

DOI: 10.18372/2310-5461.42.13752

УДК 502.175:662.6/.9:629.7(045)

С. В. Бойченко, д-р техн. наук, проф.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-1196-3852
chemmotology@ukr.net

Л. І. Павлюх, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-7715-4601
lenyo@ukr.net

І. О. Шкільнюк
Директор УкрНДНЦ хімотології і сертифікації ПММ і ТР
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-8808-3570
i_shkilniuk@ukr.net

А. В. Яковлева, канд. техн. наук
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-7618-7129
anna.yakovlieva@nau.edu.ua

І. В. Матвєєва, д-р техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-8636-0538
iryna.valeriivna.matvieieva@gmail.com

А. В. Гудзь, студент
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0003-1471-3688
algudz@ukr.netmailto:algudz@ukr.net

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОНЕНТІВ ТРАДИЦІЙНИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ АВІАЦІЙНИХ БЕНЗИНІВ

Вступ

Знаходячись тисячоліттями під товщею Землі, нафта, не спричиняла токсичного впливу на навколишнє середовище, але людина вилучила її з надр та досі інтенсивно використовує для своїх цілей [1]. Нафта, що приносить користь людині, ставить під питання існування не тільки людей, а й усього живого на Землі [2].

Постановка проблеми

Токсичність нафтопродуктів і газів, що виділяються, визначається головним чином вуглеводнями, що входять до їх складу. Важкі нафти є більш токсичними порівняно з легкими, а суміш вуглеводнів є більш токсичною через окремі компоненти. Значно збільшується токсичність нафтопродуктів під час переробки сірчистих нафт. Найбільш шкідливою для організму людини є комбінація вуглеводню й

сірководню, вражається центральна нервова система та мозок.

Високі вимоги, що пред'являють до екологічної якості паливно-мастильних матеріалів, потребують ефективних та інформативних методів їх оцінки. На сьогодні найбільш екологічно небезпечними вважають біологічно активні поліциклічні ацени (ПА) — група сполук із конденсованими бензольними кільцями. До найбільш канцерогенних відносять найвищі ПА із числом кілець від 4 до 7. Ці сполуки руйнівні діють на імунну систему людини та тварини, можуть спричинити безпліддя (в основному у чоловіків), рак та інші тяжкі хвороби [3].

Досліджені та очевидні факти токсичності продуктів переробки нафти, створюють необхідність додаткового дослідження токсичності компонентів бензинів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найсильніш позначається на навколишньому середовищі забруднення продуктами хімічних перетворень. До них можна віднести газоподібні й аерозольні забруднювачі промислово-побутового походження. Також погано позначається на атмосфері накопичення вуглекислого газу, кількість якого, на жаль, чимдалі збільшується. Це може призвести у найближчому майбутньому до збільшення середньорічної температури на

Землі. Продовжується забруднення Світового океану нафтою і її похідними, що охопило вже 1/5 усієї поверхні океану.

Така ситуація може спричинити порушення газо- і водообміну між атмосферою й гідросферою.

Забруднення ґрунту пестицидами й перевищення кислотності можуть призвести до розпаду екосистеми. Усі ці процеси здатні викликати негативні зміни в біосфері (рис. 1) [4].



Рис. 1. Схема техногенного впливу на біосферу

Метою статті є аналіз екологічних властивостей компонентів традиційних і альтернативних авіаційних бензинів.

Об'єкт: обґрунтування оптимального компонентного складу бензинів у контексті їх екологічності.

Предмет: компонентний склад традиційних і альтернативних авіаційних бензинів.

Виклад основного матеріалу

Основною сировиною для отримання бензинів є нафта. Це горюча корисна копалина, складна суміш вуглеводнів різних класів з невеликою кількістю органічних, кисневих, сірчистих і азотних сполук, що являє собою густу оліїсту рідину [4]. Компонентний (хімічний) склад бензину — це сукупність тих елементів, з яких складається даний вид бензину.

Сучасні авіаційні бензини готують змішуванням (компаундуванням) різних компонентів,

якість і вміст яких залежить від марки бензину та від загального балансу нафтопродуктів, що продукуються на заводі. У промисловості найбільш часто використовуються: бутан-бутиленова фракція (90 % н-бутану, 2–4 % ізобутану і 5–8 % пентану), технічний ізопентан (2-метилбутан) та різні газові бензини [5].

У складі нафти виявляється більше 1000 індивідуальних органічних речовин, що мають різну токсичність [6].

Токсичність нафтопродуктів визначається їх вуглеводневим складом. Як правило більш важкі компоненти є більш токсичні, ніж легкі, а токсичність суміші вуглеводнів вище токсичності її окремих компонентів. Більшість канцерогенних вуглеводнів здатне до біонакопичення. Потрапляючи в ґрунт, токсичні компоненти нафти можуть перетворюватись в ще більш токсичні сполуки, адсорбуватися,

концентруватися і потрапляти в трофічні ланцюги, за якими можливе потрапляння токсинів в організм людини [7].

Легкі вуглеводні мають місцеву подразнюючу дію, виражений нейротропний характер. Рідкі вуглеводні з числом вуглеводневих атомів від 5 до 16 мають наркотичну та подразнюючу дію, можуть викликати тривале збудження нервової системи. При потраплянні на шкіру, нафта викликає дерматити та екземи. Усі вуглеводні впливають на серцево-судинну систему і на показники крові (зниження вмісту гемоглобіну і еритроцитів), також можливо ураження печінки, порушення діяльності ендокринних залоз. Визнано канцерогенну дію низки вуглеводнів [8].

Один із способів отримання бензину — пряма перегонка нафти [9].

Для отримання високоякісного бензину проводять вторинну (деструктивну) перегонку нафти.

Основними методами деструктивної переробки нафти і отримання високоякісного бензину є:

– термічний крекінг — переробка сировини за температур 450–500 °С і тиску 2–5 МПа;

– каталітичний крекінг — протікає за температур 470–530 °С і тиску 70–370 МПа у присутності каталізатора для отримання бажаних вуглеводнів;

– каталітичний реформінг — це процес облагороджування низькоякісного бензину шляхом його каталітичної переробки під тиском водню в присутності каталізатора. У результаті каталітичного риформінгу виходить високооктановий компонент автомобільних бензинів;

– гідрокрекінг — це каталітична переробка нафтових фракцій і залишкові продукти дистиляції нафти (мазут, гудрон) під тиском водню для отримання бензину. Гідрокрекінг протікає за температури 260–450 °С і тиску 5–20 МПа на каталізаторах;

– гідроочищення проводиться для підвищення якості та стабільності світлих дистилятів при температурі 250–420 °С і тиску 2–5 МПа в присутності каталізаторів [10].

