

УДК [582.288.4 + 579.24] : 665.753.2 (045)

**СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ВИДОВОГО СКЛАДУ МІКРОБІОЛОГІЧНОЇ ФАЗИ
У СКЛАДІ АВАЦІЙНИХ ПАЛИВ**

С. В. Бойченко, д-р техн. наук, проф.; **І. О. Шкільнюк**; **А. О. Новак**

Національний авіаційний університет
ann40055348@yandex.ru, i_shkilniuk@ukr.net

Проведено систематизацію мікроорганізмів за допомогою таксономічної категорії. Розглянуто основні види мікроорганізмів, що спричиняють біошкодження палив.

Ключові слова: авіаційне паливо; мікроорганізми; мікробіологічне забруднення; біодеструкція.

A systematization of microorganisms by means of taxonomic categories, the basic types of microorganisms that cause biodeterioration fuels.

Keywords: aviation fuel; microorganisms; microbiological contamination; biodegradation.

Вступ

Мікробіологічне пошкодження палива є серйозною економічною проблемою у сфері нафто-видобування, нафтопереробки і нафтохімії, особливо під час використання авіаційних палив [1]. Тому особливу увагу необхідно звернути на наявність у паливах патогенної мікрофлори, що погіршує експлуатаційні властивості палива і є причиною біологічної корозії вузлів та агрегатів паливної системи і паливних баків літаків [2].

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 [3].

Постановка завдання

Мета статті — систематизація видового складу мікробіологічної фази авіаційних палив.

Об'єкт дослідження — деструктивна активність вуглеводнеокиснювальних мікроорганізмів.

Предмет — вплив мікробіологічної фази на якість палива для повітряно-реактивних двигунів.

Гіпотеза — вивчення видового складу мікроорганізмів в авіаційному паливі і механізму біодеградації, що допоможе розробити більш ефективні способи виявлення та попередження біо-забруднення палива.

Завдання:

1. Огляд видового складу мікробіологічної фази палив.

2. Дослідження вуглеводнеокиснювального потенціалу мікроорганізмів у паливах.

3. Систематизація мікродеструкторів авіаційних палив.

Важливою науково-прикладною проблемою є захист авіаційних палив від мікробіологічного забруднення.

Розв'язання завдання

Розвиток мікроорганізмів у паливних системах призводить до погіршення фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей палив унаслідок зміни їх вуглеводневого складу, накопичення мікробного слизу та осаду, утворення стійких емульсій. Забивання фільтрів і каналів паливної системи мікробною масою призводить до аварій та непрацездатного стану технічного засобу в цілому [4].

На сьогодні в паливних системах літаків вивчено понад 100 видів різноманітних мікроорганізмів [2].

У разі забивання фільтрів, забруднення регулювальної апаратури можливі аварії і вимушені посадки літаків. Для того щоб запобігти цьому, необхідно вивчити видовий склад мікробіологічної фази у складі палив та умови росту мікроорганізмів у паливі.

Необхідною умовою для росту мікроорганізмів у паливі є підвищена температура середовища (20–35 °С), наявність води і мінеральних забруднень (грунтовий пил, продукти корозії,

солі річкової і морської води). Подібні умови найчастіше створюються під час тривалого зберігання або транспортування палив річковим або морським шляхом у вологих тропічних і субтропічних районах, недотримання технологічного регламенту експлуатації транспортних засобів.

Під час зберігання мікроорганізми інтенсивно розвиваються на межі розділу водного і паливного шарів через засвоєння розчинених у воді мінеральних солей і органічних компонентів палива. Особливо сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів є водопаливна емульсія, що утворюється на межі вода-паливо в тому випадку, якщо в паливі містяться емульговані поверхнево-активні речовини (ПАР) або присадки. Тому важливо контролювати схильність палива до емульгування з водою [5]. Навіть дуже невеликої кількості твердих частинок (1 мг частинок у 100 мл палива) достатньо, щоб викликати проблеми фільтрації.

За відсутності води і за низької температури мікроорганізми не розвиваються, хоча можуть залишатися життєздатними досить довгий час, до появи сприятливих умов для їх розвитку.

