування літературних джерел, а також спостереження та дослідження підтверджують, що забивання паливних фільтрів може здійснюватися і мікробіологічним забрудненням, що має вигляд липкої маси, слизу та утворень, схожих на волок [59].

Варто зазначити, що за результатами багаточисельних обстежень паливних систем літаків серед виділених мікроорганізмів гриб *Hormosconis resinae* зустрічається найчастіше [17,58].

1.2.4 Біоплівка

Відомо, що біоплівка – це сукупність мікроорганізмів, продуктів їх метаболізму на межі поділу фаз. Поява біоплівок – важливе явище, тому що на 1 см² плівки кількість мікроорганізмів в 200 разів більша, ніж в 1 см³ навколишнього рідкого середовища [13]. Цей конгломерат характеризується чіткою взаємодією мікроорганізмів між собою та поверхнею, яку вони вкривають.

Відомо, що клітини мікроорганізмів не індивідуально знаходяться в просторі поживного середовища, а у вигляді специфічно організованих угруповань (біоплівок). Варто зазначити, що кількість мікроорганізмів в біоплівці складає 5–35%, інша частина – це міжклітинний матрикс [13].

Встановлено, що біоплівки є спільнотами мікробних клітин, які беруть участь в різних процесах, зокрема і промислових обростаннях. Клітини біоплівки знаходяться в гідратованому синтезованому самими мікроорганізмами матриксі. Призначення матрикса різноманітне: від забезпечення структурної жорсткості і забезпечення механічної стабільності, захисту від зовнішнього середовища до адсорбції поживних речовин. Автори також зазначають, що якісний та кількісний склад залежить від мікроорганізмів, що формують біоплівку, та від умов, в яких формується біоплівка. Вода є найбільшим компонентом матриксу біоплівки. Матрикс

створює дуже гідратоване середовище, здатне значно довше утримувати вологу, ніж оточуюче середовище, тим самим, оберігаючи біоплівки від змін водного балансу [60]. За висновком вчених, в природних умовах, склад біоплівкоутворюючих мікроорганізмів міжвидовий в більшості випадків [61].

Слід взяти до уваги, що біоплівка товщиною в 1 мм на стінках резервуара може здатися незначною, проте вона в 100 разів більше товщини багатьох грибів, і від 500 до 1000 разів більше шару багатьох бактерій. У мікросередовищі біоплівки, умови можуть значно відрізняються від тих, що в навколишньому середовищі.

Отже, можна уточнити попереднє визначення: біоплівка – це складна та щільна форма співіснування мікроорганізмів різних видів, яка дає можливість спростити метаболізм поживних речовин та захищає від зовнішнього негативного впливу.

З огляду на вищесказане та зазначені дослідження вчених, можна зробити висновок, що угруповання мікроорганізмівна межі поділу паливо-вода є біоплівкою (рис. 1.7). На нашу думку, тому біоплівки мікроорганізмів-нафтодеструкторів становлять небезпеку для паливних систем та засобів зберігання ПММ, враховуючі їх розмір, міцність та щільність.

1.3 Вплив мікробіологічного забруднення на хімотологічну надійність роботи техніки

Враховуючі перелічені властивості мікроорганізмів-нафтодеструкторів, дослідження багатьох вчених та зафіксовані випадки мікробіологічного ураження палив та паливних систем здійснюють негативний вплив на якість палива та засоби його використання.

1.3.1 Мікробіологічна фаза – джерело забруднення авіаційних палив

Працездатність та надійність роботи системи паливної системи суттєво залежить від якості авіаційного палива. Найбільша кількість відмов і несправностей елементів паливної системи, двигунів та ПС, пов'язана з

якістю палива та його чистотою. Чистота палив – це допустимий рівень присутності сторонніх домішок різного походження у складі палив, при якому робота паливорегулювальної та паливопостачальної апаратури здійснюється безперебійно. Допустимий рівень присутності визначається розміром домішок згідно ДСТУ ГОСТ 17216:2004 [62] та для авіаційних палив складає 6–7 клас чистоти (встановлюється експлуатаційно-технічною документацією виробників ПС). Чистота палив – змінна характеристика якості палив, може змінюватися на різних етапах життєвого циклу палив. Багаточисельні дослідження та результати контролю якості палив щодо вмісту домішок підтверджують, що ця характеристика залежить від складу самого палива, зовнішніх умов (стану довкілля: вологості та наявності пилу у повітрі), технічного стану засобів використання палив (транспортування, зберігання, заправлення та паливних баків ПС) тощо.

На думку багатьох вчених, мікробіологічну фазу потрібно розглядати як вид забруднення [49]. Тобто чистота авіаційних палив визначається наявністю механічних домішок, води та мікробіологічної фази і класифікується за агрегатним станом (рис. 1.11).

Належність мікробіологічної фази до сторонніх домішок, що впливають на рівень чистоти, пояснюється декількома чинниками. По-перше, це розмір: окремі клітини мікроорганізмів достатньо малі (див. п. 1.2.1) і не становлять небезпеки для фільтрування, проте угруповання мікроорганізмів (колоній, біоплівки) у складі палив може мати видимі навіть людському зорові розміри. По-друге, поверхнево-активні властивості (ПАВ) речовин, що виділяються в процесі метаболізму мікроорганізмів, так званих біосурфактантів (біоПАВ) [64], які позитивно впливають на коагуляцію механічних домішок, особливо у присутності води. По-третє, слизеподібність та липкі властивості колоній або біоплівки мікроорганізмів.

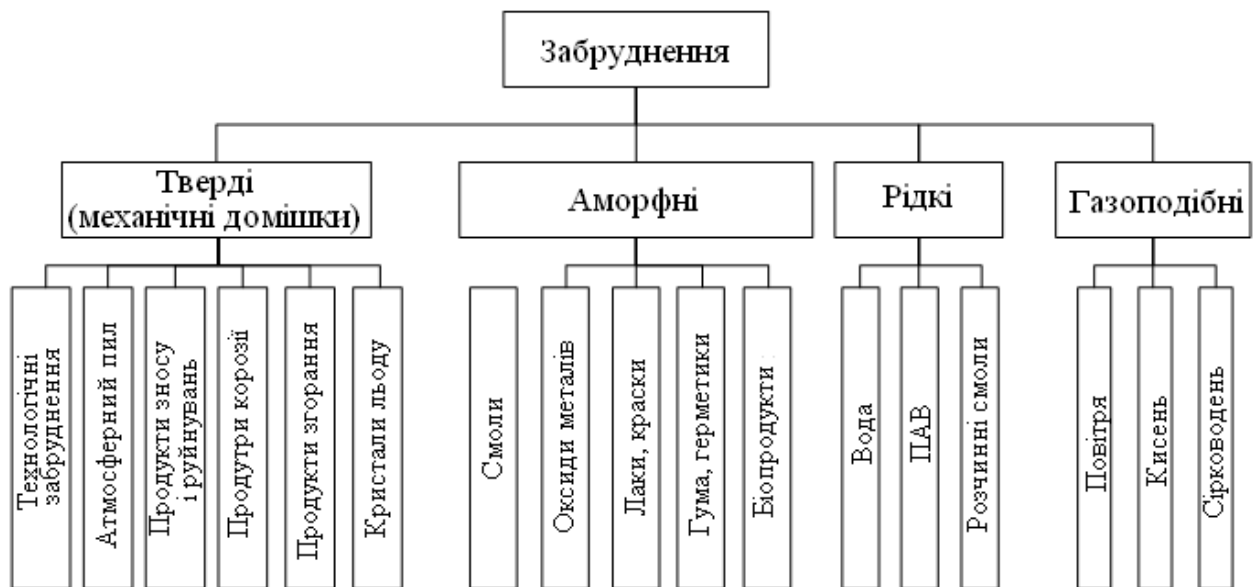


Рис 1.11. Класифікація забруднень за агрегатним станом [49]

Таким чином, фільтраційний процес АП порушується через забивання пор фільтрів та «налипання» на фільтраційному матеріалі мікроорганізмів, що призводить до їх розвитку в корпусах фільтрів, порушує роботу паливних датчиків та впливає на безперебійне подавання палива до двигуна ПС. Тому важливо дотримуватись діючих нормативних вимог до чистоти АП, забезпечувати ступеневий підхід очищення АП на шляху до крила ПС, вчасно перевіряти працездатність фільтруючих засобів та вчасно визначати наявність мікробіологічного забруднення.

1.3.2 Вплив мікробіологічного забруднення на якість палив

Відомо, що надійність роботи паливних систем та засобів використання палив визначається здатністю АП до збереження якості в межах, встановлених нормативними документами, тобто стабільністю. Розрізняють фізичну, хімічну, термоокислювальну та біологічну стабільність палив (рис.1.12) [49].

Негативний вплив мікроорганізмів на якість АП встановлено ще на моменті виявлення мікроорганізмів в паливних системах ПС. Таким чином, враховуючі вищевказане щодо здатності ПММ до мікробіологічного

ураження, можна зробити висновок, що з появою та розвитком мікроорганізмів-нафтодеструкторів у паливі відбувається порушення біологічної стабільності та, як наслідок, зміна властивостей палива негативного характеру. Біологічна стабільність визначається за рівнем стійкості до біоураження мікроорганізмами.

Аналіз наукової літератури свідчить про різке зростання кислотності моторних палив під впливом мікробіологічного забруднення [10, 19, 25, 27, 35, 38, 48, 54, 65, 66]. Автори пояснюють зміну кислотності через появу органічних кислот під час біодеструкції вуглеводнів палив. Також відмічається збільшення кінематичної вязкості, фактичних смол, показника заломлення.

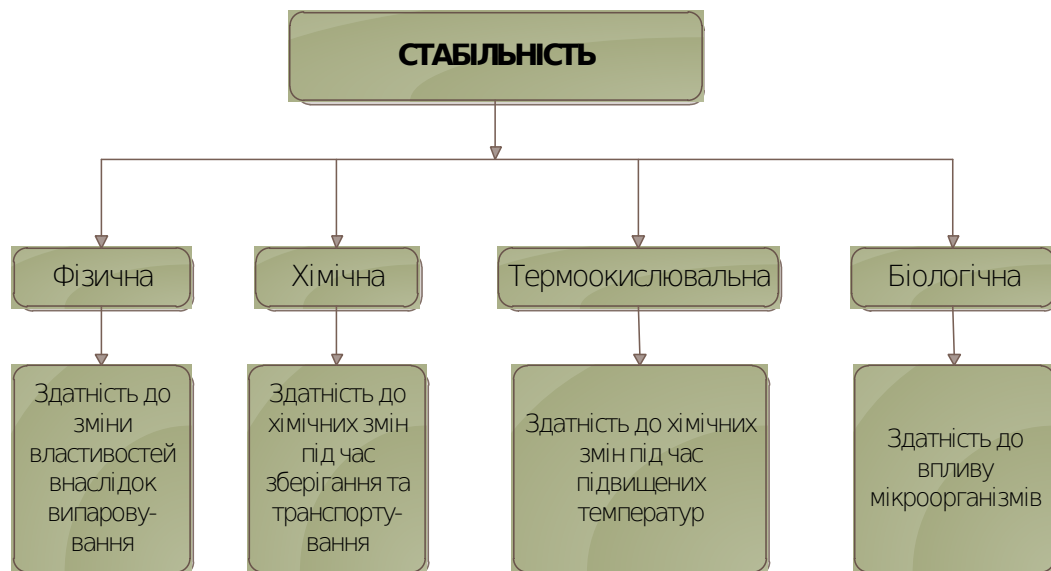


Рис. 1.12. Стабільність палив [49]

Встановлено, що використання деяких додатків для покращення експлуатаційних властивостей палив може інтенсифікувати розвиток мікроорганізмів-нафтодеструкторів, так як містить поживні елементи. В свою чергу, мікроорганізми після ураження нейтралізують дію цих додатків [33].

Зміна вуглеводневого складу палив – це наслідок мікробіологічного ураження через здатність мікроорганізмів до споживання певного виду вуглеводнів, з однієї сторони, та доступність вуглеводнів до споживання в

паливному середовищі, з іншої сторони. Найбільш повно проблема здатності індивідуальних вуглеводнів розкрита в роботі вченого Литвиненка С. Н. [19]. Здатність мікроорганізмів зростати на окремих вуглеводнях описана в роботах інших вчених та дослідників [32, 35, 38, 54, 56, 67– 69].

Здатність до біологічної деструкції класів вуглеводнів залежить від фізіологічних властивостей конкретного мікроорганізму, зокрема від здатності до адаптованості його ферментативного апарату до умов середовища. Однак, багаточисленні дослідження, вказані вище, дозволяють класифікувати класи вуглеводнів за їх здатністю до біодеструкції (табл. 1.5) [20].

Таблиця 1.5

Класифікація здатності вуглеводнів до біодеструкції

Група	Відношення до впливу мікроорганізмів	Ступінь біодеструкції, % до вхідному вмісту	Вуглеводні
I	Високочутливі	80-100	Н-алкани, ізо-алкани
II	Чутливі	60-80	Циклани з 6, 1, 5, 2 кільцями, S-ароматика, моноароматика
III	Помірночутливі	45-60	Циклоалкани з 3 та 4 кільцями, триароматичні
IV	Стійкі	30-45	Тетраароматичні, стерани, тритерпани, нафтоароматичні
V	Високостійкі	0-30	Пентаароматичні, асфальтени, смоли

Таким чином, авіаційні палива складаються переважно з високочутливих та чутливих до мікробіологічного ураження вуглеводнів. Цей висновок підтверджують дослідження вченого Литвиненко С. Н. щодо здатності до мікробіологічного ураження індивідуальних нафтових вуглеводнів (табл. 1.6) [19].

Таблиця 1.6

Взаємодія мікроорганізмів з індивідуальними вуглеводнями


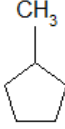
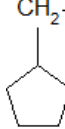
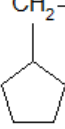
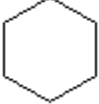
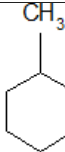
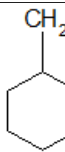
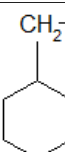
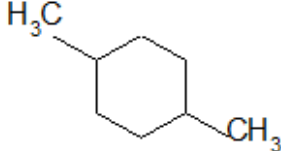
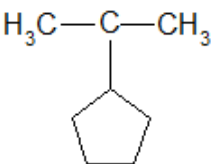
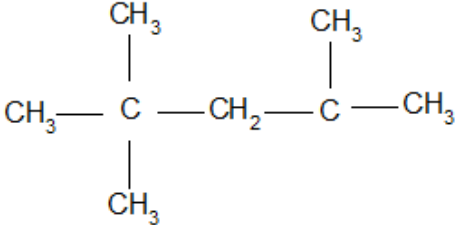
№ з/п	Формула	Назва	Оцінка зростання мікроорганізмів, бали
1	2	3	4
1	C ₆ H ₁₄	н-Гексан	5
2	C ₇ H ₁₆	н-Гептан	5
3	C ₈ H ₁₈	Н-октан	5
4	C ₈ H ₁₈	Ізооктан (2,2,4-триметилпентан)	0
5	C ₉ H ₂₀	н-Нонан	5
6	C ₁₀ H ₂₂	н-Декан	5
7	C ₁₁ H ₂₄	н-Ундекан	5
8	C ₁₂ H ₂₆	н-Додекан	5
9	C ₁₃ H ₂₈	н-Тридекан	5
10	C ₁₄ H ₃₀	н-Тетрадекан	5
11	C ₁₅ H ₃₂	н-Пентадекан	5
12	C ₁₆ H ₃₄	н-Гексадекан	5
13	C ₁₇ H ₃₆	н-Гептадекан	5
14	C ₁₈ H ₃₈	н-Октадекан	5
15	C ₁₉ H ₄₀	н-Нонадекан	5
16	C ₂₀ H ₄₂	н-Ейкозан	5
17	C ₂₁ H ₄₄	н-Унейкозан	5
18	C ₂₂ H ₄₆	н-Докозан	5
19	C ₂₃ H ₄₈	н-Трикозан	5
20	C ₂₄ H ₅₀	н-Тетракозан	5
21	C ₅ H ₁₀	Циклопентан	1
22	C ₆ H ₁₂	Метилциклопентан	4
23	C ₆ H ₁₄	Етилциклопентан	5
24	C ₈ H ₁₆	Пропілциклопентан	5
25	C ₈ H ₁₆	Ізопропілциклопентан	2
26	C ₆ H ₁₂	Циклогексан	0
27	C ₇ H ₁₄	Метилциклогексан	4
28	C ₈ H ₁₆	1,4-Диметилгексан	3

В роботі [19] автор робить висновок про певну залежність у відношенні довжини бокового ланцюга до ступеня мікробіологічного ураження. Усі парафінові вуглеводні підлягають біодеструкції, однак ізооктан (з розгалуженою структурою) лишається стійким до дії мікроорганізмів.

Метилциклопентан та метилциклогексан піддаються біоураженню, проте етилциклопентан, пропілциклопентан та циклогексан з подібними замісниками піддаються мікробіологічному ураженню повністю (табл. 1.7).

Таблиця 1.7

Здатність до біоураження нафтенів в залежності від довжини бічного ланцюга

			
1 бал	4 бали	5 балів	5 балів
			
0 балів	4 бали	5 балів	5 балів
			
0 балів	1 бал	1 бал	

Ароматичні вуглеводні, особливо без бокових ланцюгів, також піддаються мікробіологічному ураженню за температури 30°C під впливом специфічних біокаталізаторів клітинних ферментів [19]. Наявність в ароматичних вуглеводнях бокових аліфатичних ланцюгів робить їх нестійкими до мікробіологічного ураження. Зі збільшенням кількості кілець зростає здатність молекули до біодеструкції.

Однак, потрібно звернути увагу, що на біоураження конкретного палива в природних умовах впливає фактор випадковості. З повітря до палива можуть потрапити різноманітні мікроорганізми, які в тій чи іншій мірі здатні до споживання вуглеводнів. Таким чином, в кожному конкретному процесі та наслідки мікробіологічного ураження палива буде відрізнятися на відміну від експерименту в умовах лабораторії та жорсткого дотримання вимог до його проведення.

1.3.3 Вплив мікробіологічного забруднення палив на роботу техніки. Мікробіологічна корозія

Аналізування наукової літератури щодо дослідження випадків мікробіологічного ураження АП та паливних систем допомогло нам дійти висновку, що проблеми, викликані мікробіологічними забрудненням, можна класифікувати за категоріями [26, 27]:

- проблеми, викликані фізичною присутністю колоній мікроорганізмів;
- проблеми, що викликаються метаболізмом мікроорганізмів-нафтодеструкторів;
- проблеми, що викликаються метаболітами мікроорганізмів-нафтодеструкторів;
- проблеми, пов'язані з властивістю мікроорганізмів викликати корозію.

Ознаками наявності мікрофлори в паливах За результатами обстежень засобів використання палив є:

- наявність у водному відстої згустків біомаси у вигляді грудочок липкого слизу, утворень, схожих на волок;
- наявність на внутрішніх стінках баків грудочок липкого слизу;
- спучування герметика і корозійне ураження поверхні паливного бака;
- забивання липкою масою фільтрів та сіток насосів, які встановлені в баках;
- порушення роботи паливно-вимірювальної апаратури;
- неприємний запах.

Наслідками розвитку мікробіологічного забруднення є забивання біомасою фільтрів, сіток насосів, порушення роботи датчиків-паливомірів, що може викликати відмову роботи паливної системи, ушкодження антикорозійного покриття і корозійне пошкодження паливних баків, що в

свою чергу, викликає відшарування герметика баку літака і призводить до корозії силових елементів конструкції (табл. 1.8) [26, 33, 59, 71, 75].

Таблиця 1.8

Характеристика та наслідки мікробіологічного пошкодження експлуатаційних матеріалів

Матеріал	Характер пошкодження матеріалу	Наслідки пошкодження, що впливають на працездатність виробу
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<p>Паливно-мастильні матеріали</p> <p>паливо: авіаційне – Т-1, ТС-1, Т-6, РТ; дизельне – ДЛ-0,2-61, ДС; бензин – А-76, А-80;</p> <p>оливи: змащувальні – МН-7,5У, Б-38, МК-8, МС-8Г, ИПМ-10, АС-8; гідравлічні – АМГ-10, ГТЖ-2214;</p> <p>мастила: робочі – НК-50, ЦИАТИМ-201, ВНИИНП-207, 1-13; консерваційні – ПВК, АМС-3</p>	<p>Волокнисті, слизові маси в поверхневому шарі (мастило) або в об'ємі матеріалу, на межі поділу фаз матеріал-вода (паливо, олива), стійкі емульсії (паливо, олива); зміна кольору; зміна консистенції, розрідження або загустіння (олива, мастило); зміна кислотності; зміна в'язкості (олива, мастило)</p>	<p>Засмічення фільтрів, несправності в роботі насосів та інших агрегатів паливної, масляної, гідравлічної систем виробів; руйнування захисних покриттів та герметика; корозія, збільшення зусиль тертя та зношування металевих деталей та вузлів (вузли навіски та стикування агрегатів, шарніри, підшипники, механізми зубчастих передач, редуктори, гідропідсилювачі, амортизатори та ін.)</p>

Продовження таблиці 1.8

1	2	3
<p>Матеріали на основі синтетичних та натуральних полімерів</p> <p>полівінілхлоридний пластикат И-40-13, поліетиленова плівка, лакотканина, склотекстоліт СТК/ЭП, парусина, брезент, прогумована тканина (БЦК, Т-15),</p> <p>герметик У-30МЭС-5, гума Р-3826, НО-68, ИРП-1338</p>	<p>Наліт різної консистенції та кольору; зміна кольору та блиску поверхні; зміна механічних, діелектричних властивостей та складу (зниження вмісту пластифікуючої добавки, набухання, спучування, утворення тріщин).</p>	<p>Набухання, спучування та відшарування герметика;; зниження електроопору та руйнування ізоляції дротів; електрозамикання та руйнування струмоведучих доріжок друкованих плат; зміна електричних характеристик електро- та радіоелектронних виробів (ЕРВ); зниження міцностних властивостей та руйнувань деталей ЕРВ (колодки ШР, прокладки, перемикачі, вкладиші, корпуси приладів та ін.); руйнування гумових ущільнювальних профілів та манжет</p>
<p>Метали та сплави</p> <p>алюмінієві сплави Д-16, АМЦ, В-95; сталі СТ-3, 10ХСНД, 30ХГСА; магнієві сплави МЛ-8, МЛ-5; латунь ЛС-62; мідний сплав М-2</p>	<p>Наліт різної форми, кольору та консистенції (слизовий порошкоподібний, войлоковидний); корозія металу (поверхнева, виразкова, розшаровуюча).</p>	<p>Вогнища корозії та руйнування силових елементів конструкції (обшивка, лонжерони, нервюри, стрингери, капоти та ін.) та металевих паливних баків; осередки корозії вузлів кріплення деталей шасі, агрегатів систем виробів, гвинтових та шарнірних з'єднань, деталей підшипників та ін.; корозія деталей ЕРВ (електрозапобіжники, контактні пари, струмопровідні доріжки та ін.); зміна електричних параметрів та відмови в роботі ЕРВ.</p>

За результатами досліджень вчених [70] встановлено, що за однакового вмісту забруднень у паливі (до 0,005% мас) перепад тиску на фільтрі зростає швидше у випадку мікробіологічного забруднення палива у порівнянні з звичайними механічними домішками. Зокрема, визначено, що швидкість збільшення перепаду тиску на фільтрі відбувається у випадку забруднення бактеріями, ніж грибами. Вимірювання маси відкладень на фільтрі після досягнення максимального перепаду показало, що для звичайного забруднення маса становить 9 г, для забруднення грибною культурою – 8 г, для бактеріального забруднення – 5 г. Таким чином, можна зробити висновок, що забруднення біологічної природи небезпечніші за звичайні забруднення як для прокачування палива, так і ресурсної придатності та терміну служби самого фільтра. Це пояснюється фізіологічними властивостями мікроорганізмів до вироблення біоПАВ та налипанням по поверхні фільтроматеріалу, тобто здатністю до адгезії з експлуатаційними матеріалами ПС та засобів зберігання. Отже, підвищений перепад тиску та порушення потоку палива можна вважати легкоспостережним симптомом мікробіологічного сильного ураження палива.

Мікроорганізми можуть колонізувати клапани зливу на резервуарах, де конденсація забезпечує необхідну активність води, використовуючи пари вуглеводнів палива як джерела вуглецю. Біоплівки на клапанах резервуарів зазвичай виглядають як слизові сталактити.

У конструкціях літаків застосовують різні металеві матеріали. У багатьох вузлах і агрегатах авіаційних конструкцій металеві деталі контактують один з одним і різнорідними рідкими і газоподібними середовищами, особливо в паливних системах. Безвідмовна робота і надійність техніки в умовах експлуатації визначається не тільки властивостями матеріалів, але і їх стійкістю до дії природних чинників, природною складовою яких є мікроорганізми [18]. Таким чином, явище корозії елементів в паливних системах ПС було передумовою виявлення явища мікробіологічного ураження АП.

Біокоррозія металевих виробів, конструкцій зазвичай відбувається в умовах підвищеної вологості за наявності забруднень.

Встановлено, що понад 50% всіх корозійних процесів пов'язано з впливом мікроорганізмів. Відповідно мікробіологічний вплив є одним з найважливіших проявів корозійно-агресивних впливів навколишнього середовища [2].

Аналіз виявлених випадків мікробіологічних ушкоджень показує [2], що їх виникнення, характер та інтенсивність розвитку залежать від властивостей, стану і використання матеріалу, агресивності вуглеводневого мікроорганізму-деструктора, тривалості та умов взаємодії пари матеріал-мікроорганізм, а також низці факторів сприяють цьому виникненню.

Дослідники встановили, що в паливних баках літаків, виготовлених з алюмінієвого сплаву, поява гриба *Hormoconis resinae* викликає корозійне ураження та потрапляння всередину обшивки ПС [33]. Корозія відбувається згідно схеми (рис. 1.13).

Корозійні явища в паливних баках починаються в місцях розвитку мікроорганізмів-нафтодеструкторів на днищі паливних баків на межі поділу паливо-вода [75].

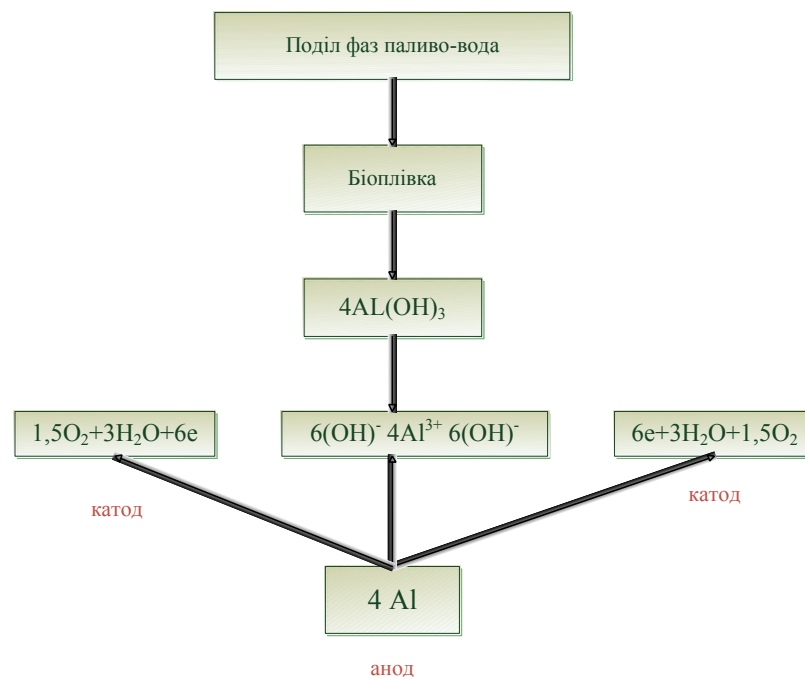


Рис. 1.13. Механізм мікробіологічної корозії алюмінію

На думку вчених [13], мікробна корозія – це складний процес взаємодії мікроорганізмів і металу, що відбувається в біоплівці. Тобто, біоплівка – це головний чинник мікробної корозії. Біоплівка та її характеристики здійснюють вплив на розвиток корозійних процесів через метаболічну активність та електрохімічні реакції. Мікроорганізми не тільки самі безпосередньо «роз’їдають» метал, але часто здійснюють вплив на хімічні, електрохімічні, і механічні чинники, посилюючи або послаблюючи будь-який вид пошкодження, тому біохімічну корозію, незважаючи на її широке розповсюдження, не завжди легко розпізнати [48, 74-76].

Таким чином, мікробіологічна корозія металів – це складова частина комплексної проблеми мікробіологічного забруднення палив. Вона виникає під впливом продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, присутніх в ураженому паливі, процесу адгезії клітин в метал та здійснення електрохімічних реакцій.

1.4 Нормативні вимоги до вмісту та виявлення мікробіологічного забруднення в паливах та паливних системах

В Україні традиційно вироблялися дві марки палива для ПРД: РТ та ТС-1, на поточний момент виробляють паливо РТ. Вимоги до якості цих палив регламентовані галузевими стандартами ГСТУ 320.00149943.007-97 «Паливо для реактивних двигунів марки «РТ». Технічні умови» [79] та ГСТУ 320.00149943.011-99 «Паливо ТС-1 для реактивних двигунів. Технічні умови» [80]. Якість імпортованого в Україну палива марки Jet A-1 встановлено у стандарті ДСТУ 4796-2007 «Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів Джет А-1. Технічні умови» [81]. Якість авіаційного бензину регулюється застарілим стандартом ГОСТ 1012-72 «Бензини авіаційні. Технічні вимоги» [82]. Зазначені стандарти не містять вимог до вмісту мікробіологічної фази у складі авіаційних палив.

Паливо Jet A-1 закордоном виробляється у відповідності до таких стандартів:

1) Британський стандарт Def Stan 91-91 Turbine fuel, Kerosene type, Jet A-1 (Паливо для газотурбінних двигунів типу керосин, Jet A-1) [83];

2) Американський стандарт ASTM D1655 Standard Specification for Aviation Turbine Fuels (Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів. Технічні умови) [84];

3) Американський стандарт ASTM D 7566 Standard Specification for Aviation Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons (Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів, що містить синтетичні вуглеводні. Технічні умови) [85].