Відомі особливі випадки, коли для виробництва бензинів застосовують іншу вуглеводневу сировину.

Можливий відгін бензинових фракцій зі смол напівкоксування та коксування (утилізація важких залишків крекінгу з метою отримання дистиляту широкого фракційного складу) з додатковим їх очищенням. Виробляються бензини із синтез-газу (продукт газифікації вугілля, конверсії метану) за допомогою синтин-процесу (синтез Фішера–Тропша).

Синтезування застосовують для отримання індивідуальних вуглеводнів, що мають високі антидетонаційні властивості та використовують як добавка до бензинів.

Процес здійснюється в присутності каталізаторів.

У бензинах залежно від вуглеводневого складу сировини і технології одержання може міститися більше 200 індивідуальних вуглеводнів різної будови [11].

Авіаційні палива є середньодистилятними нафтовими фракціями. У них містяться вуглеводні різних класів, гетероатомні сполуки та неорганічні домішки (табл. 1).

Таблиця 1

Основні класи вуглеводнів, що входять до складу авіаційних бензинів [12]

Клас вуглеводнів	Масова частка вуглеводнів, %
Алкани (нормальної та ізобудови)	10–40
Циклоалкани	20–60
Арени	20–22
Моноциклічні арени	3–25
Біциклічні арени	1–5

Найважливішими властивостями індивідуальних вуглеводнів, що визначають їх наявність у складі та вплив на якість бензинів, є температура кипіння та детонаційна стійкість (октанове число). Ці властивості, а також густина, ГДК, клас небезпеки та температура спалаху деяких індивідуальних вуглеводнів усіх класів, що

можуть входити до складу компонентів бензинів.

Екологічні властивості — сукупність властивостей паливно-мастильних матеріалів, що виявляються при взаємодії продукту з навколишнім середовищем та мають негативний вплив, а саме під час контакту із засобами

механізації в умовах зберігання, транспортування, перекачки та фільтрації, під час контакту з людиною, атмосферою, водою, тваринним та рослинним світом. До екологічних властивостей (показників) відносять токсичність, канцерогенність, пожежонебезпеку та вибухонебезпеку, стабільність якості продукту при зберіганні, транспортуванні, концентрацію шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів, ГДК шкідливих речовин у робочій зоні, здатність продукту впливати на забруднення навколишнього середовища.

Температурою спалаху називають температуру, до якої необхідно нагріти паливо, щоб його пари утворювали з повітрям вибухову суміш, спалахуючи при піднесенні до нього відкритого полум'я. Температура спалаху, що визначається у закритому тиглі, в деякій мірі характеризує ступінь пожежної небезпеки палива [11; 14]. Показник, що вказує мінімальну температуру горючої речовини, за якої в умовах випробування над його поверхнею утвориться суміш пари або газів з повітрям, що здатна спалахувати у повітрі від джерела запалювання, але швидкість їх утворення ще недостатня для

наступного горіння (в °С). Температура спалаху характеризує запалення палив, визначає умови безпеки використання палива у двигунах, залежить від фракційного складу палива (рис. 2). Показник займистості палив характеризує також їх пожежонебезпеку, що є одним із екологічних показників.

Граничнодопустима концентрація (ГДК) — показник безпечного рівня вмісту шкідливих речовин в навколишньому середовищі; максимальна кількість шкідливої речовини в одиниці об'єму або маси у водному, повітряному чи ґрунтовому середовищах, що майже не впливає на здоров'я людини [15] (рис. 3).

За ступенем впливу на організм шкідливі речовини поділяються на чотири класи токсичності та небезпеки (рис. 4):

1-й клас — надзвичайно токсичні та надзвичайно шкідливі;

2-й клас — високотоксичні та високо-небезпечні;

3-й клас — помірно токсичні та помірно небезпечні;

4-й клас — малотоксичні та малонебезпечні [16].

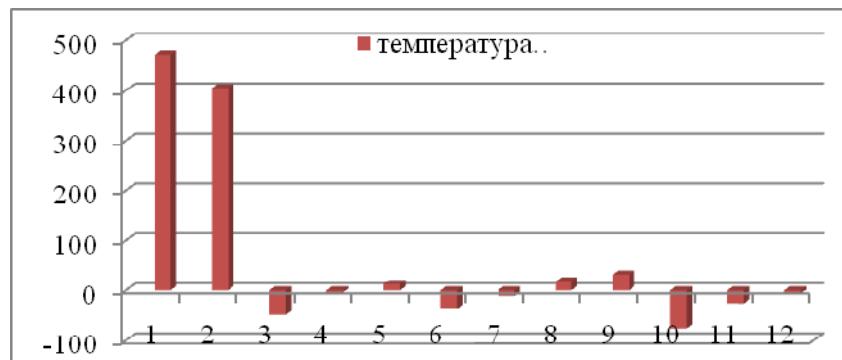


Рис. 2. Температура спалаху індивідуальних вуглеводнів, що входять до складу бензинів:
1 — Пропан; 2 — н-Бутан; 3 — н-Пентан; 4 — н-Гептан; 5 — н-Октан; 6 — Циклопентан;
7 — Бензол; 8 — Етилбензол; 9 — о-Ксилол; 10 — 2-Метилпропен; 11 — 2 Метил — 3-пентен; 12 — Циклогексен

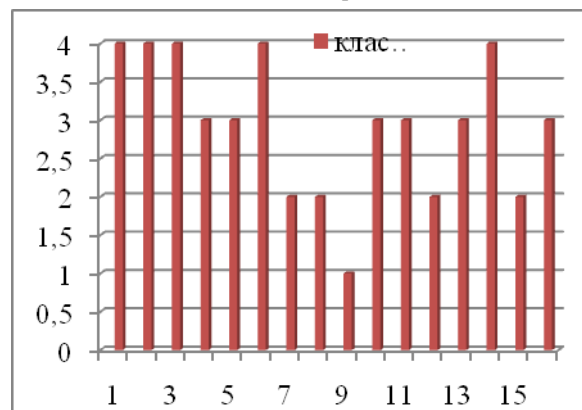


Рис. 3. Клас небезпеки індивідуальних вуглеводнів, що входять до складу бензинів:
1 — н-Бутан; 2 — н-Пентан; 3 — н-Гексан; 4 — 2,2-Диметилбутан (неогексан); 5 — 2,3-Диметилбутан (диізопропил);
6 — н-Гептан; 7 — 2,2-Диметилпентан; 8 — 3,3-Диметилпентан; 9 — 2,3-Диметилпентан; 10 — 3-Етилпентан;
11 — н-Октан; 12 — Бензол; 13 — Толуол; 14 — Ізопропілбензол (Кумол); 15 — 2,3-Диметил-2-пентен;
16 — 2,3-Диметил-1-гексен