Присутність бактерій і грибів у системах зберігання палива збільшує вміст води в паливі через мікробіологічну деструкцію вуглеводнів. Діяльність аеробних бактерій і грибів призводить до утворення пероксидів і кислот у паливі, так само як до збільшення в'язкості і до зменшення термічної стійкості і мінливості палива [6]. Крім того, діяльність мікроорганізмів сприяє збільшенню вмісту завислих твердих речовин у паливі у вигляді шламу, корозії сміття і частинок металу трубопроводів та компонентів фільтрів, наприклад, скловолокна, паперу або бавовни.

З метою запобігання біопшкодженню палив важливо систематизувати, тобто укомплектувати, згрупувати розрізнені знання щодо мікроорганізмів-деструкторів авіаційних палив у систему та встановити їх єдність через вивчення суттєвих зв'язків, що об'єднують мікроорганізми спираючись на класифікацію, аналіз та синтез істотних властивостей. Систематизацію мікроорганізмів здійснювали за допомогою таксономічної категорії, що застосовується в систематиці для позначення підпорядкування різних груп живих організмів, що відрізняються одна від одної ступенем спорідненості. Таксономічні категорії різного рівня або рангу (вид, рід, родина і т. д.), присвоюють реальним відокремленим групам організмів — таксонам, тобто категорії є сукупностями таксонів одного рангу. Домен (від лат. — *regio*, від. англ. — *domain*) — таксономічна категорія найвищого рангу, що

включає декілька царств; царство (*regnum*) — група споріднених відділів, чи типів; тип (*phylum*) (для тварин) або відділ (*division*) (для рослин, бактерій, архей та грибів) — група споріднених класів; клас (*classis*) — група споріднених рядів (для тварин) або порядків (для рослин тощо); ряд (*ordo*) (для тварин) або порядок (для рослин та ін.); родина (*familia*) — група споріднених родів; рід (*genus*) — група споріднених видів; вид (*species*) — група особин, ідентичних до особини-еталону за діагностичними ознаками.

Більше 100 видів різноманітних мікроорганізмів можуть існувати в паливних системах літаків і за сприятливих умов дуже швидко розмножуватися.

Мікроорганізми-деструктори вуглеводнів авіаційних палив відомі серед представників родів анаеробних і аеробних бактерій (*Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Artrobacter*, *Bacillus*, *Bacterium*, *Brevibacterium*, *Citrobacter*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Desulfovibrio*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Micromonospora*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Sarcina*, *Thiobacillus* та ін.); мікророскопічних міцеліальних грибів (родів *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhodotorula*, *Trichoderma*, *Cladosporium resinae*, *Paecilomyces variotii* та ін.); дріжджеподібних грибів (родів *Candida*, *Debaryomyces*, *Endomycopsis*, *Saccharomyces*, *Torula*, *Torulopsis*) та актиноміцетів [7].

Основні мікроорганізми, що спричиняють біопшкодження палив, — це бактерії родів *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Candida*, *Nocardia* і *Acinetobacter* [5]. Але найчастіше в нафтопродуктах гриб *Cladosporium resinae* «гасовий гриб» ще відомий як *Hormoconis resinae* [8], [9].

Мікроміцети, що розвиваються в паливних баках літаків, у паливосховищах, а також гриби з природних місць існування, які здатні вражати паливо, класифікують за активністю зростання в паливі: 1 — активні деструктори; 2 — потенційні деструктори; і 3 — частково адаптовані до середовища і випадкові види (рис. 1) [10].

Нещодавно з авіаційного палива вперше був виділений гриб, морфологічно і генетично визначений як *Monascus floridanus* PF Cannon & E. L. Barnard (FR827895).

Виділений штам має низку ознак, які не описані для типового штаму: наявність реброподібної опуклої смуги на одній зі сторін аскоспор, утворення поряд з відомими таллоконідами типу *Basipetospora* другого *phialophora*-подібного спорощення.