Питання мікробіологічної фази у складі авіаційних палив розглянуто тільки в ASTM D1655. В цьому стандарті мікробіологічна фаза розглядається в якості забруднювача палива та паливних систем, описуються негативні наслідки появи та розвитку цього виду забруднення. Також стандарт дає посилання на ASTM D 6469 [55] для можливих способів визначення та рекомендує для передбачення появи мікроорганізмів використовувати зазначені біоцидні добавки, проте їх використання повинно здійснюватися згідно правил та інструкцій регіону, де експлуатується ПС. В ASTM D1655 не встановлені вимоги щодо вмісту мікроорганізмів у складі авіаційних палив, не регулюється необхідність та періодичність контролювання наявності цього забруднення.

Найбільш комплексним документом, що визначає рекомендації щодо авіапаливозабезпечення у цивільній авіації є Настанова Doc ICAO 9977 AN489 «Керівництво щодо постачання авіаційного палива у цивільній авіації». Директива, видана у 2012 р., має рекомендаційний характер та передбачає використання з урахуванням національних нормативних документів. В директиві вказано, що мікробіологічне забруднення палив – це реальна та недешева проблема, що може здійснити вплив на безпеку польотів ПС, тому контролювання наявності мікробіологічного забруднення в паливах та паливних системах повинно відбуватися щоденно [86].

В США основним керівними для сфери авіапаливозабезпечення є документи Joint Inspection Group (JIG), на які здійснюється, зокрема, посилання в Doc ICAO 9977 AN489. Ці документи створені групою нафтопереробних компаній, що постачають палива найбільшим міжнародним аеропортам, для регулювання операції з постачання, зберігання та експлуатації авіаційного палива в аеропортах:

1) JIG 1 — Aviation Fuel Quality Control and Operating Standards for In-Plane Fuelling Services (Стандарти з контролю якості авіаційного палива та операцій пов'язаних із заправкою літаків) [87];

2) JIG 2 — Aviation Fuel Quality Control and Operating Standards for Airport Depots (Стандарти з контролю якості авіаційного палива та операцій пов'язаних із його зберіганням) [88];

3) JIG 3 — Aviation Fuel Quality Control and Operating Standards for Supply & Distribution Facilities (Стандарти з контролю якості авіаційного палива та операцій пов'язаних із його постачанням та розподілом) [89];

4) JIG 4 — Aviation Fuel Quality Control and Operating Standards for Smaller Airports (Стандарти з контролю якості авіаційного палива у малих аеропортах) [90].

В цих керівних документах зазначена обов'язковість контролювання мікробіологічного забруднення паливних систем.

Загальна світова тенденція до глобалізації та інтеграція України до єдиного торгового простору робить нагальним вирішення питання про уніфікацію та оптимізацію вимог до якості виробленої продукції, зокрема авіаційного палива, і стандартизованих на міжнародному рівні підходів до контролювання їх якості. Існуюча в Україні система нормативного регулювання в сфері постачання та контролю якості авіаційних палив проходить стадію реформування щодо гармонізації національних стандартів до міжнародних та європейських вимог, імплементації вимог ІКАО та ІАТА, та потребує розроблення національних стандартів та керівних документів щодо контролювання мікробіологічного забруднення палив з метою

дотримання високого технологічного рівня якості системи авіапаливозабезпечення.

1.5 Методи виявлення мікробіологічного забруднення палив

Для виявлення мікробіологічного забруднення палива або паливної системи потрібно визначити продукти біологічної природи в складі паливного забруднення та водному відстої палива.

Донні проби є найкращим матеріалом для оцінки мікробного забруднення. У зразку досліджуваного біологічні та небіологічні процеси погіршуються протягом періоду між відбором проби та аналізом. Тому, випробування для визначення забруднення біологічного характеру повинні виконуватися на місці відбору проб протягом кількох хвилин після проведення відбору.

Прості спостереження, такі як колір, запах, прозорість і зовнішній вигляд виконуються як звичайні рутинні огляди. Завдяки ретельному зберіганню записів можна визначити зміни в експлуатаційній практиці і умовах навколишнього середовища, які призводять до підвищення рівня мікробного забруднення. Прості спостереження потрібно проводити всякий раз, коли проводиться відбір проби з резервуара [55].

Простим спостереженням можна виявити наявність мікробних плівок або слизу на всіх відкритих поверхнях резервуара. Візуальною оцінкою встановлюють структуру, консистенцію та колір забруднення. Наявність в забрудненні палива слизеподібної або желеподібної консистенції свідчить про присутність мікроорганізмів [13]. Каламутність в паливній фазі вказує на серйозну проблему, яка може бути пов'язана з мікробною активністю, високим вмістом води, ПАР забруднення, або хімічною нестабільністю. Наявність значної кількості осаду в контейнерах із зразками, взятими з резервуарів або трубопроводів, може вказувати на наявність мікроорганізмів [55]. Сірководнеподібний та інші атипові (протухлі) запахи можуть вказувати на важке мікробіологічне забруднення авіаційного палива. Основною

перевагою простих спостережень є їх швидкість і простота. Їх основний недолік в тому, що основні зміни відбуваються в пізніх стадіях процесу біоураження палива, вже після здійснення негативного впливу на паливо та паливну систему.

Аналіз наукової літератури дає можливість класифікувати існуючі методи виявлення мікробіологічного забруднення у складі палив таким чином [28, 72]:

Фізичні методи	Фільтрація, центрифугування, визначення поверхневого натягу
Хімічні методи	Кислотність, рН, вміст води, випаровування на мідній пластинці, вміст сірководню,, компонентний склад, концентрація фактичних смол
Мікробіологічні методи	Прямі мікроскопічні дослідження
Біохімічні методи	Виявлення білка або ферментів мікроорганізмів
Органолептичні методи	Візуальний огляд, запах

Таким чином, відслідкувати мікроорганізми можна за:

- за споживанням компонентів середовища;
- за виділенням продуктів життєдіяльності;
- за зміною фізико-хімічних властивостей субстрату (у випадку палив – це в'язкість, змащувальні властивості, емульгування, кислотність тощо).

Враховуючи важливість встановлення біологічної стійкості експлуатаційних матеріалів, вчені запропонували класифікувати існуючі методи виявлення мікробіологічного забруднення за стадією взаємодії мікроорганізма-деструктора з поживним середовищем: адгезія, зростання, вплив на показники якості (Додаток 1) [72].

Для оцінки біопошкодження палива може бути використана методика, регламентована ГОСТ 9.023 [91]. Сутність методу полягає у витримуванні проби палива в контактi з поживним середовищем за температури $(29\pm 2)^\circ\text{C}$. Критерієм оцінки служить візуальна оцінка стану поживного середовища та

межі поділу *середовище-паливо* після 21 доби випробування свідчить про те, що паливо не має забруднень біологічної природи.

З огляду на необхідність оперативного визначення наявності мікробіологічного забруднення, особливо в умовах дотримання строків роботи аеродромних служб та розкладу польотів існуючі методи виявлення можна розподілити за часом виконання (рис. 1.14) [52].

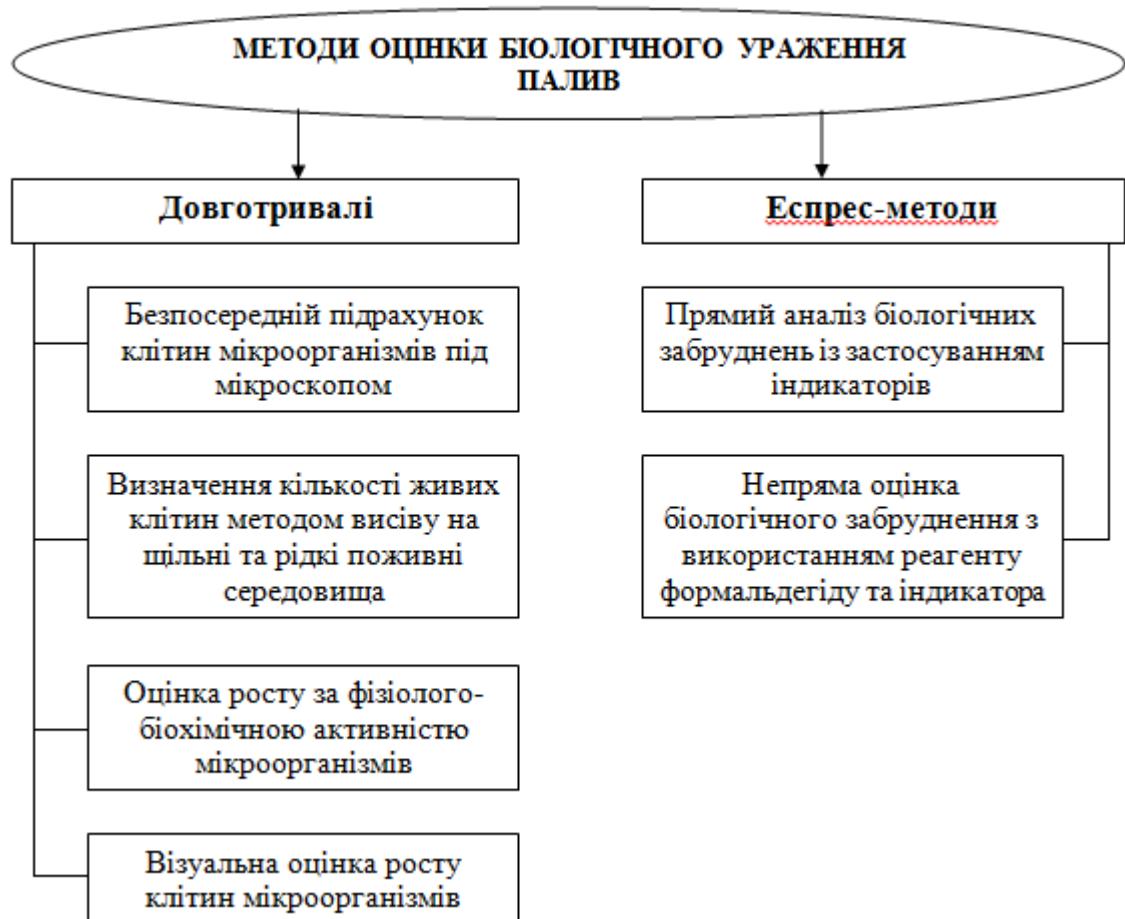


Рис. 1.14. Узагальнена класифікація методів оцінки біологічного ураження АП

1.6 Методи захисту палив від мікробіологічного забруднення

1.6.1. Фізико-механічні методи

Одним із найпростіших методів попередження мікробіологічного ураження палив є правильний технічний нагляд за технологічними засобами

використання нафтопродуктів, оскільки ступінь забрудненості палив мікроорганізмами залежить у першу чергу від обережного ставлення до самого палива та від своєчасного догляду за комунікаціями, резервуарами та паливними системами, зокрема їх осушування. Повне зневоднення виключає забруднення нафтопродуктів мікроорганізмами [25, 48, 49].

Розроблено метод ультрафіолетового та електромагнітного опромінення. Відомо, що ультрафіолетове опромінення, в першу чергу короткохвильове, довжиною хвилі 250–279 нм, впливає на нуклеїнові кислоти, руйнує водневі зв'язки та утворення молекул ДНК, що них викликає загибель мікроорганізмів [24]. Для цього розроблено ультрафіолетову лампу. Лампа може бути встановлена в нижню частину паливного бака або резервуару та переміщуватися вздовж нього, а також уздовж паливної лінії. Можливе також встановлення лампи під час перекачування палива з одного резервуара в інший. Використання ультрафіолету обмежено через його низьку проникність в товщу (шар) палива [92].

Певні частоти ультразвуку під час штучного впливу здатні викликати деполімеризацію органел клітин мікроорганізмів. Під дією ультразвуку газу, що знаходяться в рідкому середовищі цитоплазми, активуються і всередині клітини мікроорганізму створюється високий тиск (до 10000 атм). Це призводить до розриву оболонки клітини мікроорганізму та її загибелі [24].

До фізико-механічних методів боротьби з мікробіологічними забрудненнями відносяться центрифугування, агломерація з наступним фільтруванням, флотація, використання іонообмінних смол, електрогідравлічне осаджування, обробка ультразвуком [25].

Існує багато модифікацій і комбінацій різних методів, однак вони не отримали широкого розповсюдження через певні недоліки. Дуже часте застосування вищезгаданих методів є трудомістким, наприклад, осушка. Деякі фізичні методи важко впровадити (ультратонка фільтрація) або вони є небезпечними для обслуговуючого персоналу (електромагнітна обробка). Термічна обробка призводить до погіршення експлуатаційних характеристик

палива. Значним загальним недоліком є те, що всі ці методи розраховані на знищення мікроорганізмів в конкретний момент і не виключають подальшого ураження. Крім того, використання будь-якого з вищеперерахованих методів є економічно затратним [92, 93].

1.6.2. Хімічні методи

На сьогодні найдієвішим способом захисту палив від біологічного забруднення є біоцидні добавки, які запобігають розвитку мікроорганізмів в авіаційних паливах і запобігають біологічній корозії паливних баків [28]. До біоцидних добавок висуваються наступні вимоги: добавки не повинні погіршувати показники якості палив, мати пролонговану дію, не повинні порушувати роботу паливорегулювальної апаратури, впливати на надійність роботи фільтрів і фільтрів-сепараторів, не повинні бути токсичними. Продукти згорання цих речовин не повинні спричиняти шкідливу дію на навколишнє середовище [94].

На теперішній момент використовуються три основні групи паливних біоцидів: паливорозчинні, водорозчинні, і універсально розчинні. Паливорозчинні біоциди нестійкі або не розчинні у воді. Їх головне перевага в тому, що вони знаходяться у фазі палива і можуть транспортуватися по всій паливній системі. Їх основний недолік полягає в тому, що вони, як правило, інактивуються водою, де мікроорганізми мають тенденцію до зростання. Водорозчинні біоциди нерозчинні у паливі. Вони, як правило, недорогі і їх краще всього використовувати для проведення шокового лікування забруднених придонних вод в резервуарах. Універсальні розчинні біоциди є стабільними як в паливі, так і в воді. Як правило, ці продукти, насамперед, розчинні у паливі, з достатньою розчинністю в воді, щоб виконати свої функції в обох фазах. Універсальної біоциди можуть транспортуватися по всій паливній системі, так само як і паливні розчинні біоциди. Їх розчинність у воді робить їх однаково ефективними проти біоплівки і мікробів придонної

води. Їх основний недолік – висока вартість по порівнянні з двома іншими групами паливних біоцидів [94].

Узагальнений перелік використовуваних біоцидних додатків наведено в табл. 1.9.

Таблиця 1.9

Узагальнений перелік використовуваних біоцидних додатків до палив

Присадка	Концентрація, %
Етиленгліколь монометил ефір <i>FS2</i>	0,1–0,15
Біофор <i>F</i>	0,1–0,15
Диметилдиалкіламонійхлорид	0,05
Диметилалкілбензиламоній хлорид	0,05
<i>PFA-55 MB</i>	0,05–0,15
8-оксихінолін	0,2
Дисаліцилденпропандіамін	0,1
1,2-діамінопропан (гексаметилдіамін)	0,04
Етилендіамін, гідроксиламін солянокислого або метиламін виннокислий	0,12
Триметиламін	0,16
Солі цинку синтетичних жирних кислот, змішані солі цинку і ртуті оцтової та олеїнової кислот	0,05–0,1
<i>H</i> -бутиламін	0,08
Бактеріофунгіцидна присадка	0,1
BIOCONTROL MAR-71	0,3
Wynn`s Fuel Biocide	0,1
Katon FP 1.5	0,015–0,03

В Україні біоцидним додаткам приділяється значна увага. Було вивчено бактерицидну дію таких сполук диметилдиалкіламонійхлорид ($[R_2(CH_3)_2N]Cl$) і диметилалкілбензиламоній-хлорид ($[R(CH_3)_2NC_6H_5-CH_2]Cl$) для авіаційних палив – бензину і палива для реактивних двигунів ТС-1. Ці сполуки широко застосовуються як біоцидні добавки в різних галузях промисловості. За результатами досліджень цих сполук було встановлено, що в кількості 0,05% і більше названі вище присадки зменшують зростання усіх мікроорганізмів в авіаційному бензині і паливі ТС-1 [96].

Вченими НУ «Львівська політехніка» досліджено фунгібактеріоцидні властивості S-етил-4-амінобензентіосульфонату у концентрації 0,01% для захисту нафтопродуктів, матеріалів та обладнання від біопошкоджень [97].

Виявлено, що 8-оксихінолін і дисаліцилденпропандіамін при додаванні до складу палива для реактивних двигунів 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% [94].

Пригнічення збільшення мікроорганізмів на 70, 75, 90% спостерігалось у середовищі з паливом ТС-1 при введенні у водну фазу відповідно 0,24% ацетату хрому, 0,16% нітрату хрому, 0,16% ацетату міді [98].

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-ізотіазолін-3-один.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ:

В результаті аналізування наукової літератури встановлено:

1. Мікробіологічне забруднення – це специфічний вид забруднення, представлений грибами, бактеріями та дріжджами. Специфічність полягає в здатності до розмноження та розповсюдження, а також в комплексному впливі на навколишнє середовище (паливо) та засоби використання палива. Гриб *Hormoconis resinae* – найпоширеніший мікроорганізм-забруднювач АП.

2. Мікробіологічному ураженню піддаються усі види АП.

3. Вода є середовищем для накопичення поживних речовин, що робить її визначальним чинником для розвитку мікроорганізмів, а також джерелом мікробіологічного забруднення палив і учасником біохімічних реакцій всередині клітини.

4. Мікробіологічне забруднення негативно впливає на біологічну стабільність АП.

5. Мікробіологічне забруднення порушує ефективність роботи фільтрів та паливорегулювальної апаратури.

6. Угруповання мікроорганізмів у вигляді біоплівки – головний чинник мікробіологічної корозії експлуатаційних матеріалів паливних систем та засобів зберігання палив.

7. Найдієвіший захід для забезпечення біологічної стабільності палив – використання біоцидних додатків та дотримання технологічної дисципліни експлуатації засобів зберігання, транспортування, заправлення палив та паливної системи ПС.

РОЗДІЛ 2. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою розв'язання поставлених завдань (дослідження видового складу мікроорганізмів-нафтодеструкторів авіаційних палив; дослідження властивостей, основних закономірностей та механізму біодеструкції авіаційних палив; дослідження біологічної стабільності традиційних та альтернативних авіаційних палив, розроблення та обґрунтування раціонального методу виявлення мікробіологічного забруднення у складі авіаційних палив; оцінки ефективності біоцидних додатків, авіаційних палив) розроблено алгоритм виконання дисертаційних досліджень.

2.1. Загальна методика проведення досліджень

Для якомога раціонального та ефективного виконання поставлених завдань визначено загальну схему проведення наукових досліджень (рис 2.1). На етапі складання плану роботи враховано специфіку об'єкта досліджень, проаналізовано значний обсяг літератури з галузі методології проведення наукових досліджень, вивчено існуючі методи вирішення завдань такого характеру.

Наукове дослідження має прикладний, експериментальний характер, проте для досягнення поставленої мети потребує неабиякого теоретичного підґрунтя. Тому на етапах виконання роботи застосовувалися як емпіричні, так і теоретичні методи наукового пізнання. На етапі вивчення видового складу мікроорганізмів-нафтодеструкторів застосовувалися методи статистичного аналізування даних, узагальнення, порівняння та систематизації. На етапі вивчення механізму біодеструкції застосовувався метод аксіоматично-фемінологічного опису механізму деструкції вуглеводнів авіаційних палив. На етапі дослідження оцінки біологічної стабільності моторних палив, впливу мікробіологічного забруднення на якість моторних палив та зміни групового складу авіаційних палив застосовувалися стандартизовані методи досліджень.

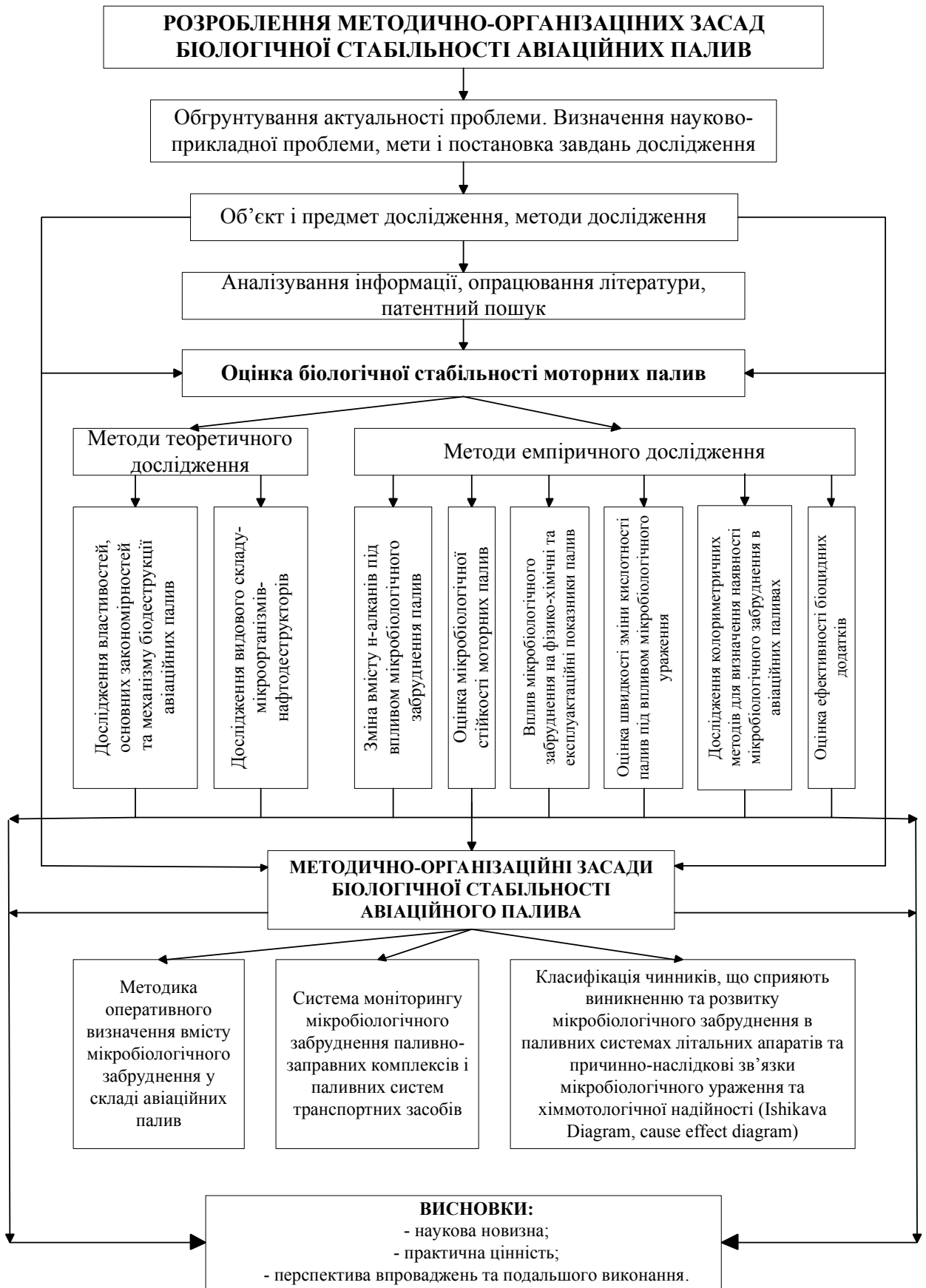


Рис. 2.1. Загальна схема проведення наукових досліджень

2.2. Характеристика зразків палив, що використовувалися для досліджень

Для проведення хроматографічних досліджень використовувалися такі зразки:

– паливо для реактивних двигунів марки РТ (виробництва ПАТ «Укртатнафта», м. Кременчук), що відповідає вимогам ГСТУ 320.00149943.007-97;

– паливо для реактивних двигунів марки ТС-1 (виробництва ЗАТ «ЛИНИК»), що відповідає вимогам ГСТУ 320.00149943.001-99.

Для дослідження біологічної стабільності та оцінки впливу мікробіологічного забруднення на якість моторних палив використовувалися такі зразки:

– паливо для реактивних двигунів марки РТ (виробництва ПАТ «Укртатнафта», м. Кременчук), що відповідає вимогам ГСТУ 320.00149943.007-97;

– паливо для газотурбінних двигунів JET A-1 (виробництва АТ «ОРЛЕН Летува», Мажейкяйский НПЗ, Литовська Республіка), що відповідає вимогам стандартів вимогам стандартів ДСТУ 4796:2007, ASTM D1655;

– бензин автомобільний А-92 (виробництва ПАТ «Укртатнафта», м. Кременчук), що відповідає вимогам ДСТУ 7687:2015;

– паливо дизельне (виробництва ПАТ «Укртатнафта», м. Кременчук), що відповідає вимогам ДСТУ 7688:2015;

– бензин авіаційний марки AVGAS 100LL (виробництва SHELL, Нідерланди), що відповідає вимогам *ASTM D 910*;

– паливо для реактивних двигунів марки ТС-1 (виробництва ТОО «Амангельдинський ГПЗ», Республіка Казахстан), що відповідає вимогам ГСТУ 320.00149943.001-99.

Крім того, для досліджень з метою визначення біологічної стійкості використовувалися біокомпоненти, а саме етилові (ЕЕЖК) естери жирних

кислот ріпакової олії, виготовлених у відділі каталітичного синтезу Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України, та біоцидні добавки.

Дослідження проведені в акредитованій Випробувальній інтерактивній лабораторії «АвіаТЕСТ» Національного авіаційного університету з дотриманням усіх нормативних вимог до виконання експериментів та оцінки достовірності результатів.

2.3. Дослідження властивостей, основних закономірностей та механізму біодеструкції авіаційних палив.

Біодеструкція вуглеводнів відбувається внутрішньоклітинно і здійснюється за рахунок специфічних окислювальних ферментів класу оксигеназ. Оксигенази каталізують використання одного атома кисню з його молекулярної форми в кінцевій метильній групі вуглеводню, тобто відбувається заміна зв'язків зі слабкою енергією розриву (C–C, C–H) зв'язками з сильною енергією розриву (C–O, H–O). Такий спосіб окислення відмічений для аліфатичних, ациклічних і ароматичних вуглеводнів [20, 24, 56, 99].

У результаті процесу біодеструкції відбувається руйнування, детоксикація, утилізація і мінералізація вуглеводнів нафтопродуктів, зокрема авіаційних палив. Оскільки до складу авіаційних палив входять багато легкозасвоюваних компонентів, у процесі біодеградації паливо виступає поживним субстратом (джерелом вуглецю та енергії) для цілого ряду мікроорганізмів.

Дані різноманітних досліджень щодо потрапляння в клітини мікроорганізмів, локалізація вуглеводневоокислюючих ферментів свідчать про процес окиснення вуглеводнів відбувається всередині клітини мікроорганізмів. Обмеження щодо окиснення вуглеводнів мікроорганізмами-нафтодеструкторами пов'язані з розчинністю вуглеводнів у воді. Потрапляння поживного субстрату всередину клітини можливе з стану істинного розчину або під час безпосереднього контакту з ним [20].

Від фізіологічних особливостей кожного роду мікроорганізмів залежить направленість процесу деструкції індивідуальних вуглеводнів і їх сумішей, які мають різний ступінь стійкості до окиснення. Труднощі в поглинанні вуглеводнів мікроорганізмами пов'язані з їх нерозчинністю у воді. Для активації деструктивних ферментів необхідна якомога більша поверхня поділу фаз вуглеводень-вода.

Вуглеводні можуть руйнуватися мікроорганізмами досить швидко за анаеробних умов і надзвичайно повільно – за анаеробних [43].

Поживні речовини потрапляють до клітин мікроорганізмів-нафтодеструкторів через поверхню напівпроникної клітинної стінки та цитоплазматичної мембрани.

Розрізняють наступні види транспорту вуглеводнів в клітині мікроорганізмів [20, 100]:

– пасивний транспорт:

а) пасивна дифузія – неспецифічне надходження речовин у клітину, при якому різноманітні сполуки проникають у клітину, не взаємодіючи з яким-небудь переносником, а рушійною силою цього процесу є градієнт концентрації поживної речовини, тобто різниця між їх концентрацією всередині клітини мікроорганізму та зовнішньому середовищі. Споживання клітиною мікроорганізму поживних речовин відбувається до вирівнювання їх концентрації за мембраною клітини та у зовнішньому середовищі, тобто за законами осмосу. Пасивна дифузія відбувається без витрати енергії, її швидкість невелика. Вода – це основна речовина, що потрапляє до клітини та вивільняється з неї за допомогою пасивної дифузії

б) полегшена дифузія – специфічний процес, при якому поживна речовина переноситься до клітини тільки за участі білка-переносника (пермеази) та залежить від градієнта концентрації поживних речовин. Пермеази мають субстратну специфічність, тобто переносять конкретні поживні речовини всередину клітини мікроорганізму. При цьому швидкість надходження речовин залежить від їх концентрації .

Обмін продуктами метаболізму мікроорганізму відбувається за допомогою цього процесу.

– активний транспорт – речовина надходить в клітину незалежно від градієнту концентрації поживних речовин в середовищі; процес потребує затрат енергії (АТФ ($C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$) – аденозинтрифосфат або аденозинтрифосфорна кислота – універсальне джерело енергії для біохімічних процесів) і відбувається з допомогою специфічних білків-переносників (пермеаз) [101]. Під час цього процесу швидкість потрапляння речовин до клітини може бути максимальною за малих концентрацій поживних речовин у зовнішньому середовищі.

Для більшості мікроорганізмів-нафтодеструкторів властивий процес активного транспорту, вихід продуктів метаболізму відбувається за допомогою полегшеної дифузії.

Всі реакції мікробіологічного перетворення вуглеводнів є окислювально-відновлювальними. Гранична відновлюваність цих речовин робить необхідними для їх окислення присутність кисню.

Гідрофобність молекули вуглеводню має велике значення для хімізму їх мікробіологічного окислення та їх транспорту в клітину мікроорганізма-нафтодеструктора. Гідрофобний характер молекули є причиною того, що процеси окислення здійснюються оксигеназами, на відміну від окислення більш гідрофільних речовин, яке відбувається під дією дегідрогеназ [56]. Гідрофобність вуглеводневих субстратів та їх погана розчинність в воді визначають шляхи потрапляння речовин в клітину [19].

Варто зазначити, що характерною особливістю процесу асиміляції вуглеводнів як джерела вуглецю є нагромадження проміжних продуктів.

На біодеструкцію аліфатичних вуглеводнів впливають не тільки їх фізико-хімічні властивості – такі як розчинність у воді, здатність до емульгування і величина поверхневого натягу, але й біологічні фактори – ферментативна активність мікроорганізмів, реакційна здатність субстрату.