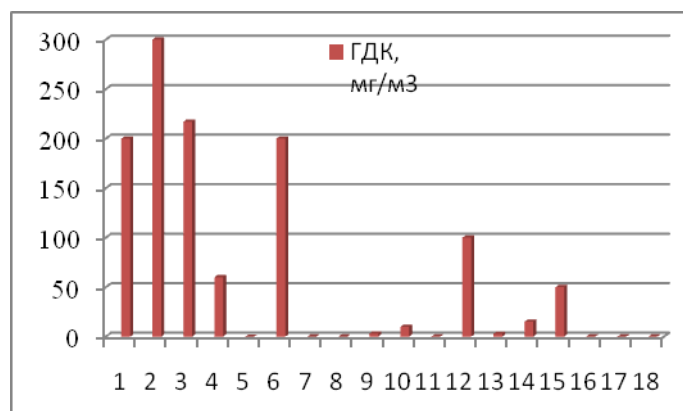


Рис. 4. ГДК індивідуальних вуглеводнів, що входять до складу бензинів:

1 — пропан; 2 — н-Бутан; 3 — н-Гексан; 4 — 2,2-Диметилбутан (неогексан); 5 — н-Гептан; 6 — 2,2-Диметилпентан; 7 — 2,2-Диметилпентан; 8 — 3,3-Диметилпентан; 9 — 3-Етилпентан; 10 — н-Октан; 11 — Циклопентан; 12 — Циклогексан; 13 — Метилциклогексан; 14 — Бензол; 15 — Толуол; 16 — Ізопропілбензол (Кумол); 17 — Диметил-2-пентен; 18 — 2,3-Диметил-1-гексен

На рис. 2-4 вибірково представлені індивідуальні вуглеводні, як типові представники основних груп вуглеводнів.

Токсичність та канцерогенність нафтових та синтетичних ПММ в наш час оцінюється за допомогою біологічних випробувань на тваринах. Методи оцінки можна поділити на короточасні з використанням великої дози речовини для визначення потенційної небезпеки та довготривалі (від двох тижнів до трьох місяців) з використанням менших доз. Методи другої групи корисні для ідентифікації можливих наслідків, що викликані повторними контактами з речовиною. Найбільш довготривалі методи — на протязі всього життя тварини — використовуються для оцінки можливості виникнення ракових та інших захворювань.

Токсичність нафти та її складових компонентів зростає за рахунок присутності сірки. Нафти, що мають у своєму складі мало ароматичних вуглеводнів, діють подібно сумішам парафінів та нафтенів — їх пари мають наркотичну дію, часто викликають судомний ефект. Сірчисті з'єднання нафти можуть бути причиною гострих та хронічних отруєнь. Найбільш небезпечними є сірководень, особливо небезпечне його з'єднання з вуглеводнями [17].

Парафінові вуглеводні мають найменшу, за виключенням олефінових вуглеводнів, токсичність у порівнянні з вуглеводнями інших груп. Вони володіють наркотичною дією.

При отруєнні парафіновими вуглеводнями спостерігається головний біль, сонливість, запаморочення, подразнення очей та верхніх дихальних шляхів. Багаторазове та довготривале потрапляння цих продуктів на шкіру викликає сухість та може призводити до дерматитів і екзем.

Усі парафіни відносять до 4 класу мало-небезпечних речовин. Для вуглеводнів від метану до октану ГДК парів у повітрі робочої зони — 300 мг/м³, для ізооктану — 100 мг/м³. Максимальна разова ГДК парів бутану, пентану і гексану в атмосферному повітрі відповідно 200, 100 і 60 мг/м³.

Метан CH₄, як джерело отруєння — невелике порівняно з його вибухонебезпечкою. Оскільки CH₄ легше повітря, то при втраті свідомості людина потрапляє в атмосферу з нормальним вмістом O₂, але небезпека отруєння все ж таки існує. CH₄ — сильний наркотик, тому при використанні необхідно дотримуватись певних мір обережності.

Етан C₂H₆ має наркотичну дію на людину.

Відомі гострі отруєння людей парами пропану C₃H₈. Симптоми отруєння: збудження, глухота, звуження зіниць, уповільнений пульс, блювота, довгий сон. На другий день невелике підвищення температури, зниження кров'яного тиску. При важкому отруєнні з тривалим наркозом можливі втрата пам'яті і пневмонія. C₃H₈ — сильний наркотик, але із-за мізерної його розчинності в крові він мало небезпечний. При хронічному отруєнні C₃H₈ не викликає тяжких органічних змін.

Бутан C₄H₁₀ володіє наркотичними властивостями. Максимально допустима разова концентрація C₄H₁₀ в повітрі населених місць 200 мг/м³. Людина відчуває запах C₄H₁₀ при його концентрації в повітрі 328 мг/м³. Відомі випадки отруєння людей при витоку газу.

Пентан C₅H₁₂. Запах пентану відчувається при концентрації парів 217 мг/м³. Концентрація 14900 мг/м³ при вдиханні протягом 10 хв не викликає клінічних ознак отруєння.

Максимально допустима разова концентрація C_5H_{12} у повітрі населених місць 100 мг/м^3 . Пентан злегка подразнює дихальні шляхи. Відомі випадки, коли C_5H_{12} викликав головний біль, сонливість, запаморочення.

Гексан C_6H_{14} має наркотичні властивості. Описані випадки розвитку поліневриту при систематичному контакті з парами гексану. При контакті зі шкірою викликає її сухість. Найвища концентрація парів C_6H_{14} , що переноситься протягом 8 год більшістю людей, становить 1900 мг/м^3 .

Гептан C_7H_{16} порівняно з гексаном має сильнішу наркотичну дію. При концентрації 0,1 % незначне запаморочення з'являється вже через 6 хв.