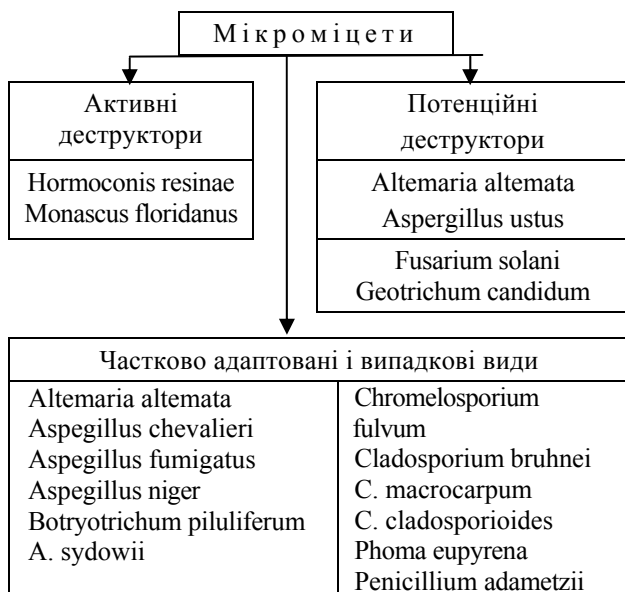


Рис. 1. Класифікація мікрміцетів у паливі

Виділений штам *Monascus floridanus*, також як і відомий «гасовий» гриб *Hormoconis resinae* (Lindau) Arx & GA de Vries, здатний до активного росту на авіаційному паливі [11]. Нижче наведено деякі види мікроорганізмів, виявлених у паливі, та їх класифікація за таксономічними категоріями, умови їх розвитку та види вуглеводнів, що споживає певний мікроорганізм (див. таблицю).

Отже, здатність засвоювати вуглеводні авіаційного палива властива мікроорганізмам, представленим різними систематичними групами. До них належать різні види міксміцетів (грибів), дріжджів і бактерій. Найактивніші деструктори вуглеводнів трапляються серед бактерій та грибів. Вони характеризуються здатністю до засвоєння широкого спектра вуглеводнів, мають високу швидкість розвитку і, отже, становлять небезпеку для авіаційних палив.

Види мікроорганізмів, виявлених у паливі, умови їх розвитку та види вуглеводнів, що споживає певний мікроорганізм

Царство	Клас	Родина	Рід	Представники (вид)	Вид вуглеводню, що споживає	Умови розвитку
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 °С; витримує осмотичний тиск 31,4 атм, нагрівання за 60 °С протягом 30 хв і за 72 °С 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	Gordoniae	Gordonia rubripertincta	н-алкани C ₁₅ –C ₂₃ , а також ароматичні вуглеводні	Стойкі до голодування, високого вмісту солей, впливу ультрафіолету, широкого діапазону кислотності і низьких температур

Закінчення таблиці

Царство	Клас	Родина	Рід	Представники (вид)	Вид вуглеводню, що споживає	Умови розвитку
Бактерії	Gamma Proteobacteria	Pseudomonada-ceae	Pseudomonas	Pseudomonas putida	Не має здатності до денітрифікації з утворенням азоту. Використовує єдине джерело вуглецю глюкозу, глутамат, сукцинат. Використовує як джерело зростання вуглеводні бензоат, саліцилат, нафталін, фенантрен, нафту	Не має потреби у факторах росту. Не зростає за +41 °С. Оптимальний рН для зростання 6,0–8,0. Здатний до зростання в присутності 3 %
Гриби	Dothideomycetes	Davidiellaceae демацієвих	Кладоспорій (Cladosporium)	Cladosporium resinae (Hormoniconis resinae)	Засвоює вуглець із вуглеводнів. Спостерігається тенденція до росту на вуглеводнях (C ₁₀ –C ₁₇), найбільше значення на гексадекані (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 °С, спори залишаються життєздатними за температури 60 °С не більше як 3 доби і гинуть за 70 °С. Найактивніший ріст за температури 28 °С
	Eurotiomycetidae	Monascaceae	Monascus	Monascus floridanu	Спостерігається тенденція до росту на вуглеводнях (C ₁₀ –C ₁₇), найбільше значення на гептадекані (C ₁₇ H ₃₆)	Найкраще розвивається за температури від +9 до +36 °С
	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 до +35 °С
	Eurotiomycetes	Trichocomaceae	Penicillium	Penicillium citrinum	Використовує як джерело енергії вуглеводні авіаційних палив	Найкраще розвивається за температури від +33 до +35 °С
	Saccharomycetes	Saccharomycetales	Candida	Candida guilliermondii	Використовує як джерело енергії вуглеводні авіаційних палив	Оптимальна температура для розвитку 25–37°C, рН – 5,8 – 6,5

Висновок

Отримані результати свідчать, що мікроорганізми, зокрема мікроскопічні гриби, можуть активно розвиватися в авіаційних паливах та призводити до погіршення фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей авіаційних па-

лив, що в комплексі може викликати забруднення регулювальної апаратури та нестабільну роботу паливної системи і, як наслідок — виникнення аварій і вимушених посадок літаків.