Окислення парафінів. Авіаційні палива – це середньодистилятні нафтові фракції. Вони містять вуглеводні різних класів, гетеро атомні сполуки та неорганічні домішки. Вуглеводневий склад палив для реактивної авіації складається з різних класів вуглеводнів [49], серед яких найпоширенішими є парафіни (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

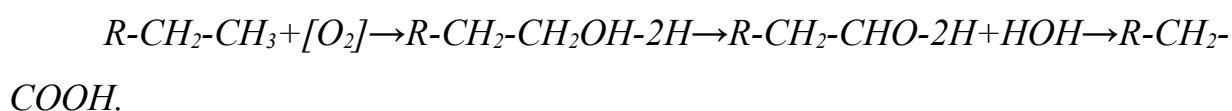
Груповий вуглеводневий склад реактивних палив

Паливо	Груповий вуглеводневий склад, %			
	парафінові	олефінові	нафтеніві	ароматичні
ТС-1	42–52	1,1–2	30–49	11–21
РТ	53–58	0,2–0,3	25–30	12–22

За результатами багатьох досліджень, парафіни є найбільш нестійким до мікробіологічного ураження класом вуглеводнів, особливо парафіни нормальної будови.

На думку вчених, процесу ферментативного окислення підлягають вуглеводні з середньою довжиною ланцюга ($C_5 - C_{15}$), в свою чергу легкі *n*-алкани здатні поглинати лише деякі види бактерій (наприклад, *Pseudomonas*), так як вони розчиняють ліпіди бактеріальних клітин і викликають розчинення цитоплазматичної мембрани [10, 33, 56, 102].

У переважаючій більшості випадків первинної ферментативної атаки молекули *n*-парафіна відбувається окислення термінального атома вуглеводню. Багато вчених представляють реакцій біологічного окислення *n*-парафінів таким чином [19, 25, 27, 38]:



Першими стабільними продуктами окиснення вуглеводнів є первинні спирти. Наступний етап складають звичайні біологічні перетворення спирту в альдегід і альдегіду в кислоту.

Найбільш поширений та описаний [19, 38, 54] шлях окислення *n*-алканів мікроорганізмами включає три основних етапи (рис. 2.2):

1. первинне окислення *n*-алкану, яке призводить до послідовного утворення відповідного спирту, альдегіду і карбонових кислот жирного ряду;
2. бета-окислення цих кислот з утворенням в якості основного проміжного продукту ацетил-КоА;
3. окислення ацетату в циклі трикарбонових кислот.

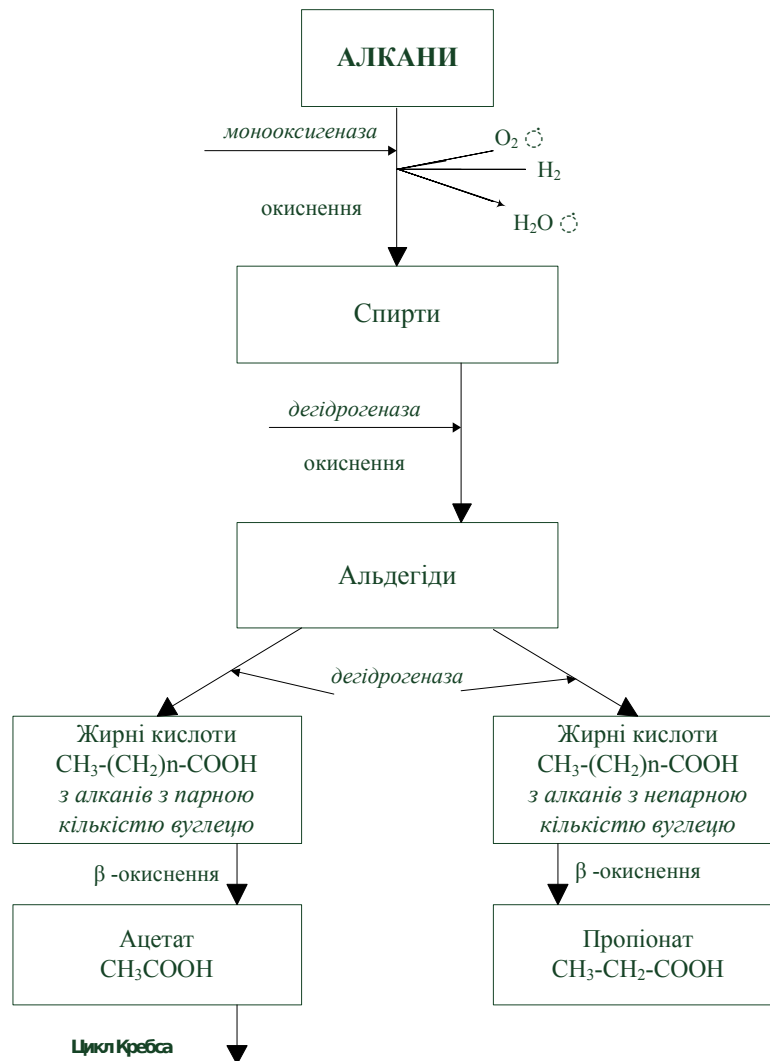


Рис. 2.2. Схема біологічного окиснення *n*-алканів.

Під час біодеструкції *n*-алканів термінальним шляхом, відбувається окиснення кінцевої метильної групи з утворенням первинного спирту. Первинний спирт перетворюється в альдегід, а потім під дією НАД-залежних дегідрогеназ окиснюється до відповідних жирних кислот, які в подальшому

розкладаються шляхом β -окислення або використовуються клітиною в якості будівельного матеріалу.

Варто зазначити, що НАД – нікотинамідаденіндинуклеотид – складна органічна сполука, що бере участь в усіх метаболічних процесах клітин та наявний в усіх живих клітинах (рис. 2.3). НАД входить до складу нікотинамідних коферментів, які каталізують окислювально-відновлювальні реакції. Нікотинамідаденіндинуклеотид існує в двох формах: окисленої (НАД⁺) і відновленої (НАДН). В метаболізмі НАД задіяний в окиснювально-відновлювальних реакціях для перенесення електронів з однієї реакції в іншу. Таким чином, в клітинах НАД знаходиться в двох функціональних станах: його окислена форма, НАД⁺, є окисником і забирає електрони від іншої молекули, відновлюючись в НАДН, який далі служить відновником і віддає електрони. Хоча НАД⁺ записується з плюсом через формальний позитивний заряд атома азоту, НАД⁺ насправді є аніоном з негативним зарядом мінус 1, а НАДН – аніоном з зарядом мінус 2 [13, 100].

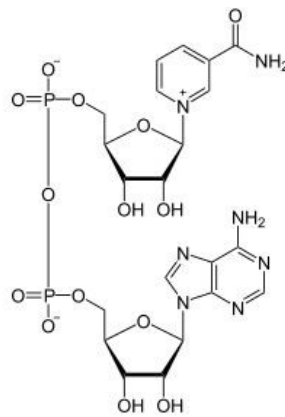


Рис. 2.3. Просторова формула нікотинамідаденіндинуклеотиду (коферменту НАД)

Під час реакції β -окислення від жирної кислоти послідовно відщеплюються двовуглецеві фрагменти у вигляді активного ацетату, що надходить в цикл трикарбонних кислот з формуванням коферменту ацетил КоА і виділенням CO_2 . З алканів з парною кількістю атомів вуглецю утворюється оцтова кислота, з непарним – оцтова і пропіонова [19, 99]. Для

розумінні біотрансформації вуглеводнів потрібно зазначити, що ацетил-КоА – ацетил кофермент А ($C_{23}H_{38}N_7O_{17}P_3S$) – перший метаболіт, важлива сполука в обміні речовин, що використовується у багатьох біохімічних реакціях (рис. 2.4). Його головна функція – доставляти атоми вуглецю з ацетил-групою в цикл трикарбонових кислот, щоб ті були окислені з виділенням енергії. Цей метаболіт тимчасовий, в результаті одного повного циклу трикарбонових кислот (ЦТК) молекула ацетил-КоА розкладається до кінцевих продуктів CO_2 та H_2O [100].

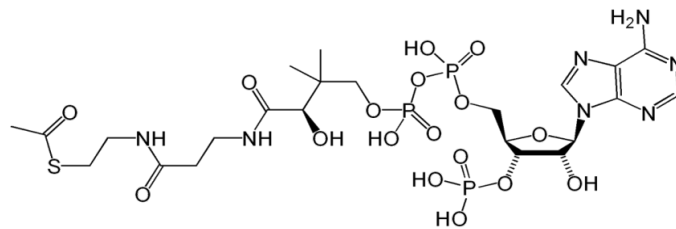


Рис. 2.4. Просторова формула ацетил КоА

Цикл трикарбонових кислот (цикл Кребса, ЦТК) – це цитратний цикл перетворення ди- і трикарбонових кислот аеробних мікроорганізмів – кінцева стадія окиснювального катаболізму, в якому відбувається повне розкладання до CO_2 та H_2O активної форми оцтової кислоти (ацетил-КоА). Цикл є центральною ланкою споживання вуглеводнів, в якому концентруються практично усі шляхи метаболізму мікроорганізмів-нафтодеструкторів [13, 100]. Для безперервної роботи циклу необхідне постійне надходження в систему ацетил-КоА та окислення відновлених форм НАДН. Це окиснення здійснюється у зв'язку з процесами фосфорилування в ланцюгу дихальних ферментів, локалізованому в мембранах мітохондрій.

Крім продуктів термінального окислення, утворюються продукти субтермінального окислення. Субтермінальне окислення властиве для алканів з низькою молекулярною масою (C_3-C_6) та н-алканів з довгим ланцюгом ($C_{12}-C_{20}$) і відбувається з утворенням вторинних спиртів і відповідних метилкетонів [20, 103]. Його можуть здійснювати *Penicillium*,

Bacillus, Pseudomonas. Тому схему біологічної трансформації *n*-алканів можна представити у такому вигляді (рис. 2.5).

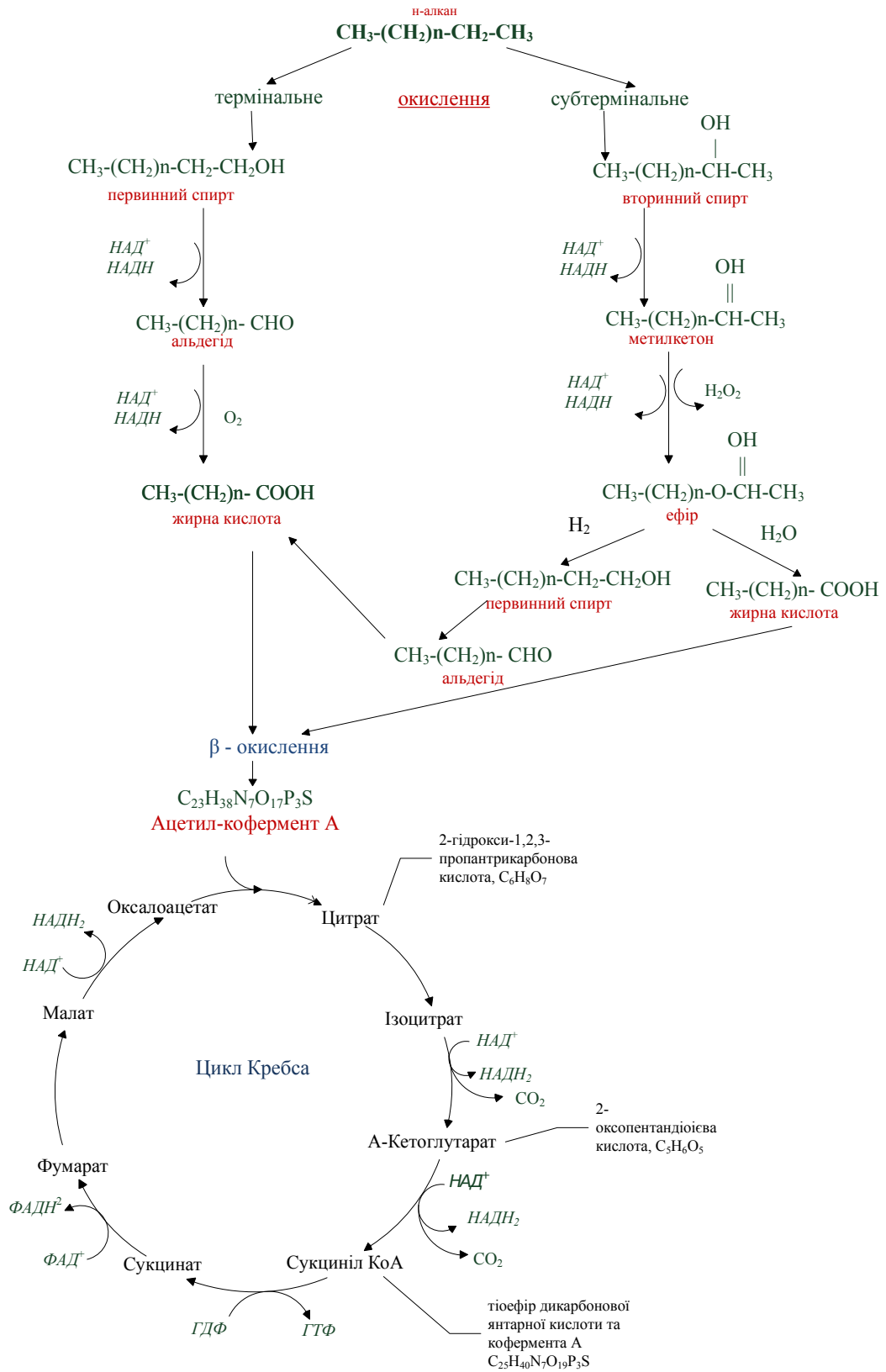


Рис. 2.5. Схема перетворення мікроорганізмами *n*-алканів шляхом термінального та субтермінального окиснення

Під час перетворення карбонових кислот ЦТК мікроорганізмів-нафтодеструктори використовують кофермент ФАД – флавінаденіндинуклеотид ($C_{27}H_{33}P_2N_9O_{15}$) – кофермент, що бере участь в багатьох окиснювально-відновлювальних біохімічних процесах. ФАД може існувати в окисненій формі ФАД⁺ та відновленій – ФАДН. Однією особливістю ФАД у порівнянні з НАД, є те, що він не переносить електронів, дифундуючи від одного ферменту до іншого. ФАД переважно міцно приєднується до білка і надає йому можливість утримувати електрони під час їх перенесення від донора до акцептора [100].

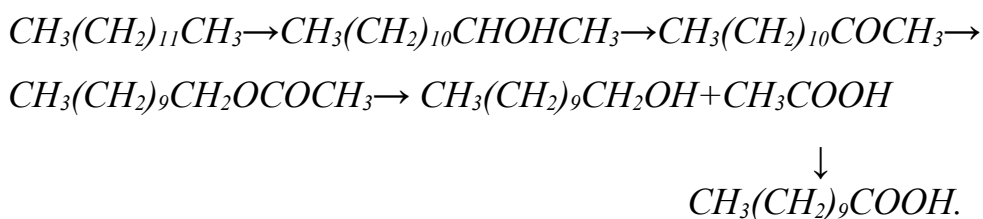
Результат циклу Кребса полягає в синтезі невеликої кількості аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ) та НАДН. АТФ – це нуклеотид, який бере участь в енергетичному обміні у всіх живих організмах, у процесах зростання, руху та відтворення [100].

Деякі вчені експериментально підтвердили для деяких видів мікроорганізмів, що разом з класичним β -окисненням жирних кислот, утворених після біотрансформації н-алканів, можуть відбуватися інші шляхи окиснення жирних кислот [20, 103]:

1. ω -гідроксилювання, що призводить спочатку до ω -оксикарбонових кислот, потім дикарбонових кислот з подальшою їх трансформацією;
2. α -окиснення, декарбоксілювання, котре відбувається у випадках, коли субтермінальний атом вуглецю має кетогрупу або гідроксил;
3. дегідрогенізація жирних кислот з наступним окислювальним розщепленням подвійного зв'язку.

Ізоалкани більш стійкі до мікробіологічного ураження, ніж н-алкани. Проте вченими виявлено, що монометилалкани швидше піддаються мікробіологічному ураженню ніж відповідні алкани нормальної будови. Стійкість до мікробіологічного ураження для ізоалканів збільшується в ряді: монометилалкани-поліметилалкани-ізоалкани з етильним або більш високомолекулярним замісником [104].

Окремі дослідження вчених F.W. Forney, A.J. Markovetz щодо біодеградації тридекану культурою *Pseudomonas aeruginosa* представлені у вигляді реакції [20]:



Окиснення олефінів. Олефіни піддіються мікробіологічному ураженню достатньо легко. Описано достатню кількість мікроорганізмів, що використовують олефіни у якості субстрату для свого розвитку [6, 19].

Механізм біодеструкції олефінів вивчений менше, ніж у парафінів. За результатами багатьох досліджень встановлено, що ферментні системи мікроорганізмів під час окислення олефінів утворюють насичені киснем сполуки з подвійним зв'язком [19]. Оскільки продуктом розкладання вуглеводнів є тетрадеценава кислота, то мікробіологічне окиснення олефінів починається з метальної групи.

Мікробіологічне окислення олефінів включає наступні реакції [20]:

- а) окислення метальної групи з утворенням ненасичених кислот;
- б) утворення епоксидів по подвійному зв'язку;
- в) утворення діолів.

Ці ненасичені вуглеводні можуть окиснюватись одночасно і по метальній групі і по подвійному зв'язку молекули. Схема реакцій біологічного окиснення алкенів зображена на рис. 2.6 [20].

Численні дослідження по окисненню олефінів дріжджами і грибами також свідчать про наявність термінального і субтермінального окислення, в результаті чого утворюються відповідні ω -ненасичені кислоти, насичені кислоти, ω -ненасичені спирти, епоксиди, діоли [19, 20].

Окиснення циклоалканів. У порівнянні з алканами циклоалкани важче піддаються мікробіологічному ураженню через наявність циклу, який важче окиснюється.

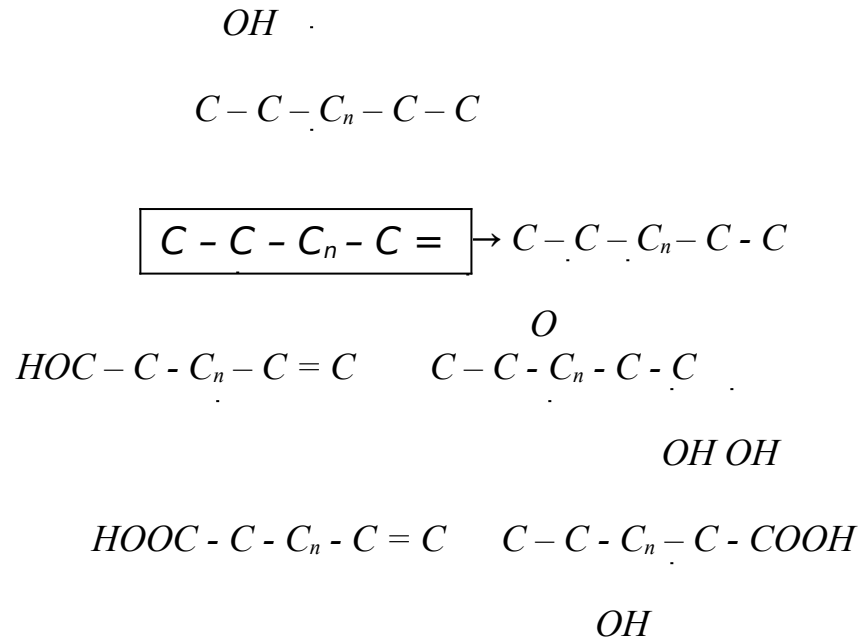


Рис. 2.6. Схема реакцій окиснення алкенів бактеріями

До штамів, які здатні до біодеградації циклічних алканів, відносяться бактерії родів *Cordonia*, *Xanthobacter* та ін. Штами, які здатні до біодеструкції циклоалканів, мають специфічні ферментні системи, які відрізняються від ферментних систем, що використовуються мікроорганізмами для окислення нециклічних алканів.

Бактерія *Micobacterium vaccae*, який здатний засвоювати, зокрема ізоалкани, зокрема 2-метилбутан, окиснює циклічні алкани до відповідних кетонів (рис. 2.7, 2.8) [67].

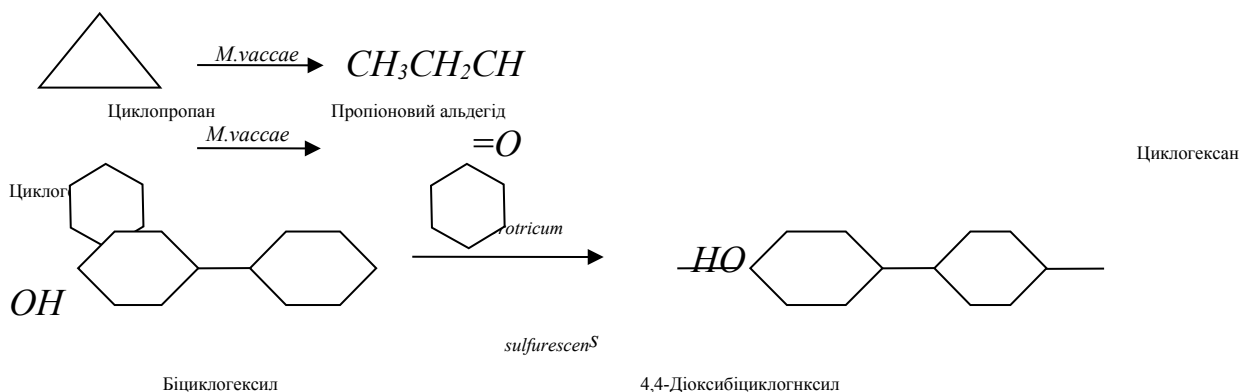
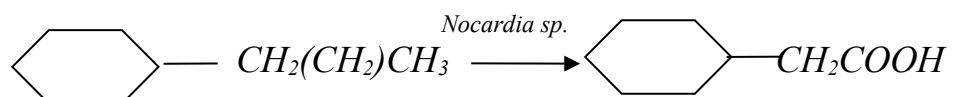


Рис. 2.7. Схема реакцій окиснення циклопропану



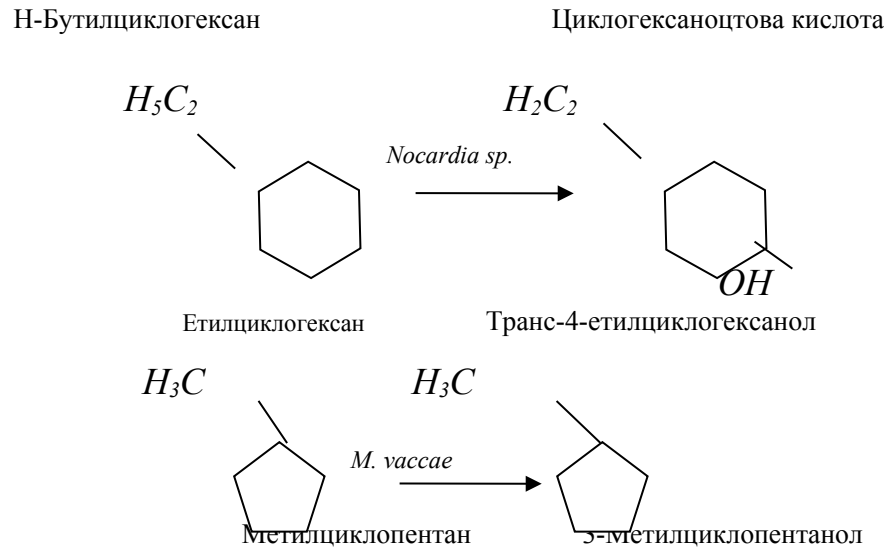


Рис. 2.8. Схема реакцій окиснення *n*-бутилциклогексану, етилциклогексану і метилциклопентану

Механізм окиснення циклогексану за участі ферментів представлений на рис. 2.9.

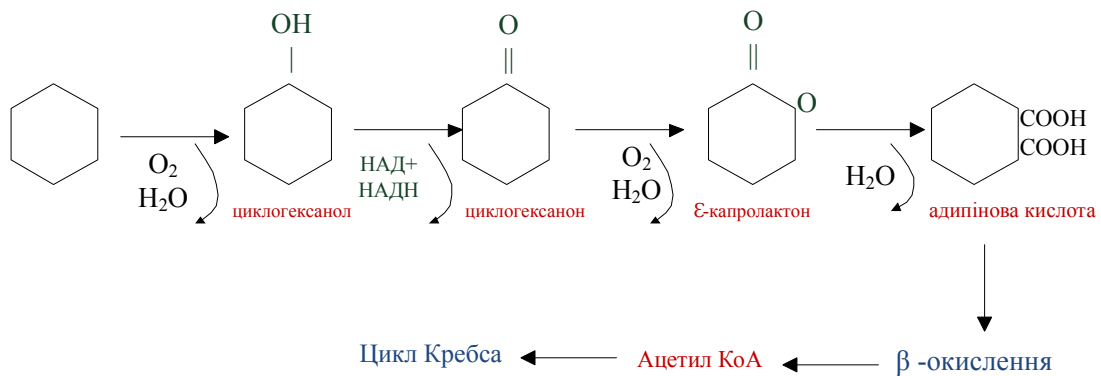


Рис. 2.9. Механізм мікробіологічного окиснення циклогексану

На першому етапі за участі ферментів групи оксигеназ циклоалканове кільце трансформується у відповідний спирт, який в подальшому під дією гідрогенази перетворюється в кетон. Подальше окиснення каталізує інша монооксигеназна система і відбувається включення атома кисню в ядро. Отримана структура лактона деградує під впливом лактонгідролази. Кінцеві речовини перетворюються в більш прості сполуки і засвоюються мікроорганізмами за допомогою циклу Кребса [20].

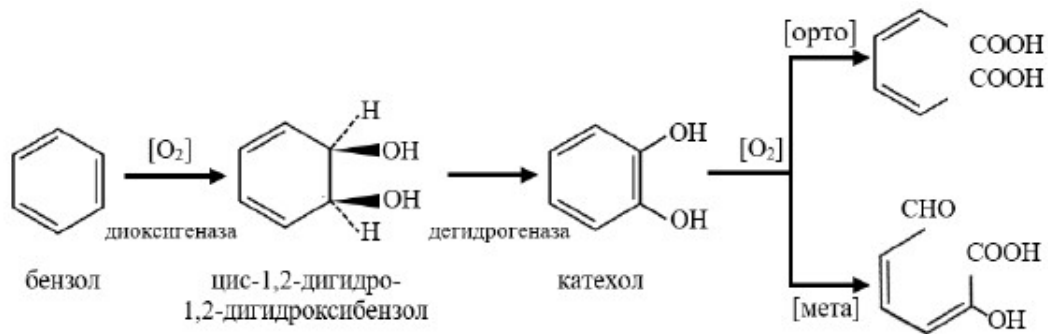
Заміщені циклоалкани легше піддаються біологічній деструкції, ніж незаміщені, особливо, якщо заміщаючою групою є *n*-алкан відповідної довжини. В такому випадку в першу чергу мікробіологічній атаці піддається заміщаюча група, потім утворюється проміжний продукт циклогексанової карбонової кислоти або близьких сполук. В свою чергу, біодеградація отриманої циклогексанової карбонової кислоти передбачає утворення ароматичного проміжного з'єднання, після чого відбувається розщеплення ароматичної кільцевої структури [20].

Окиснення ароматичних вуглеводнів. Ароматичні вуглеводні більш стійкіші до мікробіологічної деструкції, ніж парафіни та олефіни [19]. Більшість ароматичних вуглеводнів є фунгіцидами по відношенню до мікроорганізмів, вони порушують пропускну здатність мембран клітин мікророорганізмів, інгібують синтез білка та хітину [105]. Незважаючи на високу токсичність даної групи вуглеводнів, все ж існують мікроорганізми здатні використовувати ці сполуки в якості джерела живлення [102].

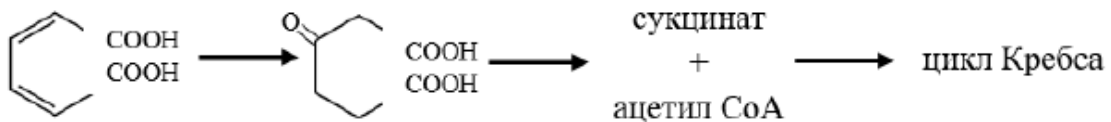
Біодеградація ароматичних сполук відбувається за допомогою оксигеназних реакцій, в результаті яких утворюються оксиароматичні сполуки: пірокатехин (катехол), протокатехова кислота та ін. Трансформації до пірокатехіна підлягають сполуки, у яких в кільці є один або два замісники в положеннях 1 і 2. Арени з двома замісниками в положеннях 1,3 або 1,4, а також з великим числом заміщуючих груп розкладаються з утворенням протокатехової кислоти. В усіх випадках в кільце вводяться гідроксигрупи. Атоми кисню для гідроксигруп доставляє молекулярний кисень. У разі нефенольних ароматичних речовин необхідна для розриву кільця 1,2-дігідроксібензольна структура створюється шляхом подвійного гідроксилювання.

Незаміщене кільце бензолу за участю діоксигенази піддається гідроксилюванню, внаслідок чого утворюється цис-1,2-дигідродігідроксібензол, який в подальшому підлягає дегідрируванню з утворенням кате холу (рис. 2.10 а). Наступний розрив ароматичного кільця знову

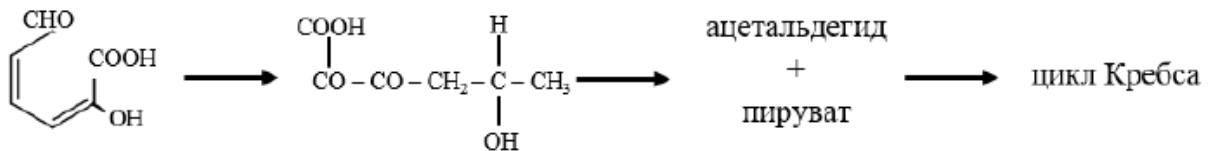
здійснює діоксигеназа з включенням в субстрат молекулярного кисню. Руйнування зв'язку між двома сусідніми гідроксильованими атомами вуглецю призводить до утворення з катехола дикарбонової цис,цис-муконової кислоти (орто-розщеплення) і напівальдегіду 2-гідроксимуконової кислоти (мета-розщеплення) [22].