Октан C_8H_{18} за нормальних умов — безкольорова рідина. Слабо розчинна у воді. Октан — сильний наркотик, подразнює дихальні шляхи. При хронічному впливі октан не викликає тяжких отруєнь.

Ізооктан C_8H_{18} за нормальних умов — безкольорова рідина із специфічним запахом. Наркотична дія ізооктану виражена слабо. Пари ізооктану викликають легке подразнення очей і верхніх дихальних шляхів.

Олефінові вуглеводні діють на людський організм як сильні наркотики, хоча дещо слабкіші, ніж парафінові. Наркотична дія зростає при збільшенні числа атомів вуглеводню в молекулі. Найвищі члени ряду олефінів мають, наряду з наркотичними, різко виражену судорожну дію (гексен, гептен), а також подразнюючу дію на дихальні шляхи. Пари гексену діють наркотично з тією самою силою, що і пари гексану; пари гептену діють слабкіше парів гептану.

Нафтеніві вуглеводні. Загальна токсична дія нафтенівих вуглеводнів схожа з дією парафінових. Наркотична дія нафтенівих вище, ніж відповідних парафінових. Похідна циклогексану діє сильніше, ніж похідні циклопентану з тим же числом атомів вуглеводню в молекулі. По токсичності нафтеніві займають проміжне положення між парафіновими і ароматичними вуглеводнями.

Циклогексан C_6H_{12} має наркотичні властивості, подразнюючу дію на шкіру. ГДК парів циклогексану в повітрі робочої зони 100 мг/м^3 .

Метилциклогексан C_7H_{14} за нормальних умов — безкольорова рідина з запахом бензину. Запах C_7H_{14} сприймається при концентрації 3,9–1,8 мг/м^3 . Пари сильно подразнюють слизову оболонку, при потраплянні на шкіру викликає свербіж. При хронічному отруєнні відмічають зміни в крові, схожі з отруєнням бензолом.

Отруєння парами C_7H_{14} може бути, як правило, лише при несправній апаратурі, поганій вентиляції приміщення; в інших випадках небезпека отруєння невелика.

Легкі ароматичні вуглеводні порівняно з вуглеводнями інших гомологічних груп мають підвищену токсичність.

Бензол C_6H_6 за нормальних умов — безкольорова легко рухома рідина з характерним запахом. Має підвищену наркотичну дію. Отруйність парів бензолу значно вище, ніж парів бензину. Хронічне вдихання парів бензолу навіть при невеликих концентраціях може спричинити до тяжкого захворювання. Відповідно до ГОСТ 12.1.005, бензол належить до 2 класу високо небезпечних речовин; фізіологічно дуже активний. У великих концентраціях пари викликають ураження центральної нервової системи, також можуть викликати жирове переродження судинних стінок внутрішніх органів і тяжкі ураження кровоутворюючих органів (кісткового мозку), зниження згортання крові, підшкірні крововиливи і кровотечі.

Толуол C_7H_8 за нормальних умов — безкольорова рухома рідина. ГДК парів толуолу в повітрі робочої зони 50 мг/м^3 . Поріг сприйняття запаху толуолу $1,8 \text{ мг/м}^3$. ГДК в повітрі населених місць — $0,6 \text{ мг/м}^3$, у воді — $0,5 \text{ мг/дм}^3$. Пари толуолу при високих концентраціях діють наркотично, а також впливають на нервову систему, мають подразнюючу дію на шкіру і слизову оболонку носа, очей, горла. При гострому отруєнні толуолом з'являється головний біль, нудота, втрата свідомості.

Пропілбензол C_9H_{12} за нормальних умов — рідина. ГДК не встановлена, були лише дослідження токсичних властивостей C_9H_{12} на тваринах (білі миші) при введенні пропілбензолу в шлунок. Відмічалось збудження, швидко перехідне в пригнічення, загибель на 1–4 добу. При довготривалому надходженні C_9H_{12} в шлунок ($0,25 \text{ г/кг}$) проявляється тенденція до лейкоцитозу.

Ізопропілбензол (кумол) C_9H_{12} за нормальних умов — рідина, що має нерізкий своєрідний запах. Погано розчиняється у воді, змішується з органічними розчинниками. Мінімумально відчутна по запаху концентрація $0,025\text{--}0,1 \text{ мг/м}^3$. При гострому отруєнні діє сильніше, ніж бензол і толуол, наркоз настає повільніше, але продовжується довше, при інгаляції викликає гострі та хронічні ураження кровотворюючих органів (кістковий мозок, селезінка). ГДК в повітрі — $0,014 \text{ мг/м}^3$, у воді водоймі — $0,1 \text{ мг/дм}^3$ [18].

Викиди шкідливих речовин в атмосферу продовжує зростати. Асиміляція шкідливих речовин природним процесом не встигає за їх надходженням. Відбувається накопичення цих речовин в атмосфері, ґрунті, воді. Виникає загроза розвитку парникового ефекту, руйнування озонового шару Землі, накопичення канцерогенних та мутагенних продуктів, місцями випадають кислотні дощі. Усе це згубно впливає на навколишнє середовище, на сільськогосподарське виробництво, на здоров'я населення [19].

У складі продуктів згоряння рідких палив, отриманих з нафти, окрім кінцевих продуктів згоряння — CO_2 та H_2O , зазвичай присутні ще CO , SO_x , NO_x , не згорівши та утворивши знову багаточисленні вуглеводні C_nH_m , сажа та інші продукти.

Алкани, насичені вуглеводні (парафіни) — насичені ациклічні вуглеводні, що мають загальну формулу $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, їх також називають парафінами. Більшість їх хімічних реакцій з різними реагентами починається з розриву зв'язку C—H , тоді як їх розпад при високих температурах йде передусім по зв'язках C—C .

Алкани складають значну частину вуглеводнів нафт і природних горючих газів. Із нафти і горючих газів виділено всі алкани нормальної будови, від метану до тритриаконтану ($\text{C}_{33}\text{H}_{68}$) включно. Оскільки алкани містять максимально можливу кількість водню в молекулі, то вони характеризуються найбільшою масовою теплотою згоряння (енергоємністю), а з ростом кількості атомів масова теплота згоряння алканів зменшується (в метані 50207 кДж/кг). Внаслідок низької густини об'ємна теплота згоряння алканів менша, ніж вуглеводнів іншої будови з такою ж кількістю вуглецевих атомів у молекулі. За агрегатним складом алкани діляться на газоподібні ($\text{C}_1—\text{C}_4$), рідкі ($\text{C}_5—\text{C}_{17}$) і тверді (починаючи з C_{18}), що кристалізуються за температури 200 °С.