Результати систематизації видового складу мікроорганізмів-деструкторів авіаційних палив

мають практичний інтерес та відображають необхідні умови для розвитку мікробіологічної фази.

Розуміння мікробіологічної деструкції вуглеводнів авіаційних палив допоможе правильно підібрати засоби захисту від даного виду забруднення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Natalia A. Yemashova, Valentina P. Murygina, Dmitry V. Zhukov, Arpenik A. Zakharyantz, Marina A. Gladchenko, Vasu Appanna, Sergey V. Kalyuzhnyi (2006). Biodeterioration of crude oil and oil derived products: a review. *Rev Environ Sci Biotechnol*
2. Пискунов В. А. Влияние топлив на надежность реактивных двигателей и самолетов / В. А. Пискунов, В. Н. Зрелов. — М. : Машиностроение, 1989. — 352 с.
3. Забезпечення чистоти авіаційних палив і паливно-мастильних матеріалів перспективними методами та засобами очищення / Є. О. Баканов, Ю. О. Бейко, Г. П. Карабцов та ін. // Вісник КМУЦА. — 2000. — № 1-2. — С. 200-208
4. Шкильнюк И. А. Исследование влияния микробиологической стабильности топлив для воздушно-реактивных двигателей на надёжность работы топливной системы самолётов / И. А. Шкильнюк, С. Ф. Романов, В. В. Гринько // Мат. IV Міжнар. наук.-техн. конференції. «Проблеми хімотології» (24–28 вересня 2012 р.) / ред. кол.: О. Ф. Аксьонов, В. П. Харченко, С. В. Бойченко [та ін.]; за заг. ред. С. В. Бойченка. — Одеса : Астропринт, 2012. — С. 370–373.
5. *Инженерные основы авиационной химмотологии*. — Казань : Изд-во Казанск. ун-та, 2005. — С. 121–125 с.
6. Vishnyakova T. P., Vlasova I. D., Grechyushkina N. N., Krylov I. F., Paushkin Y. M., Litvinenko S. N., Grigor'eva G. P., Poddubnyi V. N., Sankina N. B., Tihonruk I. F., Toropova Y. G. (1970) Biological contamination of oil and oil products and their protection during transport and storage. Review. In: T. P. Vishnyakova (Ed) CNIITeneftchim, M [In Russian].
7. Скрибачилин В. Б. О биоповреждении топлив / В. Б. Скрибачилин, Е. А. Лаптева, Л. К. Михайлова // Химия и технология топлив и масел. — 1983. — № 12. — С. 29–30.
8. Ferrari M. D., Neirotti E., Albornoz C. (1998) Occurrence of heterotrophic bacteria and fungi in an aviation fuel handling system and its relationship with fuel fouling. *Rev Argent Microbiol* 30(3):105–114.
9. Васильева А. А. Влияние температуры на рост и жизнеспособность *Hormosporium resinae* и *Phialophora* sp., развивающихся в авиационном топливе / А. А. Васильева, Л. Н. Чекунова, А. В. Полякова // Микология и фитопатология. Т. 43. — Вып. 4, 2009. — С. 312–316.
10. Кривушина А. А. Микромитеты в авиационном топливе : автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. биолог. наук : спец. 03.02.12 «Микология» / А. А. Кривушина. — М., 2012. — 24 с.
11. Vasilyeva A. A., Chekunova L. N., Bilanenko E. N., Kachalkin A. V., Polyakova A. V. Characterization of the Strain *Monascus floricidus* P. F. Cannon & E. L. Barnard, Isolated from Aviation Fuel // *Microbiology*, vol. 81, № 2, 2012. — P. 244–250.

Стаття надійшла до редакції 20.01.2014