а



б



в

Рис. 2.10. Механізм біодеградації бензолу: а – окиснення бензолу до продуктів орто- та мета-розщеплення, б – розщеплення цис,цис муконової кислоти, в – розщеплення напівальдегіду 2-гідроксимуконової кислоти

Продукти орто- і мета-розщеплення катехолу підлягають подальшій трансформації (рис. 2.10 б, в). Цис,цис муконова кислота перетворюється в нестабільний енол-лактон, який потім гідролізується в оксоадіпінову кислоту. Новоутворена дикарбонова кислота під впливом ферментних систем мікроорганізмів перетворюється в ацетил КоА і сукцинат, які підлягають

подальшій трансформації за допомогою циклу Кребса. Напівальдегід 2-гідроксімуконової кислоти, в свою чергу, перетворюється в форміат, ацетальдегід і піруват, які в подальшому також залучаються до циклу Кребса [102].

Аеробні і анаеробні шляхи біодеградації ароматичних сполук мають певні особливості. Різноманітні сполуки через велику кількість периферичних метаболічних шляхів трансформуються у декілька ключових сполук, які в подальшому, завдяки роботі подібних для різних груп мікроорганізмів метаболічних шляхів, ведуть до центрального метаболізму клітини [106].

На думку вчених [107, 105] замісники у бензольному ядрі можуть слугувати джерелом карбону й енергії чи джерелом нітрогену для мікроорганізмів, які не здатні руйнувати бензольне кільце (рис. 2.11). Бензоїл-КоА – найпоширеніша проміжна сполука, що утворюється унаслідок розкладання ароматичних молекул, які містять галогеновані, метоксильовані або карбонові бічні ланцюги. Бензоїл-КоА також є проміжною сполукою під час деградації моногідроксильованих ароматичних субстратів і деяких дигідроксильованих сполук, наприклад, катехолу. У результаті використання мікроорганізмами замісників у бензольному ядрі може видалятися ацильний бічний ланцюг, можуть відбуватися процеси деметоксильовання та гідроліз ефіру (рис. 2.11).

2.4 Дослідження видового складу мікроорганізмів нафтодеструкторів

Мікроорганізми-нафтодеструктори – це специфічний вид забруднення нафтопродуктів, яке відрізняється від інших забруднень комплексним впливом на безпосередньо якість самого нафтопродукту (авіаційного палива) та засоби його використання. Головними чинниками є здатність до відтворення та розмноження, а також пристосовуваність до різних умов середовища.

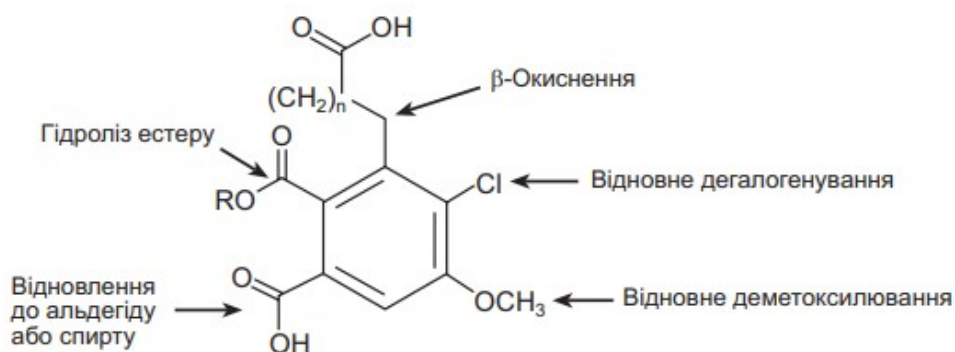


Рис. 2.11. Загальна схема використання мікроорганізмами замісників у бензольному кільці [105]

Особливої актуальності дане питання набуває в контексті глобалізація ринку нафтопродуктопостачання та авіаційного сполучення. Розуміння видового складу мікробіологічного забруднення та закономірності його розвитку дасть змогу обрати ефективні шляхи та засоби для попередження або ліквідації їх появи в авіаційних паливах.

Встановлено, що поширення мікроорганізмів в природі обумовлене їх біологічними особливостями [13, 23, 108]:

- швидкістю розмноження: за сприятливих умов клітини багатьох бактерій діляться через кожні 20–30 хв.;
- відносно високою стійкістю до дії різноманітних фізичних і хімічних факторів - високої і низької температури, дії різного роду випромінювань, висушування, високому осмотичного тиску, нестачі води тощо;
- виключно легкої пристосовуваністю до умов навколишнього середовища;
- надзвичайно великим різноманіттям фізіологічних властивостей, завдяки чому вони можуть використовувати для харчування або отримання енергії практично всі природні сполуки, жити і розмножуватися там, де інші живі істоти жити не можуть.

Встановлено, що вода – основний чинник здійснення нормальної життєдіяльності мікроорганізмів. Для метаболізму та отримання енергії для

існування вони також повинні отримувати з поживного середовища в необхідних кількостях усі елементи, що містяться в їх клітинах. І залежно від того, які елементи надходять в клітину з речовин поживного середовища, останні називають джерелами вуглецю, азоту, фосфору, сірки тощо [13, 23]. Отже, для мікроорганізмів-нафтодеструкторів нафтові вуглеводні – це, в першу чергу, джерело вуглецю.

Також потрібно звернути увагу на складові будови клітин мікроорганізмів. Відомо, що компонентами мікроорганізмів є, як вище зазначено, вода (75–90% маси вегетативної клітини), мінеральні речовини та органічні сполуки – білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи та ліпіди. Білки складають 40–80% маси мікроорганізму та складаються з тих самих амінокислот, що властиві рослинам та тваринам [13, 23, 24]. Звернення уваги на білки пояснюється можливістю використання їх у якості біологічного маркера мікроорганізмів-нафтодеструкторів як забруднювачів авіаційних палив.

Стандартизоване визначення: «таксономія – це галузь систематики мікроорганізмів, що займається встановленням підпорядкованості таксонів мікроорганізмів» [109]. В свою чергу: «таксон – це група мікроорганізмів, якій притаманна задана ступінь спорідненості» [109]. Визначено, що основна таксономічна категорія в мікробіології – це вид, сукупність мікроорганізмів, що мають один тип організації, які в стандартних умовах виявляють подібні фенотипові ознаки (морфологічні, фізіологічні, біохімічні тощо), мають свій генофонд і можуть схрещуватись [24, 108].

Загальновідомо, що для мікроорганізмів встановлені наступні категорії таксономічної ієрархії (таксони) [23, 24]: вид (*Species*); рід (*Genus*); триба (*Tribus*); родина (*Familia*); порядок (*Ordo*); клас (*Classis*); відділ (*Divisio*); царство (*Regnum*).

Види об'єднуються в роди, подібні роди – в триби, триби – в родини, родини – в порядки, порядки, в свою чергу, в класи, а класи – в відділи, а вже

відділи – в царства [24]. Варто зазначити, що в сучасній класифікації родини можуть об'єднуватися в родини і без трибів [23].

Для визначення функціональної і таксономічної структури мікробіологічного фактору авіаційних палив використано результати різноманітних досліджень вчених. Проведений аналіз функціональної і таксономічної структури основних мікроорганізмів-нафтодеструкторів представлений в додатку 2.

2.5. Визначення впливу мікробіологічного забруднення на вміст вуглеводнів авіаційних палив

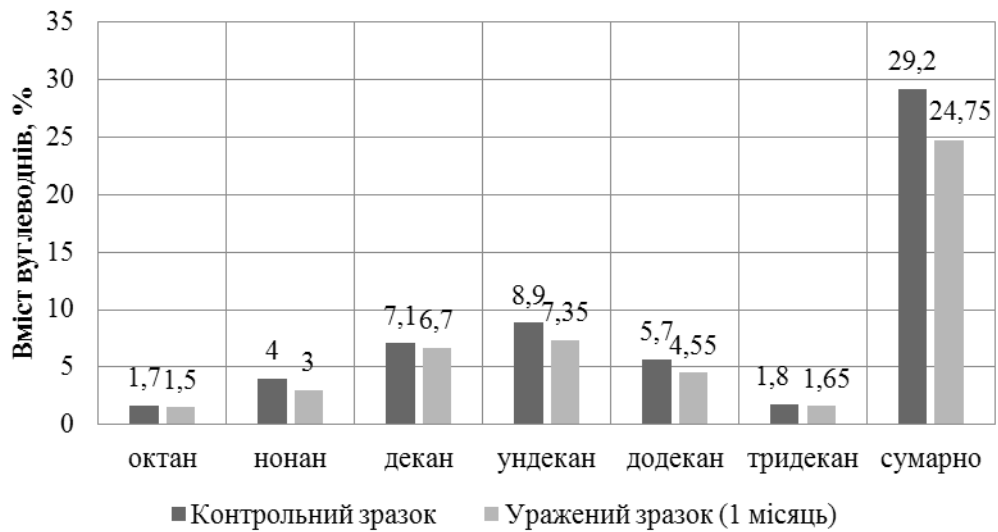
Дослідження виконувалося за допомогою газової хроматографії на хроматографі КРИСТАЛ-2000М. Це вид хроматографії, у якого рухомою фазою (елюентом) є газ – (гелій), нерухомою фазою – силікагель, детектори – плазмово-ізоляційні, капілярна кварцева колонка довжиною 100 м. В якості методики використано ASTM D 6729 [110] та UOP 411 [111].

Так як відомо, що кількість парафінів в груповому вуглеводневому складі авіаційних палив найбільша (табл. 2.1), тому основну увагу під час досліджень приділено цій групі вуглеводнів. Використано контрольний (без мікробіологічного ураження) та уражений зразки палив РТ та ТС-1. Ураження зразків палив здійснено за допомогою ГОСТ 9.023 [91].

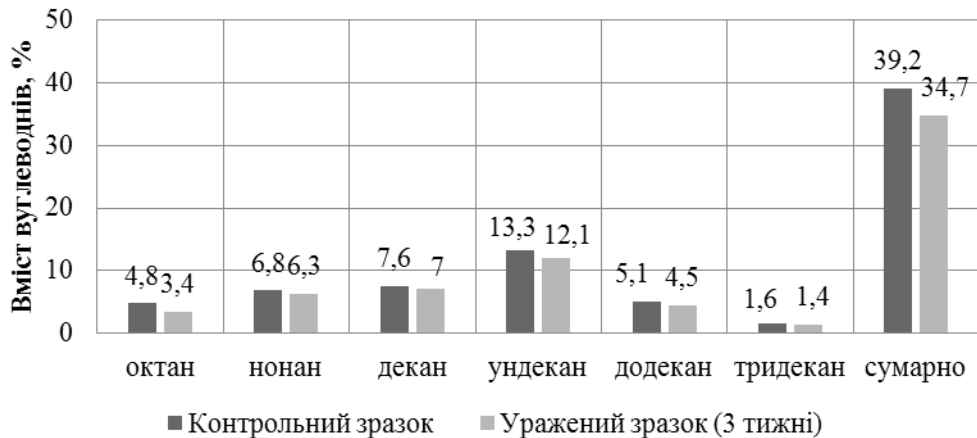
Зразки авіаційного палива вводилися в газовий хроматограф. У потоці газу-носія гелію випаровуваний зразок палива проходив крізь колонку, в якій розділявся на окремі компоненти. Далі полум'яно-іонізаційним детектором компоненти визначалися в міру елюювання в колонці. Кожен елюований компонент ідентифікувався за допомогою порівняння його часу утримування з часом утримування під час аналізування стандартних зразків в ідентичних умовах. Зміст кожного компонента в процентах по масі визначено методом внутрішньої нормалізації площ піків з використанням поправки на коефіцієнт чутливості детектора.

Уточнюче визначення зміни вмісту парафінів виконано за допомогою молекулярних сит 5А (синтетичний цеоліт СаА). Методика заснована на вибірковій сорбції молекулярними ситами парафінових вуглеводнів.

Встановлено, що біодеструкції важче піддаються циклічні та ароматичні вуглеводні, їх кількість не істотно змінюється і у чистих (не уражених), і у уражених зразках (в межах відтворюваності). За результатами досліджень спостерігається зниження парафінового потенціалу (рис. 2.12).



a



б

Рис. 2.12. Зміна вмісту алканових вуглеводнів у складі АПІ марок РТ (*a*) і ТС-1 (*б*)

В загальному, відбувається зміна хімічного складу палив, зокрема, зміна парафінового складу авіаційних палив впливає на енергетичні властивості палива, так як у алканів найбільша теплотворна здатність (табл. 2.2), як зазначено вченим В. М. Еріхом [112]. Теплотворна здатність впливає на КПД повітряно-реактивного двигуна [49].

Таблиця 2.2

Усереднені значення теплотворної здатності вуглеводнів,
що викіпають в межах 80–300 °С

Група вуглеводнів	Q_v , кДж/кг
Алкани	48 600 – 47 200
Циклани	46 400
Моноциклічні ароматичні	42 000- 44 750
Біциклічні ароматичні	40 500

Зменшення вмісту *n*-парафінів свідчить про їх доступність для метаболізму мікроорганізмів та створює небезпеку розвитку мікробіологічного ураження і погіршення якості для авіаційних палив тривалого (стратегічного) зберігання (рис. 2.13).

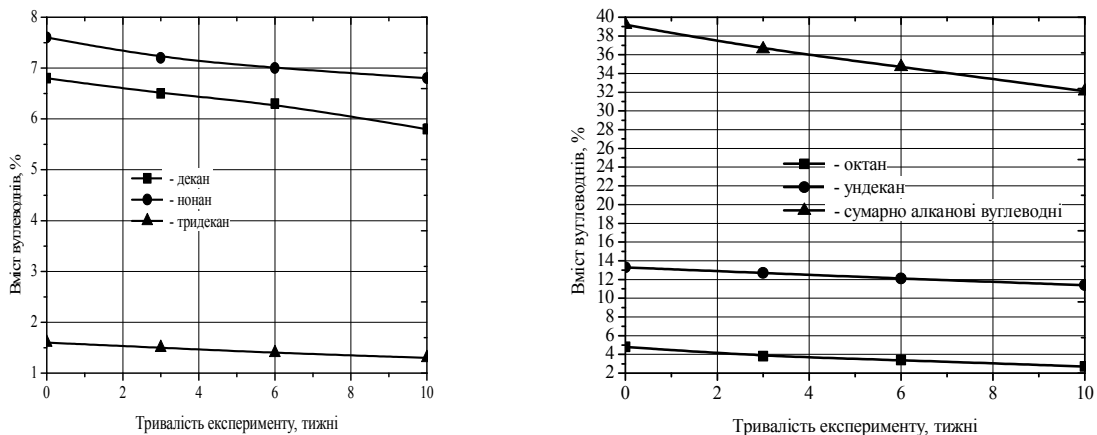


Рис. 2.13. Динаміка зміни вмісту алканових вуглеводнів у складі палива марки ТС-1

Зміна хімічного складу палив через зменшення вмісту алканів впливає на густину, фракційний склад, випаровуваність, температуру спалаху. Швидкість та повнота згорання палива залежать від парафінових вуглеводнів, оскільки вони мають нижчу температуру спалаху. Ці показники, в свою чергу, впливають на льотно-технічні та технічно-економічні характеристики [49]. Густина – важлива фізична характеристика та експлуатаційний показник для розрахунку та обліку палива. Випаровуваність – це властивість палива, що визначає швидкість створення горючої суміші палива з повітрям, що, в свою чергу, впливає на повноту згорання палива та легкість запуску ПРД. Фракційний склад – це показник, пов'язаний з випаровуваністю, що характеризує здатність до випаровуваності та пускові властивості палива, а також безпечну роботи паливної системи ПС [49, 112].

Можна зробити висновок, що поява мікробіологічного забруднення призводить до зміни хімічної стабільності авіаційних палив та фізико-хімічних показників, що становить певну небезпеку для авіаційних палив тривалого зберігання.

2.6 Визначення біологічної стабільності моторних палив

Біологічну стабільність моторних виконувалась згідно вимог ГОСТ 9.023 [91] та стандартної методики МЕК-1954 [113].

Сутність методики полягає в інкубації палива з поживним середовищем, ураженого сумішшю мікроорганізмів, протягом 28 днів за температури 28–32 °С.

В якості грибних культур використано гриби, виділені баків літаків:

1. *Aspergillus niger*
2. *Aspergillus amstelodami*
3. *Hormoconis resinae*
4. *Aspergillus fumigatos*
5. *Penicillium citrinum*
6. *Chaetomium globosum*

7. *Paecylomyces varioti*

8. *Monaskus floridanus*

В природних умовах мікробіологічне ураження відбувається комплексом мікроорганізмів, тому у дослідженні використано суміш грибів.

Оцінка ступеня біоураження після завершення терміну дослідження визначається в балах (табл. 2.3) з врахуванням площі біоураження. Критерієм біостійкості є прозорість зразка та відсутність пігментації, кількість балів – «0», тобто чим більша кількість балів, тим менш біостійкий досліджуваний зразок.

Таблиця 2.3

Оцінка ступеня біостійкості досліджуваного зразка

Характеристика стану зразка	Бали
Повна відсутність зростання мікроорганізмів на зразку	0
Ледь помітне зростання, окремі осередки	1
Слабке зростання мікроорганізмів	2
Помірне зростання, початок спороношення	3
Поверхня зразка повністю уражена мікроорганізмами, рясне спороношення	4
Повне ураження зразка, зміна кольору	5

Дослідження виконано в чашках Петрі за температури 30 °С. Досліджувалися контрольні (неуражені) зразки та уражені зразки моторних палив. Дослідження виконані 8 разів для необхідної відтворюваності результатів. Контрольні зразки залишилися чистими і прозорими, що свідчить про правильність виконання дослідження. Для уражених зразків моторних палив, окрім авіаційного бензину, дослідження завершилися в значно коротший термін – до 20 діб (рис. 2.14).

Результати дослідження свідчать про низький рівень стійкості до мікробіологічного ураження моторних палив, окрім авіаційного бензину AVGAS 100 LL. Отримані результати показали, що на поживному середовищі з автомобільним бензином найшвидше відбулося розростання мікроорганізмів.

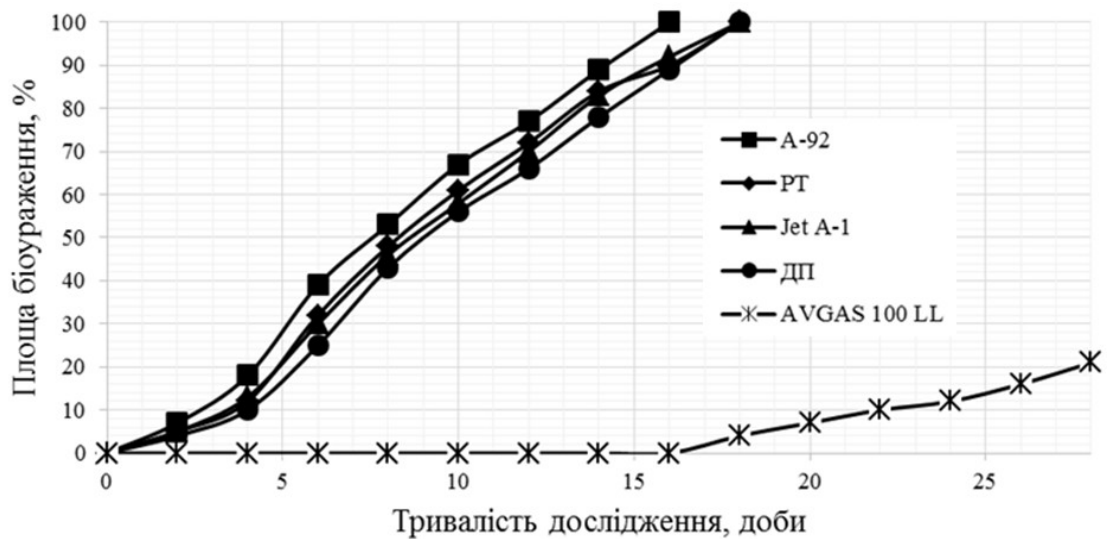


Рис. 2.14. Порівняльна оцінка мікробіологічної стабільності зразків моторних палив

За результатами дослідження багатьох вчених та дослідників минулого століття автомобільні бензини виявлялися більш стійкими до біоураження, ніж палива для ПРД та дизельне паливо [10, 19, 104]. Це пояснюється вмістом в бензині тетраетилсвинцю – антидетонаційного додатку, токсичної металоорганічної сполуки [48]. У 1972 році американське Агентство по запобіганню забруднення навколишнього середовища (EPA) заборонило використання тетраетилсвинцю і виробництво двигунів, розрахованих на етильований бензин. У Євросоюзі етильований бензин був заборонений з 1 січня 2000 року, в [Україні](#) – з 1 січня 2003 року. Сучасні автомобільні бензини не містять цього додатку, проте у їх складі кисневмісні компоненти (оксигенати), представлені спиртами та ефірами або їх сумішами, що подібні до проміжних сполук біотрансформації вуглеводнів (рис. 2.5). Роль оксигенатів – висока детонаційна стійкість та зменшення токсичності відпрацьованих газів автомобіля [114]. Тому, не зважаючи на хімічний склад автомобільних бензинів (55–60% нафтових, біостійкіших вуглеводнів, 36–41% – парафінових вуглеводнів, до 4% – ароматичних [114]), за відсутності тетраетилсвинцю та наявності оксигенатів, які інтенсифікують

мікробіологічне ураження, автомобільні бензини – поживний субстрат для зростання мікроорганізмів.

Досліджувані автомобільний бензин А-92, палива для ПРД та дизельне паливо не стійкі до мікробіологічного ураження, до 18-ої доби уся поверхня поживних середовищ чашок Петрі з досліджуваними зразками палив була уражена мікроорганізмами та відбулася зміна їх кольору (табл. 2.4). Авіаційний бензин AVGAS 100LL виявився самим стійкішим до ураження, на поверхні поживного середовища з авіаційним бензином не відбулося активного розростання мікроорганізмів, спостерігалось ледь помітне зростання у вигляді окремого осередку після встановленого терміну дослідження (28 днів).

Таблиця 2.4

Оцінку ступеня біоураження моторних палив

№ з/п	Досліджуваний зразок моторного палива	Ступінь біоураження, бали
1	Автомобільний бензин А-92	5
2	Паливо для ПРД марки РТ	5
3	Паливо для ГТД Jet А-1	5
4	Дизельне паливо	5
5	Авіаційний бензин AVGAS 100LL	1

За швидкістю поширення мікробіологічного ураження з врахуванням бальної оцінки ступеня біоураження досліджувані зразки моторних палив можна проранжувати (у порядку зростання рівня стійкості) у такий ряд: *автомобільний бензин – паливо для реактивних двигунів – дизельне паливо – авіаційний бензин.*

На думку вчених та дослідників, використання біопалив – тренд сучасного паливозабезпечення [114, 115]. Авіаційні біопалива або авіаційні альтернативні палива – це суміш традиційного нафтового палива для ПРД та біокомпоненту, в якості якого використано етилові естери жирних кислот (ЕЕЖК) рослинних олій [115]. Один з етапів для отримання допуску до виробництва та використання цей вид авіаційного палива повинен пройти

кваліфікаційні випробування [116]. Визначення біостійкості – обов'язкове дослідження нових експлуатаційних матеріалів.

Дослідження палива ТС-1 з вмістом ЕЕЖК у концентрації 10%, 20%, 30% (реформульованого) та безпосередньо біокомпоненту ЕЕЖК виконано за вище описаною методикою.

Результати досліджень свідчать, що біокомпонент – уразлива до мікроорганізмів речовина. Вміст біокомпоненту (10%, 20%, 30%) пришвидшує розвиток мікробіологічної фази. У порівнянні з нафтовим паливом ТС-1 поширення розвитку мікроорганізмів для 10–20% реформульованого ТС-1 відбувається швидше на 12%, для 30% реформульованого ТС-1 – на 23%. Біокомпонент ЕЕЖК піддається біодеструкції на 45% швидше звичайного ТС-1.

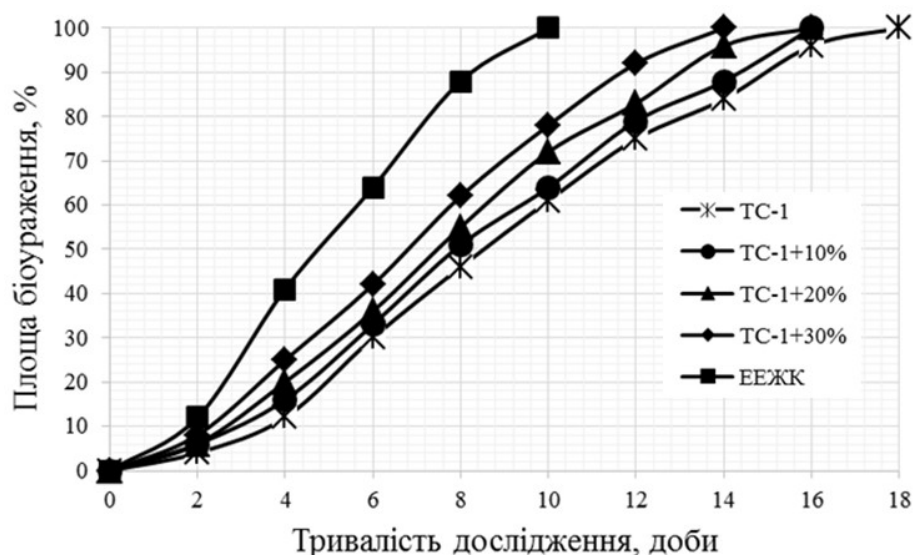
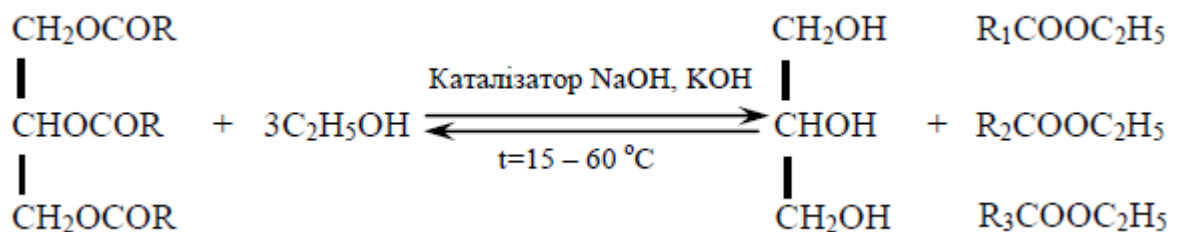


Рис. 2.15. Порівняльна оцінка мікробіологічної стабільності традиційного палива марки ТС-1 і реформульованого (сумішевого ТС-1 із вмістом ЕЕЖК)

Здатність біокомпоненту до біодеградації виконаного нами одслідження відповідає результатам досліджень інших вчених [117, 118]. Зокрема, дослідники встановили за допомогою хроматографічних випробувань, що біодеградація відбувається в такому порядку: жирна

кислота–метиліві ефіри–н-алкани–ізо-алкани–прості та алкільовані ароматичні сполуки–нафтени [119].

ЕЕЖК – це складні ефіри жирних кислот, що отримані внаслідок переестерифікації рослинних олій спиртом у присутності лужного каталізатора (рис. 2.16) [115]. Технологія отримання компонентів палив для ПРД з олій полягає в реакції їх переестерифікації простим спиртом (реакція алкоголізу) [54л, 202кн]. У результаті реакції між складним ефіром та простим спиртом утворюються нові складні ЕЖК та вільний гліцерин:



Складні ефіри – це похідні карбонових кислот, які, в свою чергу, є проміжним продуктом метаболізму вуглеводнів. Включення цих сполук до метаболізму мікроорганізмів-нафтодеструкторів здійснюється за допомогою реакцій гідролізу або відновлення та відбувається згідно рис.2.5.

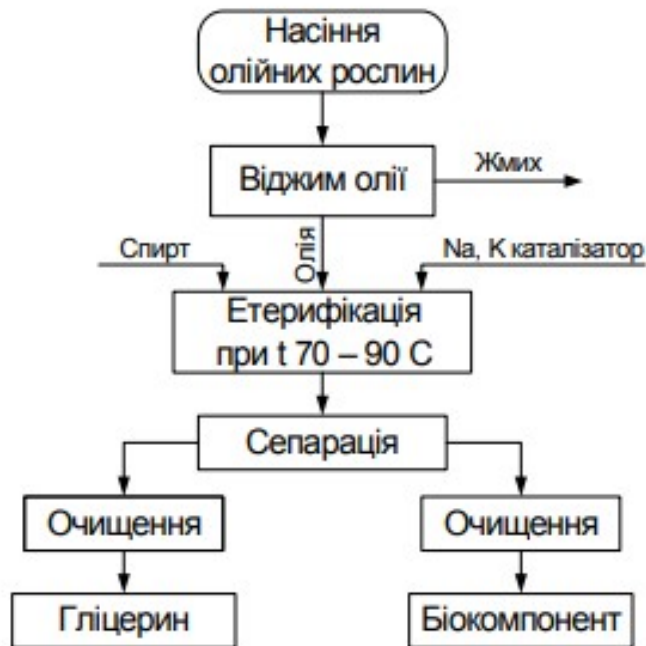


Рис. 2.16. Технологія виробництва біокомпоненту

На думку вчених, здатність біокомпонентів ЕЕЖК до біодеградації – це позитивний ефект від їх використання [120, 121]. В сфері екології та

біоремедіації – звичайно, проте з точки зору якості та збереження властивостей палива створює ризики для використання, зокрема на авіаційному транспорті. Тому, на нашу думку, використання біокомпонентів у складі авіаційних палив потребує подальших досліджень та обов'язкового використання біоцидних додатків.

2.7. Дослідження впливу мікробіологічного забруднення на фізико-хімічні та експлуатаційні показники моторних палив

Фізико-хімічних та експлуатаційні властивості моторних палив визначали з використанням стандартних методів (табл. 2.5) [123-134].