Алкани складають основну частину вуглеводнів нафт усіх родовищ і природних горючих газів. Загальний вміст алканів у нафтах переважно становить 25–30 % (без розчинених газів), з урахуванням розчинених вуглеводнів їх вміст підвищується до 40–50 %, а в деяких нафтах — до 50–70 %, хоч є нафти із вмістом алканів всього 10–15 %. З підвищенням середньої молекулярної маси фракцій нафти вміст у них алканів, як правило, зменшується.

Циклоалкани (нафтени) — вуглеводні з одним чи кількома вуглецевими циклами. Загальна формула C_nH_{2n} або $(\text{CH}_2)_n$.

Загалом циклоалкани подібні за фізичними властивостями до відповідних алканів, проте мають дещо вищу температуру плавлення та кипіння, більшу густину. Цим вони завдячують міцнішим силам Лондона, оскільки циклічна форма сприяє більшій поверхні міжмолекулярних контактів. Циклоалкани виказують практично таку саму хімічну пасивність, що й алкани (містять стійкі C—C та C—H зв'язки). Однак, циклічне напруження може сприяти підвищеній реактивності.

Алкени (олефіни), ненасичені ациклічні вуглеводні, що мають загальну формулу C_nH_{2n} . Легкі алкени, наприклад, етилен і пропілен — гази, що отримують з фракцій при крекінгу нафти. Алкени мають один подвійний зв'язок між атомами вуглецю, тому називаються *ненасиченими*. Інша назва ряду — олефіни (однак цим терміном позначаються також полієни).

Олефіни широко застосовуються для отримання полімерів, а також і для синтезу похідних олефінів: дихлороетану, етиленгліколю, ізопропілового спирту, ацетону, нітрилу акрилової кислоти та багатьох інших сполук, що мають велике значення [20].

Перші три члени ряду олефінів є газами, далі йдуть рідини, що не змішуються з водою; вищі олефіни — це тверді речовини. Зі збільшенням молекулярної маси підвищуються температура плавлення і кипіння. Алкени нормальної будови киплять при більш високій температурі, ніж їх ізомери, що мають ізобудову. Температура кипіння цис-ізомерів вище, ніж транс-ізомерів, а температура плавлення — навпаки.

Арени (ароматичні вуглеводні) — органічні сполуки, що належать до класу карбоциклічних сполук. У складі молекули ароматичних вуглеводнів є одна або кілька груп з 6 атомами вуглецю (Карбону), сполучених у кільце (бензенове ядро) замкненою системою пі-зв'язків. За сучасними уявленнями, атоми Карбону в бензеновому ядрі сполучені електронами двох типів: одні електрони містяться в площині молекули, інші розміщені перпендикулярно до неї.

Моноциклічні (одноколові: бензен, толуен) арени — безбарвні рідини зі специфічним запахом, леткі, вогнебезпечні, легші за воду, не розчиняються в ній. Добре розчиняються в органічних розчинниках, є розчинниками для багатьох органічних речовин.

Оксигенати — загальна назва нижчих спиртів і простих ефірів, що застосовуються, високооктанові компоненти моторних палив. Використання оксигенатів розширює ресурси палив і часто дозволяє підвищити їх якість.

Бензини з оксигенатів характеризуються поліпшеними миючими властивостями, характеристиками горіння, під час згоряння утворюють менше оксиду вуглецю і вуглеводнів.

Рекомендована концентрація оксигенатів в бензинах становить 3–15 % (об.) [21] вибирається з таким розрахунком, щоб вміст кисню в паливі не перевищував 2,7 %. Така кількість оксигенатів, незважаючи на їх більш низьку порівняно з бензином теплотворну здатність, не чинить негативного впливу на міцнісні характеристики двигунів.

Оксигенати як компоненти бензинів характеризуються перш за все октановими числами змішання, тиском насиченої пари, теплотворною здатністю.

Гіроскопічність оксигенатів впливає на фазову стабільність паливних сумішей, що містять оксигенати, що проявляється у вигляді помутніння палив за знижених температур.

Використовують спирти, прості ефіри, їх суміші та спиртовмісні відходи харчових та нафтохімічних виробництв.

Октанові числа змішання спиртів знижуються зі збільшенням довжини вуглеводневого радикала. (Метанол — Етанол — Ізопропанол — Ізобутанол).

Як добавки до бензинів метанол використовується нечасто. Цьому перешкоджає його токсичність, погана розчинність у вуглеводнях і висока гіроскопічність. Він негативно діє на матеріали ущільнювачі і корозійно агресивний по відношенню до кольорових металів.

Як добавки до палив етанол представляє більший інтерес, ніж метанол, так як краще розчиняється у вуглеводнях і менш гіроскопічний. Широко відомо застосування газохолу (суміш бензину з 10–20 % етанолу) в США і Бразилії, котра володіє великими ресурсами спирту, що виробляється з цукрової тростини. Етанол представляє інтерес в якості добавки до палива в країнах, багатих рослинними ресурсами. Добавка 5 % етанолу до бензину не призводить до погіршення експлуатаційних характеристик двигуна і не потребує попереднього регулювання карбюратора. Одночасно спостерігається істотне зниження викидів CO і невелике — вуглеводнів.

Катастрофічне забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння палив, виникнення парникового ефекту призвели до формування вимог до викидів двигунами токсичних продуктів [22].

Одним з найбільш важливих подій в галузі екологічної політики став 21-й Всесвітній

кліматичний саміт (COP 21), що проходив у Парижі в листопаді–грудні 2015 р. У результаті роботи COP 21 підписано підсумкову угоду, що зобов'язує всі країни вживати заходів щодо обмеження збільшення середньої температури планети не більше ніж на 2 °C по відношенню до середньої температури доіндустріальної епохи (до 1990 р.) [23]. Ця Угода замінить існуючий Кіотський протокол, дія якого обмежується 2020 р.

Основні положення Паризької Угоди:

– обмежити збільшення температури на рівні 2 °C, а також вживати всілякі зусилля по обмеженню збільшення температури до 1,5 °C;

– збільшити кліматичну стійкість та вживати заходи зі зниження викидів CO₂, не посилюючи при цьому проблему нестачі продовольства (мова йде про поступове припинення використання сільськогосподарських культур як сировини для біопалив),

– спрямувати фінансові потоки на стимулювання розвитку екологічно стійкого розвитку і підтримку технологій, що дозволяє скоротити викиди CO₂.

Відповідно до Угоди кожна країна повинна розробити і прийняти низку заходів, спрямованих на вирішення поставлених завдань, а також посилити багатобічну взаємодію і співпрацю.

За токсичними властивостями вуглеводні дуже різні.

Однак до цього часу питання токсичності вуглеводнів недостатньо вивчене і нормування їх вмісту у відпрацьованих газах здійснюють сумарно.

Контролювання повітря робочої зони під час роботи з бензинами проводять за наявності парів вуглеводнів (ГДК = 300 мг/м³, 4 клас небезпеки згідно з ГОСТ 12.1.005), бензину (ГДК = 100 мг/м³, 4 клас небезпеки згідно з ГОСТ 12.1.005), оксиду вуглецю (ГДК = 20 мг/м³, 4 клас небезпеки згідно з ГОСТ 12.1.005).

Токсичність зумовлюється хімічним і фракційним складом палив.

Для попередження забруднення навколишнього природного середовища й забезпечення безпеки встановлено єдині гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин. ГДК шкідливих речовин в атмосфері — максимальна концентрація шкідливих речовин, що відноситься до визначеного періоду усереднення: 30 хв, 24 год, місяць, рік, не спричиняючи при регламентованій вірогідності її появи ні прямого, ані непрямого впливу на організм людини, не знижуючи діяльність людини і не погіршуючи її самопочуття [24].

Токсичність і пожежонебезпеку нафтових палив відносять до 4 класу згідно ГОСТ 12.1007-76 за ступенем впливу на організм. Клас небезпечності шкідливих речовин встановлюють залежно від норм і показників стандартів.

Найнебезпечнішим є отруєння паром палив через органи дихання з повітрям. Пара легко проходить через альвеоли легенів і потрапляє безпосередньо у коло кровообігу, минаючи печінку, що відіграє важливу роль у затримці й знешкодженні токсичних речовин [25].

Екологічні властивості ПММ виявляються при взаємодії продуктів з навколишнім середовищем, тобто при контакті з засобами механізації в умовах зберігання, транспортування, перекачування та фільтрування, а також при контакті з атмосферою, водою, людиною, тваринами і рослинним світом. Від якості ПММ залежить надійність роботи двигунів та машин загалом, а отже, витрати на їх обслуговування і ремонт [26].

Сила отруйної дії палива й оливо залежить від властивостей продукту, його концентрації та тривалості впливу, а також від шляхів проникнення в організм, зовнішніх умов, у яких виконується робота, й індивідуальних особливостей людини. Паливо та олива можуть потрапити в організм людини крізь дихальні шляхи, шкіру, органи травлення і слизові оболонки очей.

Найбільш небезпечно, коли пари палива чи оливи потрапляють крізь дихальні шляхи, оскільки з легень отруйні речовини легко надходять у кров.

При цьому отрута потрапляє у велике коло кровообігу, минаючи печінковий бар'єр, і діє у 20 разів швидше [27].

Наведені вище данні зумовлюють необхідність пошуку шляхів скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу. Найбільш широко використовуються пристрої по управлінню й нейтралізації шкідливих речовин.

Найважливішим рішенням екологічних проблем в хімотології ПММ слід вважати покращення якості товарних продуктів, розробку нових, екологічнобезпечних палив та мастильних матеріалів [28].

На сьогодні розробляються авіаційні бензини з вмістом етанолу. Оскільки він є наймасовішим продуктом серед аліфатичних спиртів. Етанол найбільше підходить для застосування на практиці за рахунок великого обсягу виробництва і низької токсичності. У порівнянні з метанолом він краще розчиняється у вуглеводнях. Завдяки етанолу бензин збагачується киснем та сприяє більш повному згорянню палива.

Сьогодні одним з найбільш перспективних добавок аліфатичних спиртів виступає біобутанол. Оскільки в ході аналізу літератури було встановлено, що він є найменш агресивним до конструкційних деталей двигуна, володіє найбільшою стабілізаційною дією по відношенню до спирто-бензинових сумішей, має октанопідвищуючі властивості та дозволяє зменшити кількість токсичних викидів [29].

Використання біопалива веде до покращення екологічних характеристик двигунів внутрішнього згорання: із збільшенням вмісту етанолу у паливі знижується концентрація токсичних речовин (CO, NO₂, SO₂, CH₂O) у вихлопних газах.

До складу палив входять вуглеводневі та не вуглеводневі (гетероатомні) сполуки різних класів, що визначають фізико-хімічні та експлуатаційні властивості палив (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика фізико-хімічних властивостей традиційних та альтернативних палив

Найменування показника	Авіаційний бензин марки Б91/115	Автомобільний бензин	Метанол	Етанол	Бутанол	Водень
Густина за температури 20 °С, кг/м ³	Не нормується	740–760	792	789,3	810	70
Температура кипіння, °С	40–180	35–200	64,5	78,4	117,5	Мінус253
Температура застигання, °С	Мінус 60	Мінус 60	Мінус 98	Мінус 114,1	Мінус 90,2	Мінус 259
Масова доля кисню, %	–	–	50	34,7	21,6	–
Теплота згорання, кДж/кг	42947	41000–44000	24000	26945	35520	11820
Теплота випаровування, кДж/кг	Не нормується	200	1115	839,3	591,2	48
Тиск насиченої пари, кПа	29,3–47,9	45–80 (у літній період)	–	17	8,4	–

Закінчення табл. 3

Найменування показника	Авіаційний бензин марки Б91/115	Автомобільний бензин	Метанол	Етанол	Бутанол	Водень
Розчинність у воді за температури 20 °С, %	Не розчиняється	Не розчиняється	Необмежено	Необмежено	7,9	–
Октанове число: - за дослідним методом - за моторним методом	Не визначається 91	80–98 –	111 94	108 92	99,6 94	30–40 Не визначається
Кінематична в'язкість за температури 20 °С, мм ² /с	Не визначається	0,5–0,7	–	1,52	3,64	–
Гранична норма вмісту в бензині згідно EN 228:2000	–	–	3 %	5 %	7–10 %	–

Додавання аліфатичних спиртів до складу палив змінює їх властивості: підвищується октанове число, дозволяє знизити вміст ароматичних вуглеводнів. Результати свідчать, що 25 % концентрації етанолу C₂H₅OH є оптимальною для використання у двигунах внутрішнього згорання [30].