Таблиця 2.5

Стандартизовані методики дослідження фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей палив

№ з/п	Показник	Метод випробування	Вимірювальне устаткування та приладдя
1	Густина	ДСТУ ГОСТ 31072:2006 Нафта і нафтопродукти. Метод визначення густини, відносної густини та густини в градусах API ареометром ASTM D4052 Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter	Ареометр
2	Кінематична в'язкість	ДСТУ ГОСТ 33-2003 Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості ASTM D445 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)	Термостат «Градiєнт», віскозиметри

Продовження табл. 2.5

1	2	3	4
3	Температура спалаху у відкритому тиглі	ДСТУ ГОСТ 4333:2018 Нафтопродукти. Методи визначення температур спалаху та займання у відкритому тиглі	Прилад ТВО-ЛАБ-01
4	Кислотність	ASTM D3242 Standard Test Method for Acidity in Aviation Turbine Fuel <i>Стандартний метод визначення кислотності авіаційних палив</i>	Автоматичний титратор Metler Toledo SM Titrino702
5	Концентрація фактичних смол	ГОСТ 8489-85 Топливо моторное. Метод определения фактических смол [по Бударову] <i>Паливо моторне. Метод визначення фактичних смол [по Бударову]</i>	Прилад ПОС-77
6	Випробування на мідній пластинці	ДСТУ EN ISO 2160:2012 Нафтопродукти. Метод визначення корозійної дії на мідну пластинку	Прилад LOIP LB-200, еталонна шкала
7	Температура початку кристалізації	ГОСТ 5066–91 (ИСО 3013–74) Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации (метод Б) <i>Палива моторні. Метод визначення температури помутніння, початку кристалізації і кристалізації (метод Б)</i>	Установка для визначення низькотемпературних властивостей нафтопродуктів, УТФ-70
8	Термоокиснювальна стабільність у статичних умовах	ГОСТ 11802-88 Топливо для реактивных двигателей. Метод определения термоокислительной стабильности в статических условиях <i>Паливо для реактивних двигунів. Метод визначення термоокиснювальної стабільності в статичних умовах</i>	Прилад ЛСАРТ
9	Нижча теплота згорання	ГОСТ 21261-91 Нефтепродукты. Метод определения высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания <i>Нафтопродукти. Метод визначення вищої теплоти згорання та розрахунок нижчої теплоти згорання палив</i>	Розрахунковий метод
10	Детонаційна стійкість: октанове число за дослідним методом	ДСТУ 8737:2017 Паливо для двигунів. Дослідний метод визначення октанового числа	Установка УИТ-65

З метою встановлення взаємозв'язку між біоураженням сучасних моторних палив та зміною їх показників якості нами були виконані дослідження зміни властивостей традиційних і альтернативних авіаційних палив. Результати випробувань, наведених у табл. 2.6, 2.7, 2.8, яскраво свідчать про негативний вплив мікробіологічного забруднення на якість сучасних палив. Точність експериментальних даних підтверджена збіжністю результатів випробувань, що знаходиться в межах нормативних значень згідно зі стандартами на методи випробувань.

Таблиця 2.6

Зміна показників якості під впливом мікробіологічного забруднення
в паливах для ПРД

№	Найменування показника	ТС-1		РТ		Jet A-1	
		До ураж.	Після випр.	До ураж.	Після випр.	До ураж.	Після випр.
1	Кислотність, мг КОН на 100 см ³	0,2	6,8	0,2	6,5	0,1	6,6
2	Концентрація фактичних смол, мг/100 см ³	2,5	8,7	1,8	7,6	3,8	9,8
3	Випробування на мідній пластинці, бали	1	2а	1	2а	1	3а
4	Температура початку кристалізації, °С	мінус 61	мінус 58	мінус 59	мінус 50	мінус 51	мінус 44
5	Густина за температури 20 °С, кг/м ³	793	791	781	781	779	777
6	Кінематична в'язкість за температури 20 °С, мм ² /с	1,35	1,4	1,38	1,41	1,36	1,42
7	Нижча теплота згорання, кДж/кг	43313	43004	43254	42822	42911	42411
8	Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	34	30	39	33	41	35
9	Термоокиснювальна стабільність у статичних умовах, кількість осаду, мг на 100 см ³	9	15	4	12	3	10

Спостерігається сильне збільшення кислотності, концентрації фактичних смол, температури спалаху, термоокиснювальної стабільності. Значення показників контрольних зразків не змінилося. Випробування на мідній пластинці показало підвищену здатність до корозії уражених зразків понад нормативні значення цього показника. Відбувається підвищення температури кристалізації та зменшення температури спалаху до нормативних значень (додаток 2).

Таблиця 2.7

Зміна показників якості під впливом мікробіологічного забруднення
у реформульованого палива для ПРД марки ТС-1 (з додаванням ЕЕЖК)

№	Найменування показника	ТС-1		ТС-1 + 10% ЕЕЖК		ТС-1 + 20% ЕЕЖК		ТС-1 + 30% ЕЕЖК	
		До ураж.	Після випр.	До ураж.	Після випр.	До ураж.	Після випр.	До ураж.	Після випр.
1	Кислотність, мг КОН на 100 см ³	0,2	6,8	0,2	8,1	0,18	10,6	0,15	15,3
2	Концентрація фактичних смол, мг/100 см ³	2,5	8,7	2,5	9,2	2,8	11,8	3,4	14,5
3	Випробування на мідній пластинці, бали	1	2а	1	2с	1	3б	1	4а
4	Температура початку кристалізації, оС	мінус 61	мінус 58	мінус 59	мінус 55	мінус 57	мінус 54	мінус 55	мінус 51
5	Густина за температури 20 оС, кг/м ³	793	791	801	798	816	814	816	811
6	Кінематична в'язкість за температури 20 °С, мм ² /с	1,3	1,35	1,58	1,64	1,82	2,1	2,25	2,32
7	Нижча теплота згорання, кДж/кг	43313	43004	43082	42657	42048	41292	41463	39354

Таблиця 2.8

Зміна показників якості під впливом мікробіологічного забруднення
в автомобільному бензині марки А-92 Євро
та авіаційному бензині Avgas 100 LL

№	Найменування показника	А-92		А-92 +10%біоетанолу		А-92 +15%біоетанолу		Avgas 100 LL	
		До ураж.	Після випр.	До ураж.	Після випр.	До ураж.	Після випр.	До ураж.	Після випр.
1	Кислотність, мг КОН на 100 см ³	0,09	2,32	0,1	1,9	0,1	2,1	0,05	0,07
2	Концентрація фактичних смол, мг/100 см ³	5	11,8	1,6	3,8	1,8	5,5	1,2	1,4
3	Випробування на мідній пластинці, бали	1	2а	1	2а	1	2а	1	1
4	Октанове число: - дослідний метод	92,5	90,8	92,7	92,0	93,0	92,0	99,6	99,6
5	Густина за температури 15 °С, кг/м ³	735	737	735	737	736	738	738	738

Результати досліджень свідчать про значне збільшення кислотності (збільшення у 1,5–70,0 разів) досліджуваних зразків, окрім авіаційного бензина AVGAS 100LL. Отримані результати щодо значного зростання кислотності палив для ПРД співпадають з результатами інших дослідників [65, 66]. Найбільше збільшення кислотності спостерігається у реформульованого палива ТС-1, що опосередковано свідчить про активний розвиток мікроорганізмів. Найменше – в авіаційного бензина AVGAS 100LL, який як зазначено вище, має високий рівень біологічної стійкості.

Відомо, що кислотність – це показник, що характеризує вміст в паливах органічних кислот та вимірюється кількістю лугу, витраченого на їх нейтралізацію [114]. З однієї сторони, органічні кислоти покращують протизносні та захисні властивості палив, з іншої – здійснюють вплив на корозійні властивості палив, зокрема на сумісність з експлуатаційними матеріалами. Тому в реактивних паливах, значення показника кислотності обмежують.

Зростання кислотності пояснюється появою в паливі проміжних продуктів метаболізму (циклу Кребса) мікроорганізмів-нафтодеструкторів – оцтової, лимонної, цис-аконітової, фумарової, яблучної та щавлевооцтової кислот (рис. 2.5) [100], які не усі встигають піддатися метаболізму мікроорганізмів та накопичуються в паливі.

За результатами досліджень встановлено збільшення концентрації фактичних смол (збільшення у 2,6–4,2 рази), що становить певні ризики для нормальної роботи двигуна через відкладення смолистих сполук на деталях паливної апаратури, на клапанах, у камері згорання, а також картері двигуна. Поява фактичних смол характеризує здатність палив до утворення низькотемпературних відкладень та відкладень окислювального характеру в камері згорання, зменшується пропускна здатність палив проводів

Спостерігається значне (більше нормативного значення цього показника) збільшення цього показника в паливах для ПРД РТ, ТС-1, Jet A-1, автомобільному бензині А-92, реформульованому ТС-1.

Варто, зазначити, що вміст біоетанолу в автомобільному бензині А-92 здійснює фунгіцидний вплив, тому метаболізм мікроорганізмів-нафтодеструкторів відбувається повільніше. Фунгіцидний ефект триває недовго (лаг-фаза у випадку зміни основного субстрату), а потім бензин підлягає мікробіологічній деструкції, оскільки етанол – проміжний продукт аеробного та анаеробного окислення вуглеводнів. У випадку аеробного окислення етанол перетворюється на ацетальдегід, потім в ацетат, потім Ацетил-КоА, і далі – потрапляє в цикл Кребса.

Зменшення нижчої теплоти згорання свідчить про вплив мікробіологічного забруднення на показник енергетичної цінності палива – теплоту згорання. Серед компонентів палив для ПРД максимальну теплоту згорання мають алкани, потім циклани, далі ароматичні вуглеводні, цикланоароматичні та ненасичені. Тобто, внаслідок зменшення алканів через доступність для метаболізму палива, знижується його енергетична цінність через зменшення теплоти згорання на 1–5 %.

Фільтрувальна здатність авіаційних палив за низьких температур як експлуатаційна характеристика характеризується комплексом фізико-хімічних явищ, що виникають у них за температури нижчої ніж 0 °С і регламентується показником температури кристалізації. Як бачимо з експериментальних даних табл. 2.6 та 2.7 змінення цього показника в бік погіршення може коливатись у межах 2–15 %.

Здатність до відкладень у паливній системі характеризується показником термоокиснювальної стабільності реактивних палив. Щодо надійності авіаційної техніки та за результатами табл. 1 дійшли висновку про негативну тенденцію зміни цього показника в 1,3–3,5 разів.

Спостерігається підвищення на 2–4 % значення кінематичної в'язкості після мікробіологічного ураження палив (табл. 2, 3).

В умовах експлуатації техніки найчастіше під впливом палива з підвищеною кислотністю піддаються корозії деталі агрегатів паливної системи. Виконані дослідження демонструють зміну кислотності (рис. 2.17) палив у

1,5–70,0 разів (табл. 2.6–2.8) після біоураження. Проте було зафіксовано помірну тенденцію до збільшення кислотності у бензину з вмістом біоетанолу (табл. 2.8), ніж у попередньому дослідженні, через наявність спирту, що має певні антисептичні властивості та пригнічує розвиток мікрофлори у паливі. А наявність у складі авіаційного бензину Avgas 100 LL токсичного ТЕС перешкоджає розвитку мікроорганізмів, що підтверджує відсутність змін у показника.

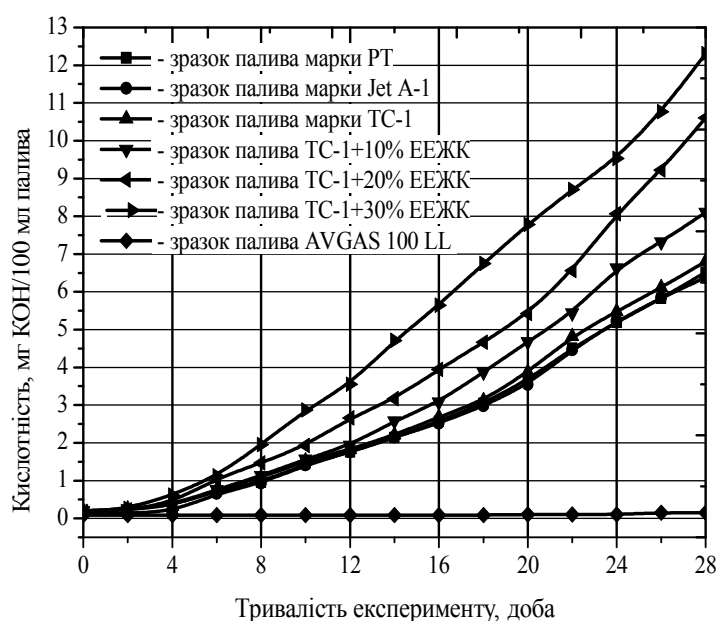


Рис. 2.17. Динаміка зміни кислотності досліджених авіаційних палив

Варто зазначити зміну ОЧ бензинів (на 0,5–1,7 од.) (табл. 3). Загалом детонаційна стійкість вуглеводнів зростає у ряді: *n*-парафінові-нафтенові-ненасичені-ароматичні. А здатність до біодеструкції збільшується у зворотному напрямку, таким чином й спостерігається помірне зниження ОЧ. Найбільш стійким серед бензинів виявився авіаційний марки Avgas 100 LL.

2.8 Кольорові методи визначення наявності мікробіологічного забруднення

Існуючі на сьогодні методи виявлення наявності мікроорганізмів у складі авіаційних палив, зокрема, допущений ІКАО метод MicrobMonitor, не

здатні до оперативного встановлення ураження мікроорганізмами в умовах оперативної роботи аеропорту. Тому було проведено цикл досліджень низки кольорових реакцій для виявлення біозабруднення в авіаційних паливах. Основними критеріями вибору індикатора обґрунтовано надійність методу, нескладність та оперативність отримання результату. Для цього використовувались відомі якісні кольорові реакції Фоля, Руемана, Адамкевича, утворення комплексів з металами (табл. 4). Вибір кольорових реакцій визначено наявністю в мікроорганізмах білкових сполук – амінокислот, що характерні для усіх живих організмів [143, 144]. Усі ці реакції відрізняються утворенням забарвлення, характерного для кожного методу кольору, що утворюється під час взаємодії білкових сполук (або амінокислот, що входять до їх складу) з відповідними хімічними реактивами.

Методика визначення біологічного забруднення за допомогою реакції Фоля. Амінокислоти (цистеїн і цистин), що містять сульфгідрильні групи -SH, піддаються лужному гідролізу «слабозв'язана сірка» в цистеїн і цистині досить легко відщеплюється, в результаті чого утворюється сірководень, який реагуючи з лугом, дає сульфід натрію (Na_2S). При додаванні ацетату свинцю (II) утворюється осад сульфідну свинцю (II) сіро-чорного кольору [144–146].

Дослід виконували наступним чином. У пробірку наливали 1 мл палива ТС-1 (дослідний зразок), додавали 0,5 мл 20 %-го розчину гідроксиду натрію. Суміш нагрівалася до температури кипіння, і до неї потім додали 0,5 мл 5%-го розчину ацетату свинцю (II). Очікували осаду.

Методика визначення біологічного забруднення за допомогою реакції утворення комплексів з металами

α -Амінокислоти утворюють з катіонами важких металів внутрішньокмплесні солі. З свіжоприготованим гідроксидом міді (II) всі α -амінокислоти в м'яких умовах дають внутрішньокмплесні (хелатні) солі міді (II) синього кольору, які добре кристалізуються. У таких солях іони міді з'єднані з аміногрупами координаційними зв'язками [146].

Опис досліду. У пробірку наливали 3 мл 3%-го розчину сульфату міді (II), додавали декілька крапель розчину гідроксиду натрію до утворення блакитного осаду. До отриманого осаду гідроксиду міді (II) доливали досліджуване палива ТС-1. Очікували утворення темно-синього розчину гліцинату міді.

Методика визначення біологічного забруднення за допомогою індикатору – нінгідрину

Сутність методу полягає у тому, що дослідний зразок і розчин нінгідрину розміщують на предметному склі і накривають іншим скельцем – для виключення контакту біофази з атмосферою. Нагрівають у полум'ї спиртівки. Нагрівання виконують до появи фіолетового кольору за наявності мікроорганізмів, але не більше 30 с. Дослід виконувався наступним чином [144, 146].

1. Посуд, вимитий і висушений, закривають ватними пробками, загортають в папір і стерилізують у сушильній шафі за 160 °С протягом 2 год.

2. Проба палива для аналізу повинна бути відібрана з таких місць і частин системи, де концентрація мікроорганізмів може бути найбільшою. Це змив з бортових фільтрів тонкої очистки, змив з фільтроелементів пунктів фільтрації палив, відстій з баків і ємностей і так далі. За відсутності у відстої води, відстій доцільно відфільтрувати й використовувати для аналізу змивань з фільтру. Осади з фільтру змивають дослідним паливом, кількість якого обмежують. Як фільтри бажано використовувати мембранні, нітроцелюлозні, фільтри паперові чи елементи фільтруючих перегородок фільтрів літаків з нікільового дроту саржевого плетіння. Кількість відстою, взятого для фільтрування, повинно бути по можливості якнайбільше (~400 см³).

Найкращою пробою для аналізу є водна фаза (може бути використана водна витяжка змивання з фільтру). Водна фаза після відбору проби негайно ізолюється від атмосфери.

3. Для проведення аналізу відстійної води або водної витяжки на виявлення водорозчинного білка й вільних амінокислот їх концентрують через випаровування водного відстою досуха на предметному склі у верхній частині полум'я спиртівки, додаючи по 2—3 краплі відстою. Для випаровування використовують 1–2 см³ відстою. На осад, який не випарувався на склі, додають 1–2 краплі розчину нінгідрину, накривають іншим скельцем і виконують нагрівання за схемою, що описана вище. Нагрівання виконують до появи фіолетового кольору за наявності мікроорганізмів, але не більше 30 с.

4. Критерії забруднення палива мікроорганізмами:

- паливо вважається незабрудненим, якщо воно залишається прозорим і відсутнє фіолетове забарвлення;
- паливо вважається забрудненим у випадку появи фіолетового забарвлення розчину.

Методика визначення біологічного забруднення за реакцією Адамкевича.

Реакція Адамкевича (А. Adamkiewicz, 1850-1921, австрійський патолог) – кольорова якісна реакція на амінокислоту триптофан і білки, що містять триптофан, заснована на червоно-фіолетовому фарбуванні їх розчинів після додавання гліоксилової і концентрованої сірчаної кислот. Гліоксилова кислота зазвичай міститься у вигляді домішки в оцтовій кислоті і обумовлює реакцію Адамкевича на білки.

Техніка визначення. У пробірку наливали 1-2 мл палива, додавали 1 мл концентрованої оцтової кислоти (в ній завжди у вигляді домішки міститься гліоксилова кислота) і, сильно нахиливши пробірку, обережно по стінці додавали 1 мл концентрованої сірчаної кислоти так, щоб обидві рідини не змішувались. У вертикальному положенні на межі двох рідин утворюється за наявності білків утворюватися червоно-фіолетове кільце, що поступово поширюватиметься на всю рідину. Чутливість реакції 1:200000, а в присутності іонів міді зростає до 1:1000000; перекис водню пригнічує

реакцію. Слід пам'ятати, що, крім триптофану, цю реакцію дають ароматичні гетероциклічні органічні сполуки, такі як індол і його похідні.

Результати досліджень представлені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Порівняльне дослідження кольорових реакцій з метою визначення наявності мікробіологічного забруднення в авіаційних паливах

№ з/п	Назва реакції	Білок (амінокислота)	Реактив	Концентрація та кількість реактиву	Очікуваний результат	Отриманий результат
1	Реакція імені Фоля	Цистеїн (<i>α</i> -аміно- <i>β</i> -тіопропіонова кислота) та цистин (3,3'-дитіо-бис-2-амінопропіонова кислота)	Гідроксид натрію (NaOH), ацетат свинцю ($Pb(CH_3COO)_2$)	1мл 5%-го розчину Pb (CH_3COO) ₂ , 10%-й розчин NaOH 5 мл палива	Осад сульфїду свинцю (II) сіро-чорного кольору	120 год, без змін
				1мл 50%-го розчину Pb (CH_3COO) ₂ , 10%-й розчин NaOH, 5 мл палива		120 год, без змін
				1мл 50%-го розчину Pb (CH_3COO) ₂ , 10%-й розчин NaOH, 10 мл палива		120 год, без змін
2	Утворення комплексів з металами	<i>α</i> -амінокислоти (амінокарбоніві кислоти)	Сульфат міді(II) (CuSO ₄), гідроксид натрію (NaOH)	3 мл 3%-го розчину сульфату міді(II), декілька крапель 10%-го розчину гідроксиду натрію, 5 мл палива	Розчин гліцинату міді синього кольору	111 год, поява синього кольору
				3 мл 22%-го розчину сульфату міді(II), декілька крапель 10%-го розчину гідроксиду натрію, 5 мл палива		108 год, поява синього кольору
				3 мл 22%-го розчину сульфата міді(II), декілька крапель 10%-го розчину гідроксиду натрію, 10 мл палива		108 год, поява синього кольору
3	Реакція імені Руемана	<i>α</i> -амінокислоти (амінокарбоніві кислоти)	Нінгідрин 2,2-Dihydroxyindane-1,3-dione – C ₉ H ₆ O ₄	1–2 краплі розчину нінгідрину, 1–2 мл палива	Фіолетове забарвлення	1,5 хв, поява фіолетового забарвлення

4	Реакція імені Адам-кевича	Триптофан (β-(β-індолил)-α-амінопропі-онова кислота, C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₂)	Концентрована оцтова (CH ₃ COOH) та сірчана (H ₂ SO ₄) кислоти	1 мл концентрованої оцтової кислоти, 1 мл концентрованої сірчаної кислоти, 2 мл палива	На межі двох рідин утворюється червоно-фіолетове кільце, поступово поширюється	48 год, утворилося червоно-фіолетове кільце, що поширилося на усю рідину
---	---------------------------	--	--	--	--	--

Результати досліджень продемонстрували відсутність змін у контрольних зразках кожної марки палива, не відбулася реакція Фоля для уражених зразків авіаційних палив. Найшвидший результат було зафіксовано під час дослідження за допомогою реакції Руемана (нінгідринової реакції) – результат отримано через 1,5 хв. Мікроскопування зразків з фіолетовим забарвленням показало наявність мікробіологічної фази (рис. 6). Мікроскопування також показало наявність мікробіологічної фази в уражених зразках палив, а в контрольних зразків – відсутність включень та домішок (рис. 2.18).

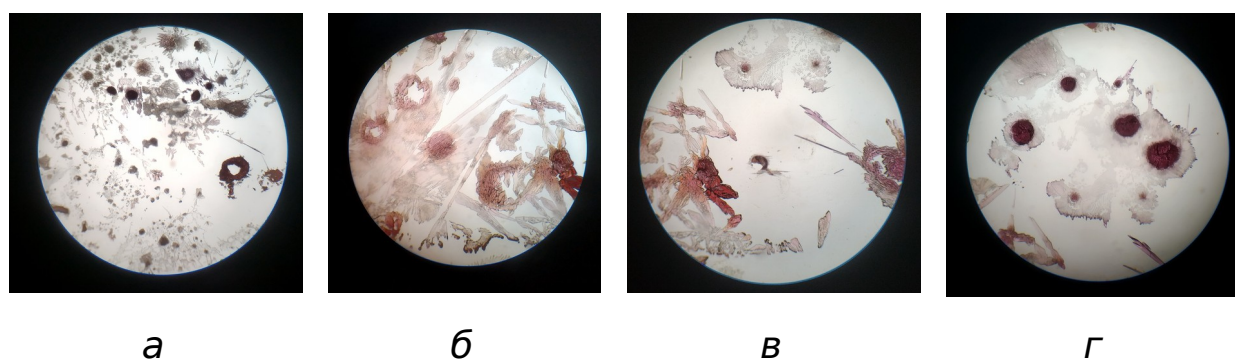


Рис. 2.18. Результати мікроскопування зразків авіаційних палив з мікробіологічним забрудненням, виявленим за допомогою реакції Руемана: *a* – паливо марки РТ; *б* – паливо марки ТС-1; *в* – паливо марки Jet A-1; *г* – бензин марки AVGAS 100LL

На підставі багаточисельних досліджень визначення вмісту мікробіологічного забруднення в АП за допомогою реакції Руемана Розроблену методику визначення наявності мікробіологічного забруднення (додаток 3) [139].


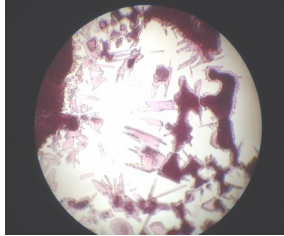

Для підтвердження надання достовірного результатів методику перевірено за допомогою тесту MicrobMonitor2, рекомендованого ІАТА для визначення мікробіологічного забруднення в резервуарах з авіаційним паливом та для контролю мікробіологічного забруднення в резервуарах з авіаційним паливом Цей тест вказаний в інструкціях з техобслуговування компаній Airbus, Boeing, BAE Systems та інших провідних виробників авіаційної галузі. Даний тест використовують в різних родах військ для контролю забруднення палива для повітряного, морського та наземного транспорту і включений в систему каталогізації НАТО (6640-99-834-3573).

MicrobMonitor2 показує загальна кількість мікробних колонієутворюючих одиниць (КУО). КУО - це умовна одиниця виміру мікробіологічного забруднення, яка використовується в багатьох галузях. За кількістю колоній, що утворилися, можна безпосередньо оцінити кількість життєздатних мікробних колоній (КУО), наявних в досліджуваній пробі. Фактична кількість колоній підраховується або оцінюється шляхом зіставлення до еталонною таблицею результатів тесту. Виконання здійснювалося згідно Інструкції з використання тесту [141].

Сутність тестування полягає в додаванні палива у кількості 0,5 мл до спеціального контейнера з субстратом, витримуванні контейнера за температури 25°C протягом 4 діб. За кількістю профарбованих колоній мікроорганізмів визначається ступінь біоураження палива. Для дослідження використано зразок палива Jet A-1 з видимим слизеподібним утворенням біологічного походження. Результати дослідження представлені у таблиці 2.10. Із наведених даних видно, що результати випробувань за ознаками відтворюваності підтверджують мікробіологічне забруднення досліджуваного зразка. Рівень валідації методики за внутрішньолабораторною відтворюваністю становить 98 %.

Таблиця 2.10

Порівняльні дослідження наявності мікробіологічного забруднення
в паливі Jet A-1, виконані різними методами

Результат	Методика		
	За допомогою нінгідринової реакції		MicrobMonitor2
	На предметному склі	Під мікроскопом	
Візуальний вигляд			
Інтерпретація	Інтенсивне мікробіологічне забруднення		Сильне забруднення, наявність більше 10000 КоЕ/л

Таким чином, дослідження за методикою визначення мікробіологічного забруднення на базі нінгідринової реакції дає достовірні об'єктивні результати та має перевагу перед загальноживаною тест-системою MicrobMonitor2 у швидкості виконання та отримання результатів. Це, в свою чергу, дає можливість задовільнити вимогу Doc ICAO 9977 щодо щоденного моніторингу вмісту мікробіологічного забруднення в паливних системах.

2.9 Визначення ефективності біоцидних додатків

Для визначення ефективності біоцидних додатків використано метод зональної дифузії. В якості тест культури використовувалися суміші аеробних бактерій (*Pseudomonas*, *Bacterium*, *Mycobacterium*), які виділяються з накопичувальних культур. Дослідженню піддане паливо РТ з вмістом у різній концентрації біоцидних додатків. Випробування бактеріальної стійкості палива, захищеного протимікробними присадками з різними

концентраціями виконували в чашці Петрі на агарі для культивування мікроорганізмів (ГРМ-АГАР).

В день випробування готується суміш тест-організмів, змиваючи добову культуру, яка вирощена на м'ясо-пептонному агарі. По стандарту мутності готується 2 млрд суспензію тест-організмів в фізіологічному розчині.

Для приготування поживного сухого агару ГРМ-АГАР для однієї чашки Петрі використано 25 мл дистильованої води і 0,95 г агару, після чого суміш піддали кипінню протягом 1-2 хв до повного плавлення агару. Розплавлений поживний агар охолоджували до 40-50°C і вносили суспензію накопичувальної культури із розрахунку 2 мл 2 млрд суспензії бактерій на 100 мл середовища. Середовище після інокуляції (ураження) розливалось по 15 см³ в чашки Петрі.

На застиглу, строго горизонтальну поверхню агару ставили скляні циліндрики (внутрішній діаметр 7,0 мл), в які вносили проби досліджуваного палива РТ, захищеного біоцидними додатками з різними концентраціями (рис. 2.19).