Встановлено, що із збільшенням октанового числа концентрація токсичних газів у вихлопі зменшується, чим поліпшуються екологічні властивості.

Висновки

Таким чином, аналіз екологічних властивостей компонентів традиційних і альтернативних авіаційних бензинів призведе до поліпшення екологічної чистоти та, у свою чергу, зниження викидів CO₂ та інших шкідливих речовин, що знаходиться у контексті основних положень Паризької угоди. Проаналізувавши екологічні властивості компонентів традиційних і альтернативних авіаційних бензинів, можна дійти висновку висновки, що зі зменшенням ароматичних вуглеводнів у складі бензинів, насичуючи їх, наприклад, оксигенатами, можна покращити склад авіаційних бензинів, тим самим покращити екологічну чистоту, зменшити утворення оксиду вуглецю та вуглеводнів під час згорання. Тобто значно зменшити рівень техногенного навантаження на довкілля.

Також результати виконаного аналізу спонукають до подальшого поглиблення наукового пошуку для удосконалення, оптимізації компонентного складу традиційних і альтернативних авіаційних бензинів з метою підвищення рівня їх екологічної чистоти, в цілому екологічних

властивостей, що спрямовано на суттєве поліпшення екологічної ситуації та екологічної безпеки авіаційного транспорту

ЛІТЕРАТУРА

- 1. Богомолов Л. И.,** Гайле А. А., Громова В. В. и др. Химия нефти и газа: Учеб. пособие для вузов, 3-е изд., доб. и испр. СПб: Химия, 1995. 448 с.
- 2. Кулик Н. С.,** Аксенов А. Ф., Яновский Я. С., Бойченко С. В., Запорожец А. И. Авиационная химмотология: топлива для авиационных двигателей. Теоретические и инженерные основы применения. К.: НАУ, 2015. 610 с.
- 3. Яновский Л. С.,** Дубовкин Н. Ф., Галимов Ф. М. и др. Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань, 2005. 714 с.
- 4. Садовникова Л. К.,** Орлов Д. С., Лозановская И. Н. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении, 3-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 2006. 334 с.
- 5. Андрійшин М. П.,** Марчук Я. С., Бойченко С. В., Рябоконт Л. А. Газ природний, палива та оливи. Монографія. Одеса: Астропринт, 2010. 232 с.
- 6. Давыдова С. Л.,** Тагасов В. И. Нефть как топливный ресурс и загрязнитель окружающей среды: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во РУДН, 2004. 131 с.
- 7. Гончарук Е. И.,** Сидоренко Т. И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почвах. М.: Медицина, 1986. 304 с.
- 8. Смольникова В. В.,** Емельянов С. А., Дементьев М. С. Воздействие углеводородов нефти на окружающую среду и способы очистки нефтезагрязненных субстратов. *Известия Саратовского научного центра Российской академии наук.* 2009. Т. 11. № 1(6). С. 23–35.

9. **Химические технологии** / под ред. П. Д. Саркисова. М.: РХТУ, 2003. 680 с.
10. **Мановян А. К.** Технология первичной переработки нефти. М.: Химия, 2001. 345 с.
11. **Бойченко С. В., Спіркін В. Г.** Вступ до хімотології палив та олів: навч. посібник: у 2-х ч. Одеса: Астропринт, 2009. Ч. 1. 236 с.
12. **Данилов А. М.** Применение присадок в топливах: справочник. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2010. 368 с.
13. **Дрогичина Э. А.** Профессиональные болезни нервной системы. Л., 1968. 215 с.
14. **Бойченко С. В.** Рациональне використання вуглеводневих палив. К.: НАУ, 2001. 216 с.
15. **Давыдова С. Л., Тагасов В. И.** Нефть и нефтепродукты в окружающей среде: учеб. пособие. М.: Изд-во РУДН, 2004. 163 с.
16. **Бойченко С., Пушак А., Топільницький П., Лейда К.** Моторні палива: властивості та якість: підручник. К.: Центр учбової літератури, 2017. 326 с.
17. **Канило П. М., Костенко К. В.** Анализ эффективности использования альтернативных топлив на автотранспорте / ISSN 0131-2928. *Проблеми машиностроєння*. 2011. Т. 14. № 1. С. 14–21.
18. **ГОСТ 14710-78.** Тoluол нефтяной. Технические условия. Введ. 1980-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 5 с.
19. **Витришак С. В., Бондаренко В. В., Изоркина И. И., Гаврик С. Ю., Бондаренко М. В., Санина Е. В.** Воздействие толуола на организм человека и меры профилактики. *Український журнал клінічної та лабораторної медицини*. 2013. Т. 8. № 2. С. 12–16.
20. **Стаскевич Н. Л.** Справочник по сжиженным углеводородным газам. М., 2004. 237 с.
21. **Кнуянц И. Л.** Краткая химическая энциклопедия. Том 1. М.: Сов. энцикл., 1965. 1182 стр.
22. **Гольберг В. М., Зверев В. П., Арбузов А. М. и др.** Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. М.: Наука, 2001. 378 с.
23. **Маркизова Н. Ф., Гребенюк А. Н., Башарин В. А.** Токсикология нефтепродуктов. М., 2003. 145 с.
24. **Глинка Н. Л.** Общая химия: учеб. пособие для вузов, изд. 28-е. М.: Интеграл-Пресс, 2000. 728 с.
25. **Панькова В. Н.** Экология и природопользование: Словарь — справочник. Новосибирск. 2001. 453 с.
26. **Russel T. J., Batt R. J., Mulqueen S. M.** Technische Akademie Esslingen 3rd Int. Colloquim «Fuel-2000». (Jan. 17–18 2001, Ostfildern). 2001. P. 34–40.
27. **Климентова Г. Ю., Маврин В. Ю.** Низкотемпературные свойства растворов углеводородов с оксигенатами. М., 2001. 476 с.
28. **Евдокимов А. Ю.** Единство естественнонаучного и гуманитарного подходов в решении проблем экологии (на примере химмотологии смазочных материалов). *Наука и технологии в промышленности*. 2011. №4. С. 99–104.
29. **Бойченко С. В.** Причинно-наслідковий аналіз модифікації складу авіаційних бензинів // Науково-технічний збірник «Вісник національного транспортного університету». 2015. Т.32. №2. С. 3–13.
30. **KahitinSh., Oguma M., Mori T.** SAE Tehn. Pap./ ISSN 972978. Ser. 1997, Vol. 1. p. 1–7.