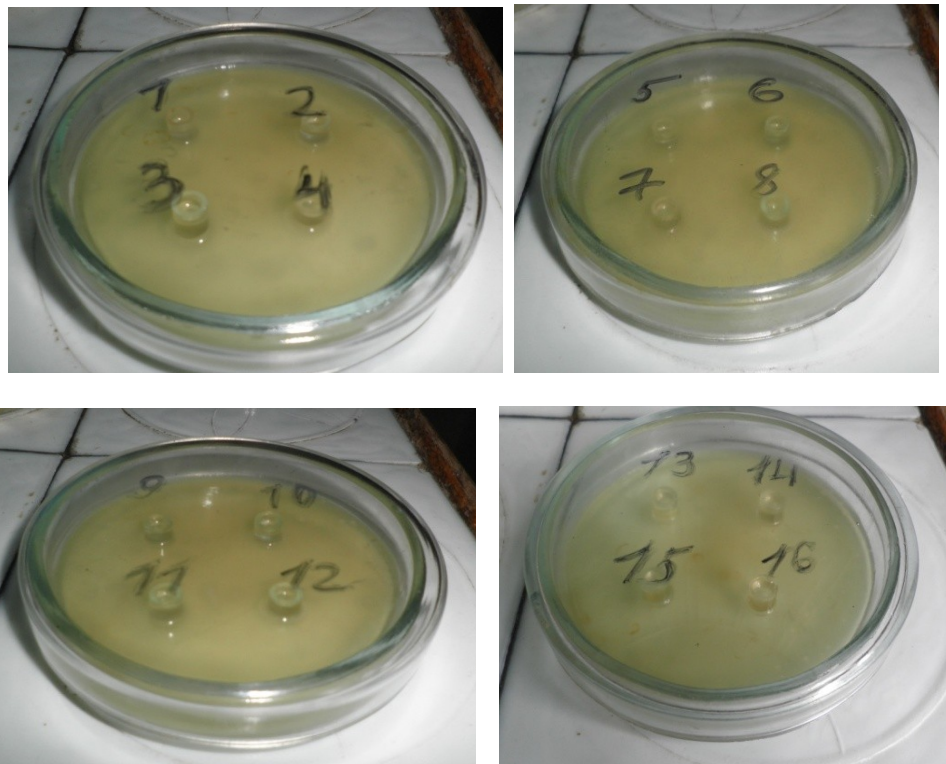
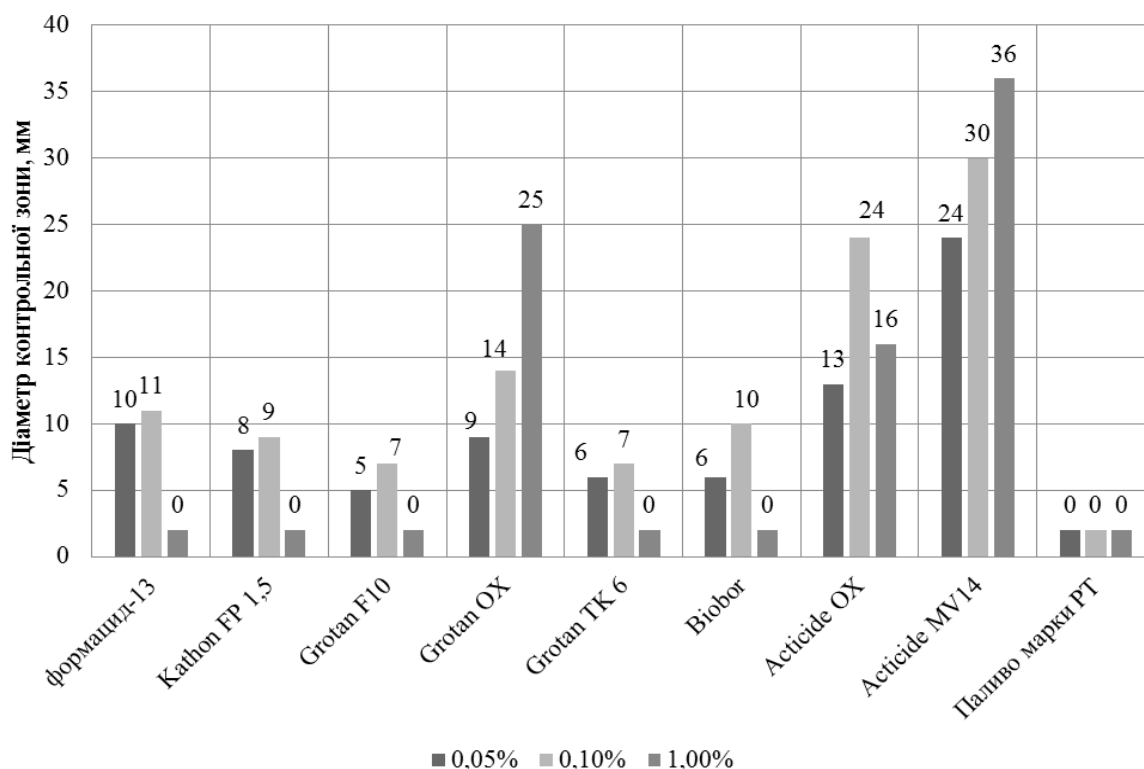


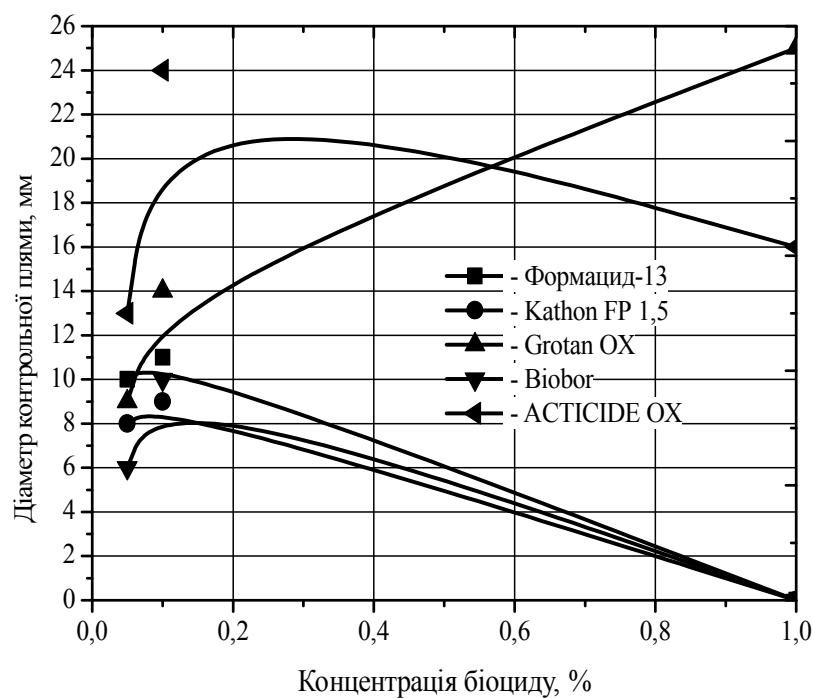
Рис. 2.19. Вигляд досліджуваних зразків

Чашки Петрі витримували в термостаті за температури 30–35°C. Інкубація тривала 24 години. Повторність випробувань виконували 4-кратно.

Після 24 години інкубації поверхню чашки Петрі покривалася бактеріальною мікрофлорою, а навколо циліндрів створювалися зони відсутності росту (зони «просвітлення») у випадку бактеріальної стійкості нафтопродукту. Діаметр зони просвітлення характеризує ступінь стійкості випробовуваних нафтопродуктів. Отже, оцінка результатів порівняльних досліджень свідчать, що найкращі протимікробні властивості проявили такі добавки як: формацид-13, Kathon FP 1,5, Grotan OX, Biobor, Akticide OX, Akticide MV14 (рис. 2.20). Встановлено максимальну ефективну їх концентрацію – 0,1 %. Підвищення концентрації у більшості випадків виявило зворотний ефект.



a



б

Рис. 2.20. Результати порівняльного дослідження дії (а) і ефективності (б) біоцидних добавок у різних концентраціях на паливо марки РТ

Встановлено, що максимальна ефективна концентрацію біоцидних добавок – 0,1 %. Підвищення концентрації у більшості випадків виявило зворотний ефект.

Аналіз наукової літератури щодо ефективної біоцидної дії добавок показав, що в основі синтеза найбільш розповсюджених біоцидних добавок знаходяться реакції вищих аліфатичних та ароматичних кислот або їх похідних з нижчими полуфункціональними амінами (наприклад, етиленамінів та етаноламінів). Біоцидні добавки на основі алкилімідазолінів (до яких, зокрема, і відноситься Kathon FP 1,5) викликають зацікавленість багатьох дослідників [142].

2.10. Математичне оброблення результатів досліджень

Для оброблення експериментальних даних досліджень фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей палив застосовували лінійний регресійний аналіз. Даний аналіз досить часто використовують у хімічних дослідженнях для виявлення та аналізу впливу факторів на досліджуваний параметр [147, 148]. Залежно від кількості досліджуваних факторів обрано такі рівняння регресії у загальному вигляді:

– для двох факторів: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{1,2}x_1x_2$;

– для трьох факторів:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{1,2}x_1x_2 + b_{1,3}x_1x_3 + b_{1,2,3}x_1x_2x_3 ,$$

де y – вибіркова оцінка для вихідного параметра;

x_1 , x_2 – значення факторів;

b_0 – вільний член, що дорівнює виходу параметра при $x = 0$; b_1 , b_2 , b_3

– коефіцієнти регресії відповідних факторів, що вказують на вплив того чи іншого фактора на досліджуваний параметр; $b_{1,2}$, $b_{1,3}$, $b_{2,3}$

– коефіцієнти регресії при добутку факторів, що свідчать про наявність взаємодії між факторами; $b_{1,2,3}$

– коефіцієнт регресії, що вказує на потрібну взаємодію факторів.

Необхідна кількість проведення дослідів m визначалася за формулою:

$$m = 2^i ;$$

де i – кількість досліджуваних факторів.

Розрахунок коефіцієнтів регресії виконували за наступними формулами:

$$b_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{y}_m x_0^m;$$

$$b_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{y}_m x_i^m;$$

$$b_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{y}_m x_i^m x_j^m,$$

де \bar{y}_m – середнє значення вихідного параметра у m -му варіанті; x_i^m – значення даного фактора у m -му варіанті; $x_i^m x_j^m$ – значення добутку факторів у m -му варіанті. Після знаходження значень коефіцієнтів регресії записували рівняння регресії та проводили статистичний аналіз рівняння регресії. Спочатку розраховували дисперсію відтворюваності та дисперсію коефіцієнтів регресії. Для цього розраховували порядкові дисперсії за формулою $S^2_{umk} = \frac{1}{k} \sum_{m=1}^k y_m^2 - \frac{(\sum_{m=1}^k y_m)^2}{k}$, де k – кількість паралельних дослідів. Визначали дисперсії відтворюваності як середнє арифметичне значення порядкових дисперсій: $S^2_y = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S^2_{umk}$. Визначали дисперсію середнього значення $S^2_{\bar{y}} = \frac{1}{m} S^2_y$. Встановлювали дисперсію коефіцієнтів регресії за формулою $S^2_{bi} = \frac{1}{m} S^2_{\bar{y}}$. Знаючи S^2_y , визначаємо похибку коефіцієнтів регресії: $S_{bi} = \sqrt{S^2_{bi}}$. 52 Надалі виконували перевірку вагомості коефіцієнтів регресії за нерівністю $b_i > S_{bi} t_{\alpha, f}$. Значення коефіцієнта Стюдента t для заданої достовірності $\alpha=95\%$ та кількості степенів вільності $f = m(k - 1)$ вибирали з довідкових даних [135, 135]. Якщо для будь-якого з факторів нерівність не виконується, то відповідний фактор вважають не значущим і виключають його з рівняння регресії. Статистичне оброблення результатів експериментальних досліджень виконували з використанням комп'ютерної програми Mathcad 15. Побудову графічного матеріалу виконували за допомогою комп'ютерних програм Mathcad 15, Grapher 8, ChemDraw Ultra 11.0, Chem3D Pro 11.0, Avogadro, Jmol та MS Visio.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ:

1. Встановлено видовий склад мікроорганізмів-деструкторів, що здатні засвоювати вуглеводні авіаційного палива. Це гриби, бактерії та дріжджі. Найпоширенішими є гриби, проте на склад мікробіологічного забруднення впливає географічна зона знаходження біоураження палива.

2. Встановлено основні закономірності та механізм біодеструкції авіаційних палив. Встановлено, що механізм біодеструкції вуглеводнів авіаційних палив залежить від адаптивних ферментів мікроорганізмів, тому вони мають до різних вуглеводнів властивість вибіркового відношення, що визначається не тільки структурою вуглеводню, а й кількістю вуглеводневих атомів в його структурі, і різними напрямками метаболізму. Найбільший рівень біодеструкції виявлено на *Hormoconis resiniae* у алканових вуглеводнів з більш довгим вуглецевим ланцюгом.

3. Розвинуто уявлення про мікробіологічне ураження авіаційних палив як про процес, що складається з трьох послідовних взаємозалежних етапів: *взаємодії (адгезії) мікроорганізмів з паливами – зростання у середовищі вуглеводнів палива – зміна властивостей палива*. Доведено незворотну зміну показників якості авіаційних палив унаслідок мікробіологічного ураження. Інструментальними фізико-хімічними дослідженнями вивчено зміну кислотності (збільшення у 1,5–70,0 разів), корозійної активності, вмісту фактичних смол (збільшення у 2,6–4,2 рази), термоокиснювальної стабільності (зменшення у 1,3–3,5 разів), теплоти згорання (зменшення на 1–5 %), температури початку кристалізації

(збільшення на 2–15 %), кінематичної в'язкості (підвищення на 2–4 %) сучасних авіаційних палив.

4. Дістало подальшого розвитку теоретичне уявлення щодо мікробіологічної стабільності моторних палив. Ураховуючи різні активність культур мікроорганізмів і вуглеводневий склад, досліджені палива за мікробіологічною стабільністю проранжовано (у порядку зростання) у такий ряд: *автомобільний бензин – паливо для реактивних двигунів – дизельне паливо – авіаційний бензин*. Вищий рівень стійкості до ураження у авіаційного бензину пояснюється наявністю у його складі ТЕС, що чинить токсичний вплив на живі організми.

5. Уперше виявлено, що наявність біокомпонентів (етиліві або метилові ефіри жирних кислот) пришвидшує розвиток мікробіологічної фази у складі авіаційних палив через доступність естерів для метаболізму мікроорганізмів і слабкі хімічні зв'язки в молекулах біокомпонентів, що сприяє активному розмноженню мікроорганізмів. Реформульовані реактивні палива (сумішеві, що містять FAME), більш чутливі до мікробіологічного ураження через їх підвищену гігроскопічність та вміст етилових/метилових жирних кислот. Легкість окиснення та здатність до біодеструкції цього палива обґрунтовує обов'язкове використання біоцидів для сумішевих палив.

6. Запропоновано та експериментально обґрунтовано можливість використання біохімічних колориметричних реакцій для визначення наявності мікроорганізмів в авіаційних паливах. Розроблену на базі реакції Руемана методику мікробіоло-гічного забруднення перевірено та підтверджено її дієвість та надійність порівняно з відомим методом тестування MicrobMonitor2. Рівень валідації методики за внутрішньолабораторною відтворюваністю становить 98 %.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

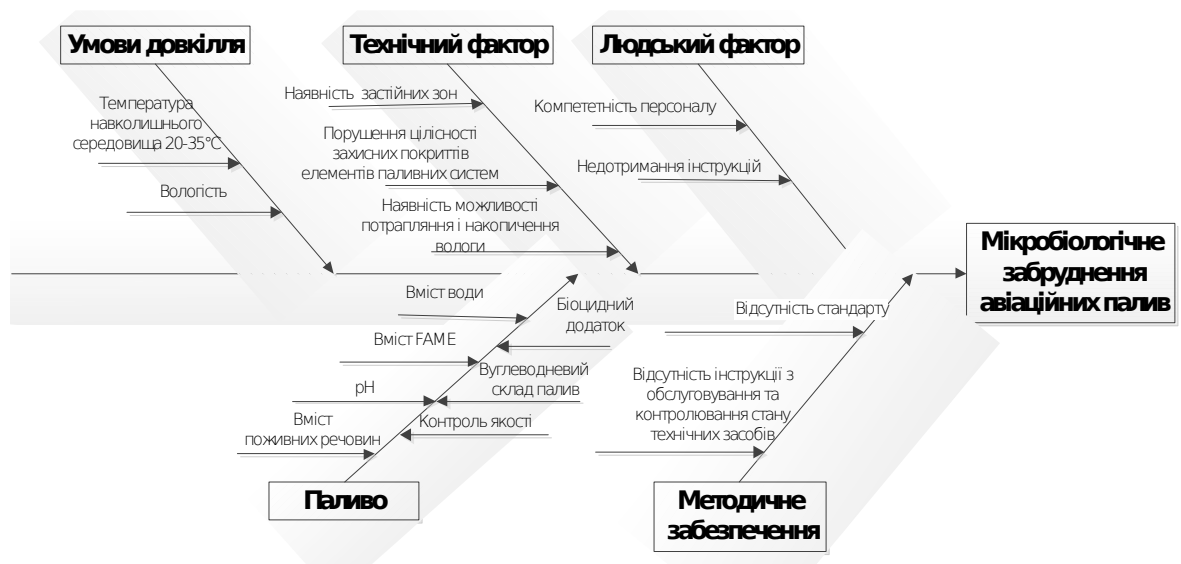


Рис.3.1. Діаграма Іскави щодо оцінки ризику виникнення мікробіологічного забруднення.



Рис. 3.2. Взаємозвязок впливу та наслідків мікробіологічного ураження палив

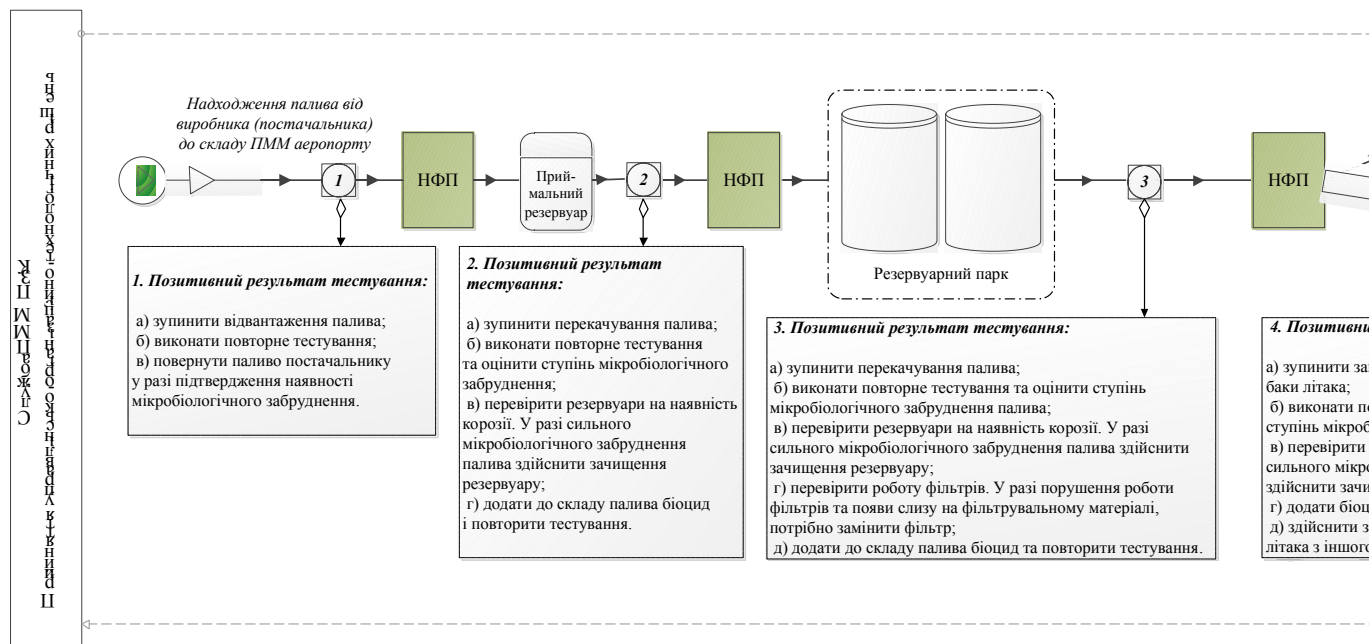


Рис. 3.3. Феноменологічна чотириступенева модель моніторингу мікробіологічного забруднення авіаційного палива:



– місце відбирання зразка для оперативного тесту на наявність мікробіологічного ураження;

НФП – насосно-фільтраційний пункт; ЦЗЛ – централізоване заправлення літака

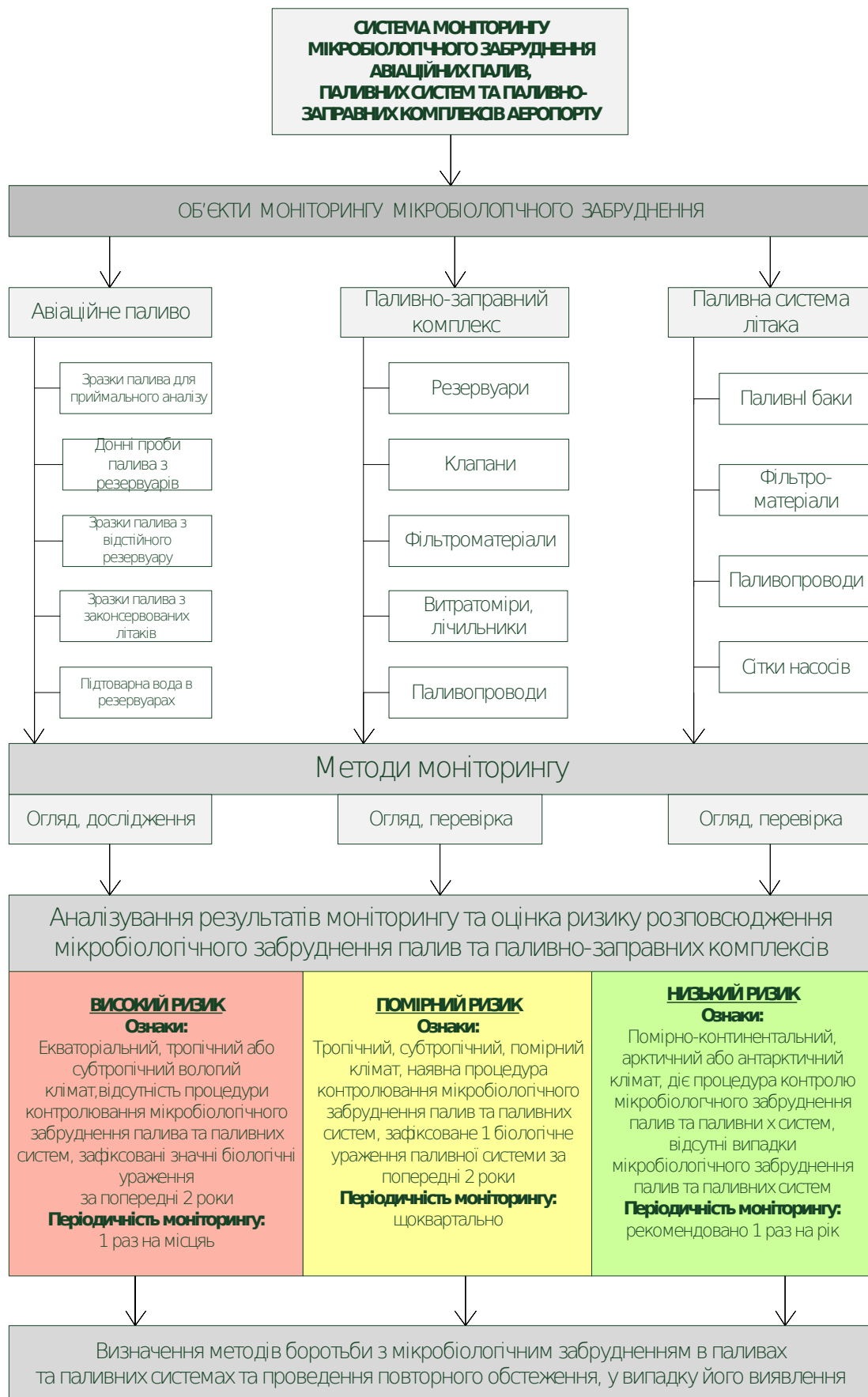


Рис. 3.4. Система моніторингу мікробіологічного забруднення палив та паливних систем

ВИСНОВКИ

Вирішено важливе науково-прикладне завдання, що характеризується науковою новизною, практичним значенням і пов'язане з розвитком наукових основ хімотології, удосконаленням технологій збереження та забезпечення відповідності фізико-хімічних показників встановленому рівню якості моторних палив, а також хімотологічної надійності авіаційної техніки за біологічною стабільністю:

1. Запропоновано та обґрунтовано науково-методичний підхід до визначення мікробіологічного ураження авіаційного палива, що полягає у застосуванні комплексного аксіоматично-феноменологічного опису процесу біодеструкції з позиції формальної кінетики відомих фізико-хімічних і біологічних процесів. Встановлено причини, джерела, умови виникнення та поширення мікробіологічного забруднення авіаційних палив. Визначальними чинниками розвитку мікробіологічного ураження в авіаційних паливах є наявність вологи та температура ($\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$). Показано, що *Hormoconis resinae* зберігає життєздатність за температури $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом трьох діб. А його активність зростання в паливі не змінюється при короткочасних коливаннях температури від мінус $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до плюс $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Показано, що вміст мікроорганізмів до 10^4 клітин/м³ палива вважається безпечним та не становить ризику для безпеки польотів.

2. Визначено видовий склад мікроорганізмів-деструкторів, що здатні засвоювати вуглеводні авіаційного палива. Це гриби, бактерії та дріжджі. Найпоширенішими є гриби, що за здатністю до зростання в паливі були розподілені на три групи: 1 – активні деструктори (наприклад, *Hormoconis resinae*); 2 – потенційні деструктори (наприклад, *Aspergillus ustus*); 3 – частково адаптовані до середовища та випадкові мікроміцети.

3. Встановлено основні закономірності та механізм біодеструкції авіаційних палив. Встановлено, що механізм біодеструкції вуглеводнів авіаційних палив залежить від адаптивних ферментів мікроорганізмів, тому

вони мають до різних вуглеводнів властивість вибіркового відношення, що визначається не тільки структурою вуглеводню, а й кількістю вуглеводневих атомів в його структурі, і різними напрямками метаболізму. Найбільший рівень біодеструкції виявлено на *Hormoconis resiniae* у алканових вуглеводнів з більш довгим вуглецевим ланцюгом.

4. Розвинуто уявлення про мікробіологічне ураження авіаційних палив як про процес, що складається з трьох послідовних взаємозалежних етапів: *взаємодії (адгезії) мікроорганізмів з паливами – розвиток мікроорганізмів у середовищі вуглеводнів палива – зміна властивостей палива*. Доведено незворотну зміну показників якості авіаційних палив унаслідок мікробіологічного ураження. Інструментальними фізико-хімічними дослідженнями визначено зміну кислотності (збільшення у 1,5–70,0 разів), корозійної активності, вмісту фактичних смол (збільшення у 2,6–4,2 рази), термоокиснювальної стабільності (зменшення у 1,3–3,5 разів), теплоти згорання (зменшення на 1–5 %), температури початку кристалізації (збільшення на 2–15 %), кінематичної в'язкості (підвищення на 2–4 %) сучасних авіаційних палив під впливо мікробіологічного забруднення.

5. Дістало подальшого розвитку теоретичне уявлення щодо мікробіологічної стабільності моторних палив. Ураховуючи різну деструктивну активність культур мікроорганізмів і вуглеводневий склад, досліджені палива за мікробіологічною стабільністю проранжовано (у порядку зростання) у такий ряд: *автомобільний бензин – паливо для реактивних двигунів – дизельне паливо – авіаційний бензин*. Вищий рівень стійкості до ураження у авіаційного бензину пояснюється наявністю у його складі ТЕС, що чинить токсичний вплив на живі організми.

6. Уперше виявлено, що наявність біокомпонентів (етиліві естери жирних кислот) пришвидшує розвиток мікробіологічної фази у складі авіаційних палив через доступність естерів для мікроорганізмів і слабкі

хімічні зв'язки в молекулах біокомпонентів, що сприяє активному розмноженню мікроорганізмів. Реформульовані реактивні палива (сумішеві, що містять FAME), більш чутливі до мікробіологічного ураження через їх підвищену гігроскопічність та вміст етилових/метилових естерів жирних кислот. Легкість окиснення та здатність до біодеструкції цього палива обґрунтовує обов'язкове використання біоцидів для сумішевих палив.

7. Запропоновано та експериментально обґрунтовано можливість використання біохімічних колориметричних реакцій для визначення наявності мікроорганізмів в авіаційних паливах. Розроблену на базі реакції Руемана методику мікробіологічного забруднення перевірено та підтверджено її дієвість та надійність за допомогою відомого методу тестування MicrobMonitor2. Рівень валідації методики за внутрішньолабораторною відтворюваністю становить 98 %;

8. Систематизовано чинники, що сприяють виникненню та розвитку мікро-біологічного забруднення в паливних системах літальних апаратів. Оцінено ефективність біоцидних додатків як одного з економічних і дієвих способів забезпечення необхідного рівня біологічної стабільності авіаційних палив. Найефективнішими виявились біоциди товарних марок формацид-13, Kathon FP 1,5, Grotan OX, Biobor, Akticide OX, Akticide MV14 з максимальною ефективною концентрацією 0,1 %.

9. Розроблено модель та систему моніторингу мікробіологічного забруднення авіаційних палив для прогнозування та управління ризиками та попередження ураження мікроорганізмами палива паливно-заправних комплексів і паливних систем транспортних засобів.

Дисертація визначає перспективні напрями удосконалення технології забезпе-чення якості авіаційних палив, відповідно хімотологічної надійності техніки через обґрунтування способів запобігання мікробіологічному ураженню.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Söhngen N. L. Über Bakterien, welche Methan als Kohlenstoffnahrung Energiequelle gebrauchen. Zentr. Bakt. Parasitenk., Abt. II, 15. 1906. P: 513-517.
2. Kaserer H. Über die Oxydation des Wasserstoffes und des Methans durch Mikroorganismen. Zentr. Bakt. Parasitenk., Abt II, 15. 1906. P: 573- 576.
3. Söhngen N. L. Benzin, Petroleum Paraffinol und Paraffin als Kohlenstoff und Energiequelle für Mikroben. Zentr. Bakt. Parasitenk., Abt. II, 37. 1913. P: 595-609.
4. Tausz, J., Peter, M. Neue Methode der Kohlenwasserstoffanalyse mit Hilfe von Bakterien. Zentr. Bakt. Parasitenk. Abt. II, 49. 1919. P: 497- 554.
5. L. D. Bushnell and H. F. Haas. The Utilization of Certain Hydrocarbons by Microorganisms J Bacteriol. 1941 May; 41(5): 653–673
6. Бирштейн Е. Нафтова мікробіологія. Пер. з англ. під ред. М. Ф. Двалі // Гостоптехиздат, 1957, 314 с
7. P. Edmonds, J. Coony. Identification of Microorganisms Isolated from Jet Fuel Systems / Applied Microbiology, Vol.15, № 2, 1967. P. 411-416
8. Патица В. П., Омелянець Т. Г., Гриник І. В. Екологія мікроорганізмів: посібник. – К.: Основа, 2007. – 192 с.
9. Finefrock, V. H. and London, S. A. Microbial Contamination of USAF JP-4 Fuels, Technical Report AFAPL-TR-66-91 Aerospace Medical Research Laboratories. 1966.
10. Крейн, С. Э., Бессмертный, К. И., Нетте, И. Т., Гречушкина, Н. Н. / Изменение некоторых свойств нефтяных топлив под действием микроорганизмов // Прикладная биохимия и микробиология. Т. 2, 1969. С.: 235–237.
11. Park, P. B., 1975. Biodeterioration in aircraft fuel systems. In: D. W. Lovelock and R. J. Gilbert, (eds.), Microbial Aspects of the Deterioration of Materials, The Society for Applied Bacteriology Technical Series 9. London, Academic Press, pp. 105–126.

12. Genner, C. and Hill, E. C., 1981. Fuels and oils. In: A. H. Rose, (ed.), *Economic Microbiology*, Vol. 6, *Microbial Biodeterioration*, London, Academic Press, pp. 260–306

13. Козлова І.П., Радченко О.С., Степура Л.Г., Кондратюк Т.О. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти: навч. Посібник. – К.: Наук. думка, 2008. – 528 с.

14. Neihof, R. and May, M., 1983. Microbial and particulate contamination in fuel tanks on naval ships. *International Biodeterioration Bulletin* 19(2), 59–68.

15. Harold W., Graef . An analysis of microbial contamination in military aviation fuel systems /Technical report № AFIT/GEE/ENV/03-10 / Department of the air force Air university Air force institute of technology // Air Force Base W. 2003. P. 221.

16. Бойченко С. В., Шкільнюк І. О., Новак А. О. Систематизація видового складу мікробіологічної фази у складі авіаційних палив / Наукоємні технології. – 2014. – Том 21. № 1. 2014. – С. 5–9.