Бойченко С. В., Павлюх Л. І., Шкільнюк І. О., Яковлева А. В., Матвеева І. В., Гудзь А. В. АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОНЕНТІВ ТРАДИЦІЙНИХ І АЛЬТЕРНАТИВНИХ АВІАЦІЙНИХ БЕНЗИНІВ

Стаття присвячена аналізу екологічних властивостей компонентів авіаційних бензинів та обґрунтуванню їх оптимального компонентного складу для забезпечення достатніх експлуатаційних та екологічних властивостей. Під час дослідження розглянуто техногенний вплив процесів видобування та переробки нафти. Розглянуто процес переробки нафтової сировини та виробництва авіаційних бензинів. У представленій статті наведено екологічні властивості традиційних та альтернативних авіаційних бензинів. Показано вплив індивідуальних вуглеводневих компонентів, що містяться у бензинах на їх екологічні властивості, а також рівень токсичності вуглеводневих компонентів. Встановлено, що із зменшенням вмісту ароматичних вуглеводнів у складі бензинів, насичуючи їх оксигенатами, можна покращити склад авіаційних бензинів. Це допоможе зменшити рівні утворення оксиду вуглецю та неспалених вуглеводнів під час згорання. Показано, що зі збільшенням октанового числа концентрація токсичних газів у вихлопі зменшується, чим поліпшуються екологічні властивості. Використання біопалива веде до покращення екологічних характеристик. Розроблено та проаналізовано порівняльну характеристику фізико-хімічних властивостей традиційних автомобільних та авіаційних бензинів та деяких оксигенатів, таких як метанол, етанол та бутанол, а також водень. Показано, що додавання оксигенатів, зокрема етанолу до складу авіаційного бензину допомагає підвищити його октанове число, таким чином справляючи позитивний ефект на експлуатаційні властивості поршневих авіаційних двигунів, а також поліпшуючи склад відпрацьованих газів у результаті згорання авіаційного бензину. Запропоновано оптимальний вміст етанольного оксигенату у складі авіаційного бензину — 25%. У результаті роботи зроблено висновок, що застосування оксигенатів поліпшує екологічні характеристики альтернативних авіаційних бензинів. Це також поліпшує експлуатаційні властивості авіаційних бензинів та мінімізує вплив авіаційної галузі на довкілля.

Ключові слова: авіаційний бензин, екологічні характеристики, оксигенати.

Boichenko S. V., Pavliukh L. I., Shkilniuk I. O., Matvieieva I. V., Yakovlieva A. V., Hudz A. V.
ANALYSIS OF ECOLOGICAL PROPERTIES OF TRADITIONAL AND ALTERNATIVE AVIATION GAS COMPONENTS

The work is devoted to the analysis of environmental properties of aviation gasolines and substantiation of its optimal component composition for providing sufficient exploitation and environmental performance. During the study the technogenic impact of processes of oil extraction and processing was considered. The processes of oil refining and aviation gasolines production were analyzed. Environmental properties of conventional and alternative aviation gasolines were analyzed in the presented article. The influence of individual hydrocarbon components, found in gasolines, on its environmental properties as well as level of toxicity of hydrocarbon components was shown. It was found that decreasing of aromatic hydrocarbons content in gasolines with simultaneous application of oxygenate, can improve the composition of aviation gasolines. It can help to reduce formation of carbon monoxide and unburned hydrocarbons emissions during combustion. Increasing of octane number causes reduction of toxic gases concentration in emissions; thus environmental properties of aviation gasolines are improved. Later the comparative characteristics of physical-chemical properties of conventional aviation and motor gasolines, some oxygenates, such as methanol, ethanol and butanol, and hydrogen was developed and analyzed. It was found that adding oxygenates, mainly ethanol, into the composition of alternative aviation gasoline helps improving its octane number, thus it will have positive effect on exploitation of aviation internal combustion engines, as well as improving exhaust gases composition in a result of gasolines combustion. It was proposed the optimal content of ethanol oxygenate in the composition of aviation gasoline — 25 %. In a result of the work it was concluded that using of oxygenates improves environmental properties of alternative aviation gasolines. This may contribute to improving of exploitation properties of aviation gasolines and also minimization of aviation industry impact on environment.

Keywords: aviation gasoline, environmental characteristics, oxygenates.

Бойченко С. В., Павлюх Л. И., Шкільнюк І. О., Яковлева А. В., Матвеева І. В., Гудзь А. В.
АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОНЕНТОВ ТРАДИЦИОННЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ БЕНЗИНОВ

Статья посвящена анализу экологических свойств компонентов авиационных бензинов и обоснованию их оптимального компонентного состава для обеспечения достаточных эксплуатационных и экологических свойств. В ходе исследования рассмотрено техногенное воздействие процессов добычи и переработки нефти. Рассмотрен процесс переработки нефтяного сырья и производства авиационных бензинов. В представленной статье приведены экологические свойства традиционных и альтернативных авиационных бензинов. Показано влияние индивидуальных углеводородных компонентов, содержащихся в бензинах на их экологические свойства, а также уровень токсичности углеводородных компонентов. Установлено, что с уменьшением содержания ароматических углеводородов в составе бензинов, насыщая их оксигенатами можно улучшить состав авиационных бензинов. Это поможет уменьшить уровни образования оксида углерода и несгоревших углеводородов при сгорании. Показано, что с увеличением октанового числа концентрация токсичных газов в выхлопе уменьшается, чем улучшаются экологические характеристики. Использование биотоплива ведет к улучшению экологических характеристик. Разработана и проанализирована сравнительная характеристика физико-химических свойств традиционных автомобильных и авиационных бензинов и некоторых оксигенатов, таких как метанол, этанол и бутанол, а также водород. Показано, что добавление оксигенатов, в частности этанола в состав авиационного бензина помогает повысить его октановое число, таким образом оказывая положительный эффект на эксплуатационные свойства поршневого авиационного двигателя, а также улучшая состав отработавших газов в результате сгорания авиационного бензина. Предложено оптимальное содержание этанольного оксигената в составе авиационного бензина — 25 %. В результате работы сделан вывод, что применение оксигенатов улучшает экологические характеристики альтернативных авиационных бензинов. Это также улучшает эксплуатационные свойства авиационных бензинов и минимизирует влияние авиационной отрасли на окружающую среду.

Ключевые слова: авиационный бензин, экологические характеристики, оксигенаты.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2019 р.
Прийнято до друку 31.05.2019 р.