17. Скрибачилин В.Б., Лаптева Е.А., Михайлова Л.К. О биоповреждении топлив / *Химия и технология топлив и масел*. 1983. № 12. С. 29-30.

18. Шкільнюк І. О., Бойченко С. В., Терещенко В. А. Дослідження корозійної активності авіаційного палива з мікробіологічним забрудненням / “Systems and means of motor transport”, № 6 Seria: Transport (Poland). 2015. P. 269–274

19. Литвиненко С.Н. Защита нефтепродуктов от действия микроорганизмов.– М.: Химия, 1977. – 139 с.

20. Тимергазина И. Ф., Переходова Л. С. К проблеме биологического окисления нефти и нефтепродуктов углеводородокисляющими микроорганизмами / *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. – 2012. – № 1. – С. 2–17.

21. Егоров Н. С., Вишнякова Т. П., Гречушкина Н. Н., Власова И. Д., Мыльникова С. И., Азова Л. Г. Поражаемость микроорганизмами нефтяных дистиллятных топлив и их защита / *Биологические повреждения*

строительных и промышленных материалов. – К.: Наукова думка. –1978. – С. 136-146

22. Квасников Е. И., Ключникова Т. М. Микроорганизмы - деструкторы нефти в водных бассейнах. Киев: Наук. думка, 1981. - 131 с.

23. Загальна мікробіологія та вірусологія: навч. Посібник / Ястремська Л. С., Малиновська І. М. – К.: НАУ. 2017 – 232 с.

24. Пирог Т. П. Загальна мікробіологія: підручник.– К.: НУХТ. 2004. – 471 с.

25. Shkilniuk I., Boichenko S. Methodically organizational principles of biological stability providing of aviation fuel / Transactions of the Institute of aviation of Warsaw. – 2014. – № 4 (237). – P. 76–83

26. Biological risks of aviation fuel supply / I. Shkilniuk, S. Boichenko // Transport 2019. Systems and means of motor transport. Monografia № 19. – Rzeszow (Poland), 2019.– P. 67–74.

27. Iryna Shkilniuk, Sergii Boichenko, Tetiana Kondratiuk, Nataliia Shevchuk Identification and Assessment of Biological Risk of Aviation Fuel Supply / Selected aspects of providing the chemotological reliability of the engineering: Monograph – S. Boichenko, O. Aksionov, P. Topilnitskyi, Andrii Pushak, K. Lejda. – К.: Center of Educational Literature. – 2019. – P. 197–214.

28. Shkilniuk Iryna. Investigation of the microbiological stability of traditional and alternative aviation fuels / Int. J. Sustainable Aviation, Vol. 2. – № 2, 2016. – P.: 111–118.

29. Шкільнюк І. О., Бойченко С. В., Кондратюк Т. О., Новак А. О. Видовий склад мікробіологічної фази у паливах для повітряно-реактивних двигунів / XI Міжнародна науково-технічна конференція «Авіа-2013» 21-23 травня 2013, Київ. – С. 31.107–31.110

30. Scott J.A., Forsyth T.J. Thermophilic microorganisms in aircraft fuel // Int. Biodeteriorat. Bull. Vol. 12. N 1. 1976. – P.: 1-4/

31. Коваль Э.З., Сидоренко Л.П. Микродеструкторы нефтепродуктов / Микродеструкторы промышленных материалов. – К: Наук. думка, 1989 – С. 142–171.
32. Prince, R.C., Parkerton, T.F., Lee, C. The primary aerobic biodegradation of gasoline hydrocarbons. *Environmental Science and Technology* 41 (9), 2007. P.: 3316-3321
33. Gaylarde, C. C., Bento, F. M. and Kelley, J., 1999. Microbial contamination of stored hydrocarbon fuels and its control. *Revista de Microbiologia* 30, 1–10.
34. Bartha, R., Atlas, R.M., 1987. Transport and transformations of petroleum: Biological processes. In: Boesch, D.F., Rabalais, N.N. (Eds.), *Long-Term Environment Effects Offshore Oil Gas Development*. Elsevier Applied Science, London, pp. 287-341.
35. Gordon C. B. Mechanism of microbiological contamination of jet fuel and development of techniques for detection of microbiological contamination / Technical report APL-TDR-64-70, Part 33. 1966. – 198
36. Васильева А. А., Чекунова Л. Н., Полякова А. В. Влияние температуры на рост и жизнеспособность *Hormoconis resinae*, *Phialophora sp.*, развивающихся в авиационном топливе / Микология и фитопатология. Т.43, вып. 4. – 2009.
37. Матвеева Е. Л., Васильченко О. А., Демянко О. А. Мікробіологічне ураження авіаційних палив / Система озброєння і військова техніка. № 2(26). – 2011. – С.: 152-156.
38. Robbins J.A. Levy R. A review of the microbiological degradation of fuel / *Directory of Microbicides for the Protection of Materials*. Kluwer Academic publishers. 2004. – P.: 177-202
39. Кондратюк Т.А., Харкевич Е.С., Захарченкова В.А. и др. Биоповреждение авиационного топлива ТС-1 микроскопическими грибами // Микология и фитопатология. 2007. Т. 41. №5. С. 442–448.

40. McVea G.G., Solly R.K. Control of fuel microorganisms with magnetic devices: laboratory investigation with *Hormoconis resinae* // Aircraft Materials Technical Memorandum. 1991. No. 408. P. 1–11.

41. Rafin C., Veignie E. *Hormoconis resinae*, the kerosene fungus: Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology. Springer International Publishing AG, 2018. P. 16–21.

42. Кривушина А. А. Микромицеты в авиационном топливе / Автореферат. 2012.

43. Кондратюк Т. О., Мирошник О. В. Особливості розвитку мікроскопічних міцеліальних грибів в авіаційному паливі / матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2013», 21-23 червня 2013. К.: НАУ. С.: 31.115 -31.119.

44. Кривушина А.А., Чекунова Л.Н., Мокеева В.Л. Морфологические особенности штаммов «керосинового» гриба *Hormoconis resinae* при росте в авиационном топливе и на питательных средах // Микология и фитопатология. 2019. №1. С. 26–32.

45. Кривушина А. А., Чекунова Л. Н., Мокеева В. Л. Морфологические особенности штаммов *Amorphotheca resinae* при росте в авиационном топливе и на питательных средах / Микология и фитопатология. том 53, № 1. – 2019.-С. 26–35.

46. A. A. Vasilyeva, L. N. Chekunova, E. N. Bilanenko, A. V. Kachalkina, A. V. Polyakova. Characterization of the Strain *Monascus floridanus* P. F. Cannon & E. L. Barnard, Isolated from Aviation Fuel /Mikrobiologiya, 2012, Vol. 81, No. 2, pp. 266–272.

47. А. А. Васильева, Л. Н. Чекунова, Е. Н. Биланенко, А. В. Качалкин, А. В. Полякова. Особенности вида *Monascus floridanus* p. f. cannon & e. l. barnard, выделенного из авиационного топлива / Микробиология, 2012, том 81, № 2, с. 266-272.

48. Passman F. J. Microbial contamination and its control in fuels and fuel system / International Biodeterioration and Biodegradation, 81. - 2013. – P.: 88-104.

49. Кулик Н. С., Аксенов А. Ф., Яновский Л. С., Бойченко С. В., Запорожец А. И. Авиационная химмотология: топлива для авиационных двигателей. Теоретические основы и инженерные применения: учебник. – К.: НАУ, 2015. – 560 с.
50. Hill E. C. and Thomas, A. R., 1975. Microbiological aspects of supersonic aircraft fuel. In: Proceedings of the 3rd International Biodegradation Symposium. pp. 157–174.
51. Behbahany-Pour MJ, Radice G. Fuel contamination on the large transport airplanes / Journal of Aeronautics and Aerospace Engineering. Vol. 6(4). 2017.
52. Boychenko S., Shkilnuk I., Turchak V. The problems of biopollution with jet fuels and the way of achieving solution / Transport. – 2008. – № 23 (3). – P. 253–53. Brock, T. D., Smith, D. W. and Madigan, M. T., 1984. Biology of Microorganisms, 4th Edition. Englewood Cliffs: (Prentice-Hall).
54. Дослідження механізму біодеструкції авіаційних палив / Безпальчук О. В., Шкільнюк І. О., Бойченко С. В. // Наукоємні технології. – 2013. – №1(17). – С. 44–49.
55. ASTM D 6469 Standard Guide for Microbial Contamination in Fuels and Fuel Systems
56. Билай В. И., Коваль Э. З. Рост грибов на углеводородах нефти. Киев.: Наук. Думка, 1980. – 340 с.
57. Hill, E. C. and Hill, G. C., 2000. Detection and remediation of microbial spoilage and corrosion in aviation kerosene - from refinery to wing. In: LASH 2000, the 7th International Conference on Stability and Handling of Liquid Fuels. pp. 1–25.
58. Мехтиева Н. А., Кандинская Л. И. Распространение микромицетов в топливных системах самолетов / Биологические повреждения строительных и промышленных материалов. – Киев: Наукова Думка. – 1978. – 263 с.
59. Літвінов О., Ластовець А., Ерьоменко С., Лопатенко С., Новікова В. Дослідження та розробка методів оцінки біоушкодження палив / Звіт про

науково-дослідну роботу (№ держ. реєстрації 0196V006685) КМУЦА, 1996. – 61 с.

60. М.Б. Галкін, В.О. Іваниця, Б.М. Галкін, Т.О. Філіпова. Матрикс біоплівки – хімічний склад, структура, властивості / Мікробіологія і біотехнологія. 2016. № 4. – С.: 6-27

61. А. Н. Ножевникова, Е. А. Бочкова, В. К. Плакунов / Мультивидовые биопленки в экологии, медицине и биотехнологии /Микробиология, том 84, № 6. - 2015, С.: 623-644

62. ДСТУ ГОСТ 17216:2004 Чистота промислова, класи чистоти рідин. — К. : Держстандарт України, 2004. — 16 с.

63. Ron E., Rosenberg E. Natural roles of biosurfactants / Environ. Microbiol., 2001, vol. 3, №. 4. – pp. 229-236.

64. Шкільнюк І. О., Фесак Т. А. Проблеми чистоти та мікробіологічного забруднення у сфері авіапаливозабезпечення / Проблеми хімотології. Теорія та практика раціонального використання традиційних та альтернативних паливно-мастильних матеріалів: IV Міжнародна науково-технічна конференція, 6-10 жовтня 2014 р.: тези доп., Рибаче, 2014. – С. 94–96.

65. Гончарова Е. А. Шевченко М. Є., Кулабухова В. Г., Запорожець А. И., Головенко В. О. Дослідження мікробіологічного ураження реактивного палива / Вопросы химии и химической технологии. - 2013. - № 3. - С. 106-108.

66. Крейн С. Э., Бессмертный К. И., Нетте И. Т., Гречушкина Н. Н. Влияние гриба *Cladosporium resinae* на некоторые свойства нефтяных топлив / Прикладная биохимия и микробиология, том 9, № 1. – Изд.: «Наука». 1973.- С.: 143-145.

67. L. Cofone, Ju N., J. D. Walker, J. J. Cooney. Utilization of Hydrocarbons by *Cladosporium resinae* / Journal of General Microbiology, 76. 1973. – P.: 243-246.

68. R. L. Raymond, V. W. Jamison, J. O. Hudson. Microbial Hydrocarbon Co-oxidation / APPLIED MICROBIOLOGY. 1967. Vol. 15. №. 4.- P.: 857-865.

69. Nilanjana Das, Preethy Chandran. Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants: an overview / Biotechnology Research International . Volume 2011.

70. Скрибачилин В. Б., Михайлова Л. К., Качанов Ю. С., Буряковская Т. В. Влияние микробиологического засорения топлив на работу топливных фильтров / Химия и технология топлив и масел. 1993. № 6. С. 12-13.

71. Jerrod P. MacComb, Captain, USAF. A metagenomic analysis of microbial contamination in aviation fuels / Department of the air force of Air university / Technical report AFIT/GEM/ENV/09-M11. – 2009. – 119.

72. Wojciech Dziegielewski, Jarosław Sarnecki. Discussion on microbial contamination of naval fuels/ POLISH MARITIME RESEARCH, № 3(61) 2009, Vol 16.

73. Dong Hu, Jie Zeng, Shangshu Wu, Xi Li, Chengsong Ye, Wenfang Lin, Xin Yu. A survey of microbial contamination in aviation fuel from aircraft fuel tanks / Folia Microbiol 372 (2020). P.: 372-380.

74. B.J.little, R.I. Ray. An overview of microbologically influenced corrosion in aircraft / Naval Research Laboratory, 1997, Report NRL/PP/7303/02/0008, DTIC – P.: 8.

75. Семенов С. А., Гумаргалиева К. З., Заиков Г .Е. Характеристики процессов и особенности повреждения материалов техники микроорганизмами в условиях эксплуатации /«Вестник МИТХТ», 2008. т. 3, № 2. – С.: 3-23.

76. Microbiologic contamination and corrosion of aircraft integral fuel tanks: Evaluation and risk control / Materials performance. 2003. - P.:62-65.

77. R.N. Miller, N.C. Herron, et al., “Microorganisms Cause Corrosion in Aircraft Fuel Tanks,” MP 3, 9 (1964): pp. 60-67.

78. D.G. Parbery, “Biological Problems in Jet Aviation Fuel and the Biology of *Amorphoteca Resinae*,” Materials und Organismen 6, 3 (1971): p. 161.

79. ГСТУ 320.00149943.007-97 «Паливо для реактивних двигунів марки «РТ». Технічні умови»

80. ГСТУ 320.00149943.011-99 «Паливо ТС-1 для реактивних двигунів. Технічні умови»
81. ДСТУ 4796-2007 «Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів Джет А-1. Технічні умови»
82. ГОСТ 1012-72 «Бензини авіаційні. Технічні вимоги»
83. Def Stan 91-91 Turbine fuel, Kerosene type, Jet A-1
84. ASTM D1655 Standard Specification for Aviation Turbine Fuels
85. ASTM D 7566 Standard Specification for Aviation Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons
86. Doc ICAO 9977 AN489 «Керівництво щодо постачання авіаційного палива у цивільній авіації»
87. JIG 1 — Aviation Fuel Quality Control and Operating Standards for In-Plane Fuelling Services
88. JIG 2 — Aviation Fuel Quality Control and Operating Standards for Airport Depots
89. JIG 3 — Aviation Fuel Quality Control and Operating Standards for Supply & Distribution Facilities
90. JIG 4 — Aviation Fuel Quality Control and Operating Standards for Smaller Airports
91. ГОСТ 9.023 Единая система защиты от коррозии и старения. Топлива нефтяные. Метод лабораторных испытаний биостойкости топлив, защищенных противомикробными присадками. Издательство стандартов, 1974 – 8 с.
92. Коваленко В. П., Турчанинов В. Е. Предотвращение загрязнения нефтепродуктов микроорганизмами за рубежом / Транспортировка и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 1984. – № 4. – С. 27–28.
93. Егоров Н.С., Вишнякова Т.П., Гречушкина Н.Н. Поражаемость нефтяных дистиллятных топлив микроорганизмами и их защита / Биологические повреждения строительных и промышленных материалов. – К.: Наукова думка. –1978. – С. 136-146.

94. Кучма Н.М. Підвищення біологічної стабільності палив для реактивних двигунів / Наука і молодь. Прикладна серія. – К.: НАУ, 2004. – Вип. 4. – С. 179–182.

95. Данилов А. М. Классификация присадок к топливам / Нефтепереработка и нефтехимия. – 1997. – № 6. – С. 11–14.

96. Пат. 63325 Україна, А7 А01N29/08, 31/14, 33/00. Біоцид для захисту нафтопродуктів та обладнання нафтопереробних підприємств/ Новіков В.П., Любенець В.І., Баранович Д.Б.; заявник і патентовласник Нац. унів. «Львівська політехніка». - №2003042917; заявл. 03.04.03; опубл. 15.01.04, Бюл. №1. – 4 с.

97. Пат. 77586 Україна, МПК А01N 31/14, А01N 33/06, А01N 33/08. Застосування s-етил-4-амінобензентіосульфону як біоциду для захисту нафтопродуктів, матеріалів та обладнання / Швед О.В., Любенець В.І., Баранович Д.Б., Новіков В.П., Япіш М.Є.; заявник і патентовласник Нац. унів. «Львівська політехніка». - №а200504194; заявл. 04.05.05; опубл. 15.12.06, Бюл. №12. – 6 с.

98. Испытание антимикробного действия некоторых присадок при хранении топлив / Паушкин Я. М., Работнова И. Л., Долидзе С. С. и др. // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 1969. - №10. – С. 10-11.

99. Хаустов А. П. Трансформации нефтяных загрязнений геологической среды под влиянием живого вещества / А. П. Хаустов, М. М. Редина // Нефть. Газ. Новации. – 2013. – № 10 (177). – С. 25-33.

100. Марінцова Н. Г., Журахівська Л. Р., Губицька І. І., Болібрух Л. Д., Курка М. С., Новіков В. П. / Біологічна хімія: підручник. – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2009. – 324 с.

101. Biodegradation of crude oil and n-alkanes by fungi isolated from Oman / A. Elshafie // Marine Pollution Bulletin, 54,11. 2007. P.1692-1696

102. Брянская А. В. [и др.] Теоретические и практические аспекты проблемы биологического окисления углеводов микроорганизмами /

Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т. 18, №4 (2). – С. 999–1011.

103. Ralf Rabus [et all]. Anaerobic Microbial Degradation of Hydrocarbons: From Enzymatic Reactions to the Environment / Microbiol Biotechnol 2016;26:5–28. P.: 5-28.

104. K. E. Peters, Kenneth Eric Peters, C. C. Walters, J. M. Moldowan. The Biomarker Guide, 2.

105. Н. С. Верхоляк, Т. Б. Перетятко. Використання ароматичних сполук бактеріями. Аеробна й анаеробна деструкція / Біологічні студії, 2018: 12(2); 135–156.

106. Khomenkov V.G., Shevelev A.B., Zhukov V.G., Zagustina N.A., Bezborodov A.M., Popov V.O. Organization of metabolic pathways and molecular-genetic mechanisms of xenobiotic degradation in microorganisms. Applied Biochemistry and Microbiology, 2008; 44(2): 133–152.

107. Gibson J., Harwood C. S. Metabolic diversity in aromatic compound utilization by anaerobic microbes. Annu. Rev. Microbiol, 2002; 56: 345–369.

108. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Int. J. of Syst. Bact.; July 1985, p. 408.

109. ДСТУ 2636-94 ЗАГАЛЬНА МІКРОБІОЛОГІЯ. Терміни.

110. ASTM D 6729-14 "Standard test method for determination of individual components in spark ignition engine fuels by 100 metre capillary high resolution gas chromatography".

111. UOP 411 «Normal Paraffins by Subtractive Gas Chromatography».

112. Эрих В. Н. Химия нефти и газа: изд. 2 испр. – Издательство «Химия», Ленинградское отделение, 1969. – 281 с.

113. МЕК-1954

114. Бойченко С., Пушак А., Топільницький П., Лейда К. Моторні палива: властивості та якість: підручник. – К.: «Центр учбової літератури», 2017. – 324 с.

115. [Яковлева А. В.](#), Бойченко С. В. Застосування біопалив для повітряно-реактивних двигунів з метою покращення їх екологічних характеристик / [Авиационно-космическая техника и технология](#). - 2012. - № 7. - С. 60–64.

116. Комплекс методів кваліфікаційної оцінки газотурбінних палив, авіаційних олив.

117. Pasqualino, J.C., Montanéa, D., Salvadó, J., 2006. Synergic effects of biodiesel in the biodegradability of fossil-derived fuels. *Biomass and Bioenergy* 30 (10), 874-879.

118. Sørensen, G., Pedersen, D.V., Nørgaard, A.K., Sørensen, K.B., Nygaard, S.D. Microbial growth studies in biodiesel blends / *Bioresource Technology* 102 (8). - 2011. – P.: 5259-5264.

119. Prince, R.C., Parkerton, T.F., Lee, C., The primary aerobic biodegradation of gasoline hydrocarbons / *Environmental Science and Technology* 41 (9), 2007. – P.: 3316-3321.

120. Lutz, G., Chavarria, M., Arias, M.L., Mata-Segreda, J.F. Microbial degradation of palm (*Elaeis guineensis*) / *International Journal of Tropical Biology* 54 (1). - 2006. – P.: 59-63.

121. Mariano, A.P., Tomasele, R.C., Oliveira, L.M., Contieiro, J., Angelis, D.F., Biodegradability of diesel and biodiesel blends / *African Journal of Biotechnology* 7, 2008. – P.: 1323-1328.

122. Патриляк К.І. Біодизельне паливо на основі етанолу та соняшникової олії К.І. Патриляк, Л.К. Патриляк, М.В. Охріменко та ін. // *Катализ и нефтехимия*. – 2012. – № 21. – С. 100-103.

123. ДСТУ ГОСТ 31072:2006 Нафта і нафтопродукти. Метод визначення густини, відносної густини та густини в градусах АРІ ареометром

124. ASTM D4052 Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter

125. ДСТУ ГОСТ 33-2003 Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості

126. ASTM D445 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)
127. ДСТУ ГОСТ 4333:2018 Нафтопродукти. Методи визначення температур спалаху та займання у відкритому тиглі
128. ASTM D3242 Standard Test Method for Acidity in Aviation Turbine Fuel
129. ГОСТ 8489-85 Топливо моторное. Метод определения фактических смол [по Бударову]
130. ДСТУ EN ISO 2160:2012 Нафтопродукти. Метод визначення корозійної дії на мідну пластинку
131. ГОСТ 5066–91 (ИСО 3013–74) Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации (метод Б)
132. ГОСТ 11802-88 Топливо для реактивных двигателей. Метод определения термоокислительной стабильности в статических условиях
133. ГОСТ 21261-91 Нефтепродукты. Метод определения высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания
134. ДСТУ 8737:2017 Паливо для двигунів. Дослідний метод визначення октанового числа
135. Андрієшин М. П., Марчук Я. С., Бойченко с. В. та ін. Газ природний, палива та оливи: монографія. – Одеса «Астопринт», 2010. – 232 с.
136. А. Л. Загайко [та ін.]. Функціональна біохімія : навч. посіб. для студ. вищого фарм. навч. закл. IV рівня акредитації – Х. : НФаУ, 2010. – 219 с.
137. Біологічна та біоорганічна хімія: у 2 кн.: підручник. Кн.2. Біологічна хімія/ Ю.І.Губський, І.В.Ніженковська, М.М.Корда та ін., за ред. Ю.І.Губського, І.В.Ніженковської. – К.: ВСВ «Медицина», 2016. – С.203-230.
138. Murray R., Bender D., Botham K.M., Kennelly P.J., Rodwell V., Weil A. “Harper’s Biochemistry” 29th edition. – McGraw Hill Professional. – 2012. – 818 p.

139. Методика визначення мікробіологічного забруднення авіаційних палив / Бойченко С.В., Шкільнюк І. О., Новак А.О. // Пат. 94190 Україна, заявл. 16.10.2013; опубл. 10.11.2014. – Бюл. № 21. – 2 с.
140. Придатність аналітичних методів для конкретного застосування Настанова для лабораторій з валідації методів та суміжних питань: 2-ге видання / Eurochem. К.: ТОВ «Юрко Любченко». 2016. – 86 с.
141. ЕСНА. MicrobeMonitor2. For detection and Enumeration of contaminating microbes in fuels, lubricants and water / Instruction for use. – 12
142. Полякова А. В., Васильева А. А., Горяшник Ю. С., Линник М. А. Биозащита авиационных материалов / ВИАМ 2009-205393 – 13 с.
143. Якубке Х., Ешкайте Х. Аминокислоты, пептиды, белки. — М.: Мир, 1985.
144. Кольман Я., Рем К.Г. Наглядная биохимия / Пер. с нем. — 3-е изд. — М. : Мир, 2012.
145. Бабенюк Ю. Д., Остапченко Л. І., Скопенко О. В. Біохімія: терміни і номенклатура ферментів. — К.: ВПЦ “Київський університет”, 2005. — 356 с.
146. Губський Ю. І. Біоорганічна хімія. — Вінниця: “Нова книга”, 2004. — 462 с.
147. Кузнецова Е.В. Математическое планирование эксперимента: Учебнометодическое пособие / Е.В. Кузнецова. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2011. –35 с.
148. Хорольский В. Я. Обработка экспериментальных данных: учеб. пособие / В. Я. Хорольский, В. Н. Шемякин, С. В. Аникуев: Ставропольский гос. аграрн. ун-т. – Ставрополь: АГРУС, 2013. – 40 с.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Етапи мікробіологічного пошкодження та методи їх визначення.

Характеристика	Метод аналізу, джерело інформації	Сутність та призначення методу
1	2	3
Адгезійна взаємодія мікроорганізмів з матеріалами		
Наявність клітин (спор) мікроорганізмів на матеріалі	Мікроскопування Світлове (при збільшенні 70, 400 – 600) [24-26] люмінсцентне (при	Фіксація збільшеного зображення зовнішніх ознак клітин мікроорганізмів: мікроскопічних грибів - дрібнодисперсні утворення (Ø1 ... 1.2 мкм) різної форми (кулеподібної, еліпсоїдної, циліндричної, булавовидної); бактерій - найдрібніші рухливі (та нерухомі) частки (Ø до 1 мкм), що мають форму кульок, ланцюжків кульок, нитчатих та змієподібних структур, джгутиків; мікроскопічних грибів та бактерій – зелене світіння забарвлених флуорохромом клітин

Число адгезії	<p>опроміненні УФ-світлом з довжиною хвилі 360 – 365 нм) [26-30]</p> <p>Висів на щільні живильні середовища [31-35]</p> <p>Відрив «великої кількості частинок» (методи нахилу поверхні та відцентрового відриву) [36, 37]</p>	<p>мікроорганізмів..</p> <p>Індикація ознак процесу адгезії</p> <p>Встановлення росту мікробних клітин, які містяться в пробі при їх контакті з живильним середовищем.</p> <p>Індикація адгезії життєздатних мікробних клітин, ідентифікація мікроорганізмів-деструкторів</p> <p>Визначення (мікроскопуванням, мікрофотографуванням, висівом на живильні середовища) на матеріалі кількості мікробних клітин до та після впливу заданої за величиною сили відриву.</p> <p>Кількісна оцінка сили адгезії спор мікроскопічних грибів та бактерій до твердих матеріалів.</p>
Процес росту мікроорганізмів на матеріалах		
Наявність та кількість біомаси	<p>Візуальний [38 - 40]</p> <p>Мікроскопування:</p> <p>Світлове (при збільшенні 70, 400 – 600)</p>	<p>Встановлення видимих неозброєним оком ознак біомаси мікроскопічних грибів та бактерій: на твердих матеріалах - наліт у вигляді тонкої плівки (відкладення), повстяного сітчасто-переплетеного зростання, слиз різного кольору; в рідинах - драглистоподібна слизова маса, забруднення, плівки на межі поділу фаз рідин.</p> <p>Індикація зростання мікроорганізмів.</p> <p>Фіксація збільшеного зображення зовнішніх ознак біомаси:</p> <p>переплетення тонких розгалужених у вигляді сітки ниток (міцеліальні гіфи Ø 5 ... 10 мкм), спори грибів, бактеріальні клітини;</p>

	<p>Люмінісцентне - (при опроміненні УФ-світлом з довжиною хвилі 360 - 365 нм)</p> <p>Висів на щільні живильні середовища</p>	<p>зелене свічення забарвлених флуорохромом міцеліальних гіф, мікробних клітин.</p> <p>Індикація зростання мікроорганізмів</p> <p>Фіксація росту колоній мікроорганізмів на живильному середовищі.</p> <p>Індикація життєздатної біомаси, ідентифікація мікроорганізмів-деструкторів</p>
<p>Наявність та кількість біомаси</p>	<p>Гравіметричний</p> <p>Радіометричний</p> <p>Біохімічний</p>	<p>Визначення зважуванням висушеної маси мікроорганізмів.</p> <p>Визначення кількості сухої питокої біомаси мікроорганізмів.</p> <p>Вимірювання інтенсивності β-випромінювання радіоактивного ізотопу (індикатора), що накопичується в біомасі мікроорганізмів, культивованих на матеріалі в контакті з цим індикатором. Індикатором служать тритієва вода (полімерні матеріали), мічений тритієм по кінцевий групі n-октадекан (паливо).</p> <p>Інтенсивність β-випромінювання пропорційна величині біомаси.</p> <p>Індикація та визначення кількості біомаси на поверхні або в об'ємі матеріалу.</p> <p>Фіксація (візуальна або інструментальна) колориметричних ефектів, отримуваних залученням білка, що міститься в пробі, в хімічні реакції, що забарвлюють реакційний розчин в різні кольори:</p>
<p>Присутність та кількість білка та білкових з'єднань</p>	<p>Реакція з нінгідрином</p> <p>Реакція з</p>	<p>синій - в результаті взаємодії нінгідрин з аміногрупами білка та амінокислот;</p> <p>червоно-коричневий - в результаті</p>

	<p>тріфенілтетразо-лієм хлористим</p> <p>Реакція з барвником Кумасі Ж-250</p> <p>Реакція з утворенням берлінської лазурі</p> <p>Метод Лоурі</p> <p>Інфрачервона спектrophотометрія</p>	<p>окислювально-відновлювальної взаємодії формальдегіду та 2,3,5-тріфенілтетразолію хлориду в лужному середовищі при каталізуючій дії білка;</p> <p>синій - в результаті утворення комплексу барвник-білок в кислому розчині;</p> <p>яскраво-блакитний - в результаті осадження білка жовтою кров'яною сіллю з подальшою взаємодією утвореного з'єднання з тривалентним залізом;</p> <p>блакитний - в результаті взаємодії білків із складним реактивом (реагент Фоліна), що містить іони молібдену, вольфраму, фосфорну кислоту.</p> <p>Інтенсивність забарвлення пропорційна концентрації білка та визначається по оптичній щільності реакційного розчину при довжині хвилі 750нм.</p> <p>Індикація росту мікробів, визначення концентрації білка в пробі (метод Лоурі).</p> <p>Можливий розрахунок величини біомаси відповідаючої встановленій концентрації білка.</p> <p>Отримання ІК-спектру проби з характерними для функціональних груп білкових з'єднань смугами поглинання: 1660 см⁻¹ (група C = O в амідах) та 1550 см⁻¹ (груп N-C і N-C в амідах).</p> <p>Індикація росту мікробів.</p>
<p>Присутність та кількість білка та білкових з'єднань</p>	<p>Спектрофлуоресцентний</p>	<p>Отримання спектра флуоресценції проби з характерною для ароматичних амінокислот смугою флуоресценції в діапазоні довжин хвиль від 340 до 360 нм при збудженні ультрафіолетовими променями з довжиною хвилі 320 нм.</p>

<p>Присутність піридоксину (вітамін В₆)</p>	<p>Тонкошарова хроматографія</p> <p>Спектрофлуоресцентний</p>	<p>Індикація росту мікробів.</p> <p>Отримання хроматограм проби з характерним для амінокислот розташуванням (фронту підйому) плям рожевого (червоного) кольору (при обробці нінгідрином).</p> <p>Індикація росту мікробів.</p> <p>Отримання спектра флуоресценції проби з характерним для піридоксину максимумом в діапазоні довжин хвиль 385 ... 420 нм при збудженні ультрафіолетовим світлом з довжиною хвилі 320 нм.</p>
<p>Присутність карбонових кислот</p>	<p>Спектрофлуоресцентний</p>	<p>Індикація росту мікробів.</p> <p>Фіксація (візуальна) яскраво-блакитної, синьо-зеленої, жовто-зеленої флуоресценції сполук, які утворюються в результаті сплаву (нагрівання) ди- і три-карбонових кислот, які містяться в пробі, з резорцином та концентрованою сірчаною кислотою.</p> <p>Збудження УФ-опроміненням з довжиною хвилі до 360 нм.</p> <p>Індикація росту мікроорганізмів-деструкторів.</p>
<p>Наявність та кількість аденозинтрифосфату (аденозин-5 трифосфорної кислоти динатрієва сіль, АТФ)</p>	<p>Тонкошарова хроматографія</p> <p>Хемолюмінесцентний</p>	<p>Індикація росту мікробів.</p> <p>Отримання хроматограм проби з характерним для карбонових кислот розташуванням (фронтом підйому) плям жовтого кольору (при обробці бромкрезоловим зеленим).</p> <p>Індикація росту мікроорганізмів-деструкторів.</p> <p>Вимірювання інтенсивності світіння з довжиною хвилі 560 нм, що утворюється в результаті залучення присутнього в пробі АТФ в ферментативну реакцію розкладання субстрату (люциферина) в присутності біокатализатора (люциферази світляків).</p> <p>Інтенсивність світіння пропорційна</p>

<p>Присутність ферментів</p> <p>Оксидази</p> <p>Каталази</p> <p>Фосфатази</p>	<p>Біохімічний</p>	<p>концентрації АТФ.</p> <p>Індикація процесу росту (біомаси що розвивається), кількісне визначення вмісту АТФ в пробі.</p> <p>Можливий розрахунок величини живої біомаси (що розвивається), відповідаючої встановленій концентрації АТФ.</p> <p>Фіксація (візуальна) ефектів біохімічних реакцій, які каталізуються відповідним типом ферментів:</p> <p>синьо-фіолетове забарвлення в результаті утворення формазанів при відновленні оксидазами солей тетразолію;</p> <p>газовиділення (бульбашки) в результаті утворення кисню при розкладанні каталазою перекису водню;</p> <p>фіолетове або пурпурове забарвлення в результаті взаємодії фталата натрію, паранітрофенілфосфата та триосновного фосфата натрію в присутності фосфатази.</p> <p>Індикація росту мікроорганізмів-деструкторів.</p>
<p>Процес зміни властивостей матеріалів під впливом мікроорганізмів</p>		
<p>Показники властивостей матеріалу (фізико-хімічних, механічних та ін.)</p>	<p>Методи визначення показників властивостей відповідно до стандартів та іншої технічної документації</p>	<p>Визначення зміни показника властивостей матеріалу після та (або) в процесі впливу на нього мікроорганізму.</p> <p>Індикація наявності та кількісне визначення процесу впливу мікроорганізмів-деструкторів на властивості матеріалу.</p>

Додаток 2

Види мікроорганізмів, що виявленні в паливі, умови їх розвитку та види вуглеводнів, що споживає даний мікроорганізм

Домени	Клас	Родина	Рід	Представники (вид)	Вид вуглеводню, що споживає	Умови розвитку
1	2	3	4	5	6	7
Бактерії	Actinobacteria	Nocardiaceae	Rhodococcus	Rhodococcus erythropolis	Асимілює н-алкани (C ₁₀ -C ₁₇), ароматичні вуглеводні (бензол, толуол, ксилол, нафталін), активно засвоювали н-алкани C ₁₆ - C ₁₈ C ₂₂ - C ₂₄ і C ₂₆ - C ₃₁ з утворенням проміжних сполук C ₁₁ - C ₁₄	Здатний рости в присутності 5% NaCl; при вихідному рН 5,7 і 8,0; температурі від +10 до +40°C; витримує осмотичний тиск 31,4 атм, нагрівання за 60°C протягом 30 хв і за 72°C протягом 15 хв
	Actinobacteria	Nocardiaceae	Rhodococcus	Rhodococcus sp.	Використовує як джерело енергії вуглеводні авіаційних палив.	Росте в температурному діапазоні від 2 ° С до 32 ° С, оптимальна 25 ° С. Оптимальний рН для зростання 6,0-8,0. Здатний до зростання в присутності 3% NaCl. У додаткових факторах росту мікроорганізм не потребує.
	Magnoliopsida	Gordoniaceae	Gordonieae	Gordonia rubripertincta	н-алкани C ₁₅ - C ₂₃ , а також ароматичні вуглеводні	Стійкі до голодування, високого вмісту солей, впливу ультрафіолету, широкого діапазону кислотності і низьких температур
	Gamma Proteobacteria	Pseudomonadaceae	Pseudomonas	Pseudomonas putida	Не має здатності до денітрифікації з утворенням азоту. Використовує єдине джерело вуглецю глюкозу, глютамат, сукцинат. Використовує як джерело зростання вуглеводні бензоат, саліцилат, нафталін, фенантрен, нафту.	Не має потреби у факторах росту. Не зростає при +41 ° С. Оптимальний рН для зростання 6,0-8,0. Здатний до зростання в присутності 3%.
Гриби	Dothideomycetes	Davidiellaceae демациєвих	Кладоспорій (Cladosporium)	Cladosporium resinae (Hormoconis resinae)	Засвоює вуглець із вуглеводнів. Спостерігається тенденція до росту на вуглеводнях (C ₁₀ -C ₁₇), найбільше значення на гексадекане (C ₁₆ H ₃₄)	Тривалий час залишаються життєздатними, хоча і не розмножуються. Але достатньо наявності тільки однієї частини води на 10000 частин палива, щоб розвиток став можливим. Життєздатність зберігається за температури -57°C, спори залишаються життєздатними за

					температури 60°C не більше як 3 доби і гинуть за 70°C. Найактивніший ріст за температури 28°C.
Eurotiomycetidae	Monasaceae	Monascus	Monascus floridanu	Спостерігається тенденція до росту на вуглеводнях (C ₁₀ -C ₁₇), найбільше значення на гептадекане (C ₁₇ H ₃₆)	Найкраще розвивається за температури від +9°C до +36°C
Eurotiomycetes	Trichocomaceae	Aspergillus	Aspergillus amstelodami	Використовує як джерело енергії вуглеводні авіаційних палив.	Ріст стимулюється світлом, при високому осмотичному тиску. Оптимальна температура для росту і формування колоній від +33 °C до +35 °C.
Eurotiomycetes	Trichocomaceae	Penicillium	Penicillium citrinum	Використовує як джерело енергії вуглеводні авіаційних палив.	Найкраще розвивається за температури від +33°C до +35°C
Saccharomycetes	Saccharomycetales	Candida	Candida guilliermondii	Використовує як джерело енергії вуглеводні авіаційних палив.	Оптимальна температура для розвитку 25-37°C, pH - 5,8 - 6,5

Додаток 3

НОРМАТИВНІ ВИМОГИ щодо характеристик палив для реактивних двигунів марок ТС-1 та РТ (згідно

№ з/п	Найменування показника	Одиниці вимірювання	Значення норм	
			ТС-1	РТ
1	Густина за температури 20 °С,	не менше ніж кг/м ³	775	775
2	Фракційний склад: - температура початку кипіння - 10% переганяється за температури - 50% переганяється за температури - 90% переганяється за температури - 98% переганяється за температури	°С	- не вище ніж 175 не вище ніж 225 не вище ніж 270 не вище ніж 280	Не нижче 135 не вище ніж 175 не вище ніж 225 не вище ніж 270 не вище ніж 280
3	Кінематична в'язкість за температури: - 20 °С - мінус 40 °С	мм ² /с	не менше 1,25 не більше 16	не менше 1,25 не більше 16
4	Нижча теплота згорання	МДж/кг	не менше 43,12	не менше 43,1
5	Температура спалаху у закритому тиглі	°С	не нижче 28	не нижче 30
6	Температура початку кристалізації	°С	не вище мінус 55	не вище мінус 55
7	Кислотність	мг КОН на 100 см ³ палива	не більше 0,7	не більше 0,7
8	Термоокиснювальна стабільність у статичних умовах: - кількість осаду	мг на 100 см ³ палива	не більше 18	не більше 6
9	Концентрація фактичних смол	мг на 100 см ³ палива	не більше 5	не більше 4

10	Корозія мідної пластинки (3 год ± 5 хв) за температури 100 °С	бали	не більше 1	не більше 1
----	---	------	-------------	-------------

Додаток 3

НОРМАТИВНІ ВИМОГИ щодо характеристик палива для реактивних двигунів марки ДЖЕТ А-1 (Jet A-1)

№ з/п	Найменування показника	Одиниці вимірювання	Значення норм
1	Густина за температури 15 °С	кг/м ³	у межах 775–840
2	Фракційний склад: - 10% переганяється за температури - температура кінця кипіння - залишок від дистиляції - втрати при перегонці	°С %	не вище ніж 205 не вище ніж 300 не більше ніж 1,5 не більше ніж 1,5
3	Кінематична в'язкість за температури мінус 20, °С	мм ² /с	не більше ніж 8,0
4	Нижча теплота згорання	МДж/кг	не менше ніж 42,8
5	Висота некіптявого полум'я	мм	не менше ніж 25
6	Температура спалаху у закритому тиглі	°С	не нижче ніж 38
7	Температура початку кристалізації	°С	не вище ніж мінус 40
8	Кислотное число	мг КОН на 1 г	не більше 0,1
10	Концентрація фактичних смол	мг на 100 см ³ палива	не більше ніж 7
13	Випробування на мідній пластинці за температури 100 °С протягом 2 год	-	№ 1

Додаток 4

Київ – 2007

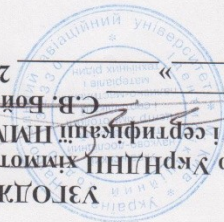
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ
ПАЛІВ ДЛЯ РЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ

ЗАТВЕРДЖЕНО
Пректор з наукової роботи НАУ
В.П. Харченко
2007 р.



НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР
ХІММОТОЛОГІЇ І СЕРТИФІКАЦІЇ ПАЛІВНО-МАСЛИВНИХ
МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНІЧНИХ РІДИН

УГОДЖЕНО
Директор Української хімотології
і сертифікації ПММ і ТР
С.В. Бойченко
2007 р.



Для відбору проб відкладень (осадів, згустків та ін. забруднень) з твердих поверхонь (стінок баків, дниш резервуарів, фільтрів і так далі) можна використовувати такі інструменти як совки, ложки, скальпелі, дротяні крючки. Для взяття проб рідин (відстій, відстійна вода, паливо) можна використовувати пробовідбірники, які знаходяться в службах ПММ. Особливу увагу необхідно звернути на чистоту інструментів і приладів.

ПОРЯДОК ВІДБОРУ ПРОБ

- забруднене і чисте паливо.
- дистильована вода;
- індикатор нітридрин;
- папір;
- вата гіроскопічна;
- горелка;
- предметні скельця;
- пробірки скляні;
- колби плоскодонні і конічні;
- ваги технічні;
- ваги аналітичні;
- шафа витяжна;
- шафа сушильна лабораторна;

МАТЕРІАЛИ, РЕАКТИВИ, ОБЛАДНАННЯ І ПОСУДИ:

Сутність методу полягає у тому що дослідний зразок і розчин нітридрин розмішуються на предметному склі і накриваються іншим скельцем – для виключення контакту біофази з атмосферою. Нагрівають у полум'ї спиртівки. Нагрівання виконують до появи фіолетового кольору за наявності мікроорганізмів, але не більше 30 с.

СУТНІСТЬ МЕТОДУ

<p>Методика визначення мікробіологічного забруднення палив для реактивних двигунів</p>	<p>УкрДІНШ хімотології і сертифікації ПММ і ТР</p>	<p>Методика визначення мікробіологічного забруднення палив для реактивних двигунів</p>
--	--	--

Сторінка 2 з 2 сторінок 7

Українські хімікоти і сертифікати ПММ і ТР	Методика визначення мікробіологічного забруднення палив для реактивних двигунів	Сторінка 3 з сторінок 7
--	---	-------------------------

Інструменти і прилади повинні бути сухими і чистими, перед відбиранням проб вони промиваються етиловим спиртом і просушуються. Найкращим способом підготовки приладів і інструментів є його стерилізація у сушильній шафі протягом 2-3 годин за температури 160 °С.

Проби поміщають в чистий і сухий посуд, який також стерилізують за тих же умов. Згустки, осадки і тому подібне краще відбирати з відстоєм і паливом.

Для оцінки забрудненості палив мікроорганізмами проби палив необхідно відбирати з відстійних зон баків і резервуарів, а також змив з паливних фільтрів літаків.

На кожній відбірній для дослідження пробі повинні бути наклеєні етикетки з вказівкою в супроводжучій документації наступних даних:

- марка палива, завод-виробник, копія паспорту, наявність ПБК-ріднини, місце заправки або місце зберігання;
- тип повітряного судна, його агрегату, чи баку;
- дата відбору проби;

- характеристика відмови або несправності в роботі, або відхилення в показниках якості палива (наявність механічних домішок, помутніння, зміна кольору, кислотності, вмісту фактичних смол та ін.).

ПІДГОТОВКА ДО АНАЛІЗУ

а) посуд, вимитий і висушений, закривають ватними пробками, заартають в бумагу і стерилізують в сушильній шафі при 160 °С протягом 2 годин;

б) проба палива для аналізу повинна бути відібрана з таких місць і частин системи, де концентрація мікроорганізмів може бути найбільшою. Це змив з бортових фільтрів тонкої очистки, змив з фільтроелементів пунктів фільтрації палив, відстій з баків і емкостей і так далі. При відсутності у відстої води, відстій доцільно відфільтрувати і використовувати для аналізу

Укриття і сертифікації ПММ і ТР	Методика визначення мікробіологічного забруднення палив для реактивних двигунів	Сторінка 4 сторінок 7
<p>змив з фільтру. Особи з фільтру змивають дослідним паливом, кількість якого обмежують. В якості фільтрів бажано використовувати мембранні, фільтри паперові чи елементи фільтруючих перегородок фільтрів літаків. Кількість відстою, взятого для фільтрування повинно бути по можливості як найбільше (~400 см³).</p> <p>Найкращою пробою для аналізу є водна фаза (може бути використана водна витяжка змиву з фільтру). Водна фаза після відбору проби негайно ізолюється від атмосфери.</p> <p>в) для аналізу готують п'ять пробірок з корковими пробками. В одну з колб розміщують 15 мл поживного середовища РС і 1 см³ стерильного розчину індикатору, в іншу поміщають 15 см³ вуглеводневого поживного середовища. Вміст пробірок ретельно перемішують струшуванням.</p> <p>г) підготовка контрольних проб:</p> <p>З колб без відстоювання в дві стерильні пробірки відливають по 3 см³ кожного з розчинів, закривають стерильними пробками. Пробірки розміщують в термостат за температури 33±1 °С.</p> <p>д) підготовка проб до випробування:</p> <p>У випадку, якщо проба для аналізу представляє собою воду, її в кількості 1,5 см³ приливають в колбу з робочим середовищем; якщо проба для аналізу представляє собою вуглеводневу рідину, її в кількості 1,5 см³ приливають у колбу з УС. Після ретельного перемішування вміст пробірок розливають в рівних кількостях в три стерильні пробірки, закривають пробками і розташовують в термостат з контрольними пробками. Пробірки в термостаті ізолюють від дії сонячного проміння. При необхідності можна проводити одночасно аналіз і палива і водного відстою, відповідно збільшуючи кількість пробірок в два рази.</p> <p>Оцінка результату аналізу проводиться візуальним оглядом вмісту пробірок з інтервалом не менше 12 годин протягом 3-х діб. Поява рожевого кольору в пробірках, які містять пробу, свідчать про вміст в паливах</p>		

біологічне забруднення фізіологічного колір викликає без підтримання проби. наявністю мікроорганізмів, але не більше 30 с. За високої концентрації нагрівання до 100 °С. Нагрівання виконують до появи фізіологічного кольору за поверхню обережно розмішується у верхній частині пробирки. Допустиме нігідринну нагрівання у пробирці. Під час нагрівання нижня біофака з атмосферою. Скельця з пробою забруднення і розчинном кінчиком ножа і накривається іншим скельцем – для виключення контакту нігідрину. Забруднення ретельно перемішується з розчином нігідрину забруднення на склі піпеткою додають 1-2 краплі приготованого розчину робочої поверхні підготовлених скельця руками не можна. До проби запобігти забруднення і отримання необ'єктивної інформації торкатися робота з підготовки скла повинна виконуватися за допомогою піпетки. Щоб 10 мг поміщається на поверхню скла ближче до одного з кінців скла. Уся просушування від етилового спирту проба відкладення або осаду у кількості засобів, просушується і протирається етиловим спиртом. Після перед випробуванням ретельно промивається з використанням мючких Реакція з нігідринном виконується на предметному склі. Поверхня скла між листами фільтрувального паперу.

проведенні реакції на білок необхідно пробу дослідного відкладення віджати баків. Відкладення повинні бути змішані як з паливом, так і водою. При з фільтрів), з відстійної зони баків і резервуарів, зі стінок резервуарів чи на біологічне забруднення або грубої очистки паливних систем літаків (злив *Аналіз осаду (відкладень)*. Осади або відкладення для аналізу

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

небезпечних концентрацій мікроорганізмів, при цьому колір контрольних проб повинен залишитися без змін.

Сторінка 5 з 5 сторінок 7	Методика визначення мікробіологічного забруднення палив для реактивних двигунів	Українські стандарти ІСММ і ТР і сертифікації ІСММ і ТР
---------------------------	---	---

Аналіз відстійної води або витяжки з налива. Для проведення аналізу відстійної води або водної витяжки на виявлення водорозчинного білка і вільних амінокислот виконують їх концентрування через випаровування водного відстою до суха на предметному склі у верхній частині погум'я спиртівки, додаючи по 2-3 краплі відстою. Для випаровування використовують 1-2 см³ відстою. Після випаровування на осад, який не випарувався на склі, подають 1-2 краплі розчину нітгидрину, накривають іншим скельцем і виконують нагріванням за схемою, що описана вище.

Аналіз налива. Досліді показують, що мікроорганізми у паливах і продукти їх життєдіяльності концентруються на межі поділу фаз і в водній фазі. В об'ємі палива містяться їх незначна частина і це, як правило, бактерії. Якщо не має можливості отримати проби у вигляді осаду, відкладення, водного відстою, для аналізу беруть паливо з наступним концентруванням біофаз. Для цього використовують фільтрування палива через шар піску товщиною 1 см, який розташований в скляній трубі $d=4-5$ мм. Для фільтрації відбирають фракцію піску менше 150 мкм, просіваючи пісок через сітку №15. Оброблений пісок підлягає термообробці за температури 500 °С протягом 1-2 год. Для концентрування біофаз використовують до 400 см³ палива. Цей об'єм палива проходить через вказаний шар піску впродовж 10-15 хв. Після фільтрування пісок з трубки розміщають на склі, просушують від палива впродовж години на відкритому повітрі, потім змочують його при перемішуванні розчином нітгидрину (1-2 краплі) покривають іншим склом і проводять аналіз як у випадку з осадом після випаровування води.

Замість піску може бути використана глина, яка підготовлена аналогічним способом. При використанні глини збільшується час фільтрування палив.

По закінченню випаровування предметні скельця оглядають.

Критеріями забрудненості палив мікробіологічними забрудненнями є:

УкрНДНП хімотології і сертифікації ПММ і ТР	Методика визначення мікробіологічного забруднення палив для реактивних двигунів	Сторінка 6 сторінок 7
---	---	-----------------------

1. Скрибачин В.В., Ламтева Е.А., Михайлова Л.К. О биоповреждении топлива // Химия и технология топлив и масел. – 1983, № 12, с. 29-30.
2. Нетте И.Т., Гречушкіна Н.И., Работнова И.Л. Рост некоторых микобактерий на нефтях и нефтепродуктах // Прикладная биохимия и микробиология, 1965 – с. 167-174.
3. Демичева С.Г., Шигаева М.Х. Углеводородокисляющие микроорганизмы. Деп. Рукопись в КазГосИНТИ 23.09.94. № 5346-Ка94-Алматы. 1994 – 25 с.
4. Козеев Е.Н., Петрикович С.Б., Шкиченко А.Н. Исследование устойчивости ассоциации микроорганизмов-нефтедеградаторов в открытой системе // Прикладная биохимия и микробиология, 2001, Т. 37, № 4, с. 413-417.
5. Микроорганизмы и их вторичные биологически активные метаболиты. Владивосток: Дальнаука, 1999 – 131 с.
6. Смирнов В.В., Курганова Е.А. Бактерии рода Pseudomonas. Киев, Наукова думка, 1990 – 262 с.
7. Мехтеева Н.А., Кандицкая Л.И. Распространение микромпицетов в топливных системах самолётов // Химия и технология топлив и масел, 1993, № 10, с. 15-19.
8. Гречушкіна Н.Н., Азова Л.Г., Мильникова С.И. Методы оценки поражаемости нефтяных топлив микроорганизмами // Биологические науки. № 2, 1980 – 15-25 с.

Література:

Розробники: Литвинов О. О.
Ластовець А. М.
Кучма Н. М.
Шкільнюк І. О.

розчину.

- паливо вважається незабрудненим, якщо розчин залишається прозорим і відсутнє сине забарвлення;
- паливо вважається забрудненим при появі синього забарвлення

Українські хімотологи і сертифікації ПММ ! ТР	Методика визначення мікробіологічного забруднення палив для реактивних двигунів	Сторінка 7 сторінок 7
---	---	-----------------------

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Українського науково-
дослідного та навчального центру
хіммотології і сертифікації ПММ і ТР

С. В. Бойченко

«27» 11 2009 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший заступник генерального
директора ВАТ АК «Дніпроавіа»

С. Е. Ткаченко

«30» 11 2009 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Ми, що нижче підписалися
представники Національного авіаційного університету (НАУ) директор УкрНДНЦ
хіммотології і сертифікації ПММ і ТР, завідувач кафедри хіммотології, д.т.н.,
професор Бойченко С. В., м.н.с. Черняк Л.М., м.н.с. Шкільнюк І.О.
представники ВАТ АК «Дніпроавіа» (49042, м. Дніпропетровськ-042, аеропорт -42).

(повна назва підприємства, організації, адреса)

в особі керівника, першого заступника генерального директора ВАТ АК «Дніпроавіа»

С.Е. Ткаченка.

(посада, прізвище та ініціали)

склали цей акт про те, що результати науково-дослідної роботи НДР №509-ДБ08
«Наукові основи економії і раціональне використання традиційних моторних палив
та перспективи розвитку альтернативних джерел енергії для транспортних засобів»,
у вигляді методики визначення мікробіологічного забруднення палив для реактивних
двигунів впроваджено у виробництво (експлуатацію) для вирішення окремих
виробничих завдань з боку забезпечення біологічної стабільності палив.

Назва впровадженого результату	Досягнутий фактичний результат	
	Соціальний, технічний, організаційний та інш.	Економічний (грн. за рік)
Методика визначення мікробіологічного забруднення палив для реактивних двигунів	Забезпечення раціонального використання палив, безпека польотів	Близько 1,5 млн.

Від НАУ:

Голова комісії: С. В. Бойченко
Члени комісії: Л. М. Черняк
І. О. Шкільнюк

Від ВАТ АК «Дніпроавіа»

Голова комісії: А.В. Соколов
Члени комісії: А.В. Брачев
М.В. Шевченко

В. А. Терещенко

І. О. Шкільнюк

С. В. Бойченко

М. Ю. Чайковський

Від НАУ:

Від ФОРП Чайковський М. Ю.:

Назва упродовженого результату	«Вплив мікробіологічного забруднення на якість традиційних та альтернативних авіаційних палив»
Дослідний фактичний результат	Зменшення втрат палива від мікробіологічного забруднення під час зберігання та виконання технологічних операцій, попередження виникнення небезпеки мікробіологічної корозії металевих конструкцій та виробів з гуми засобів зберігання та експлуатації палив, попередження забивання фільтрів, попередження витоків палива та аварій
Соціальний, технічний, організаційний та інш.	5 452 000,00
Економічний (грн. за рік)	

склали цей акт про те, що результати науково-дослідної роботи Шкільнюк І. О. «Вплив мікробіологічного забруднення на якість традиційних та альтернативних авіаційних палив», виконаної в рамках НДР № 940-ДБ15 «Підвищення енергоощадності та екологічності авіаційної та наземної техніки впродовженнім альтернативних моторних палив», впродовжені у виробництво (експлуатацію) для вирішення окремих виробничих завдань з боку зберігання авіаційних палив та забезпечення його чистоти.

Чайковського Микола Юрійовича 3048, м. Київ, вул. Кадетський Гай 11, к. 48, ІПН 2972115550) в особі керівника та ФОРП Чайковський М. Ю. (Центр екологічної безпеки в аеропортах, юридична адреса: Терещенка В. А., молодшого наукового співробітника Шкільнюк І. О., з однієї сторони, кафедри екології, д.т.н., професор Бойченко С. В.; наукового співробітника представники Національного авіаційного університету (НАУ) в особі завідувача

Ми, що нижче підписалися

АКТ ВПРодовження

В. П. Харченко 2015 р.

М. Ю. Чайковський 2015

В. о. ректора НАУ

ФОРП Чайковський М. Ю. Центр екологічної безпеки в аеропортах

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ІЕБ
 О. І. Запорожець
 Завідувач кафедри екології ІЕБ
 С. В. Бойченко
 Доцент кафедри екології ІЕБ
 Л. М. Черняк
 Молодший науковий співробітник
 І. О. Шкільнюк


<p>Ефект від уривадження</p>	<p>Форма уривадження (монографія, підручник, навчальний посібник, конспект лекцій, методична розробка, лабораторний практикум, програма курсу, постановка лабораторного роботи, програма, продовження розробки у курсовій, дипломній роботі та ін.)</p>	<p>Назва результату НДР, що уриважджується</p>
<p>Використання актуалізованого матеріалу, покращення якості рівня підготовки викладачів і підвищення рівня забезпеченості сучасною літературою з 75% до 90%.</p>	<p>Матеріал використано під час підготовки підручника «Авіаційна химіотологія: топлива для авиационных двигателей. Теоретические и инженерные основы применения» авторів М. С. Кулика, О. Ф. Аксьонова, Л. С. Яновського, С. В. Бойченка, О. І. Запорожца у розділі 4.1.3 «Биологические процессы – источник загрязнения топлива» для викладання навчальної дисципліни «Химотологія», що викладається для студентів спеціальності 7/8.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування», а також «Химотологія та інженерне забезпечення використання газу і паливно-мастильних матеріалів», що викладається для студентів напрямку 6.050604 «Енергомашинобудування»</p>	<p>Систематизація мікроорганізмів за активністю зростання у паливі</p>

Ми, що нижче підписалися, директор Інституту екологічної безпеки, доктор технічних наук, професор Запорожець О. І., завідувач кафедри екології, доктор технічних наук, професор Бойченко С. В., молодший науковий співробітник Шкільнюк І. О., кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Черняк Л. М., склали цей акт про те, що результати дисертаційних досліджень Шкільнюк І. О. використуються у навчальному процесі Національного авіаційного університету на кафедрі екології.

Уривадження результатів виконаної науково-дослідної роботи у навчальний процес Національного авіаційного університету

«УЗГОДЖЕНО»
 Проректор університету
 з науково-педагогічної роботи
 А. В. Полухін
 « 11 » 2015 р.
 «ЗТВЕРДЖУЮ»
 Проректор університету
 з наукової роботи
 В. П. Харченко
 2015 р.



«УЗГОДЖЕНО»
Проректор університету
з навчальної роботи

А. У. Гудманян
_____ 2019 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Проректор університету
з наукової роботи

В. П. Харченко
_____ 2019 р.

А К Т

упровадження виконаної науково-дослідної
та дослідно-конструкторської роботи у навчальний процес
Національного авіаційного університету

Ми, що нижче підписалися, декан Факультету Екологічної безпеки, інженерії та технологій, д.т.н., проф. Бойченко С.В., доцент кафедри хімії і хімічної технології Факультету Екологічної безпеки, інженерії та технологій Яковлєва А.В., доцент кафедри хімії і хімічної технології Факультету Екологічної безпеки, інженерії та технологій Трофімов І.Л., директор УкрНДНЦ хіміотології та сертифікації ПММ і ТР Шкільнюк І.О. склали цей акт про те, що результати та науково-дослідної роботи за темою 182-ДБ18 „Підвищення експлуатаційних характеристик палив для газотурбінних двигунів, безпеки авіаційного транспорту та його екологічності” у вигляді навчального посібника використовуються у навчальному процесі Національного авіаційного університету на кафедрі хімії і хімічної технології.

Назва результату НДР, що впроваджується	Форма впровадження (монографія, підручник, навчальний посібник, конспект лекцій, методична розробка, лабораторний практикум, програма курсу, постановка лабораторного роботи, програма, продовження розробки у курсовій, дипломній роботі та ін.)	Ефект від впровадження
Навчальний посібник «Fundamentals of chemotology»	Навчальний посібник «Fundamentals of chemotology» використовується як методичний матеріал під час викладання навчальної дисципліни «Основи хіміотології», що викладається для студентів спеціальності 161 «Хімічна технологія та інженерія», ОПП «Хімічні технології альтернативних енергоресурсів»	Покращення якості викладання матеріалів, рівня підготовки фахівців та підвищення рівня забезпеченості літературою

Декан ФЕБІТ



С. В. Бойченко

Доцент кафедри
хімії і хімічної технології

А.В. Яковлєва

Доцент кафедри
хімії і хімічної технології

І.Л. Трофімов

Директор УкрНДНЦ хіміотології
та сертифікації ПММ і ТР

І.О. Шкільнюк