

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

О. В. Іванченко — асистент
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0003-2375-8802
E-mail: akairon@bigmir.net

А. В. Яковлева — канд. техн. наук, асистент
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-7618-7129
E-mail: a.v.iakovlieva@ukr.net;

РЕЦИКЛІНГ І УТИЛІЗАЦІЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ: СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ

Вступ

Стрімкі процеси євроінтеграції та прийняті міжнародні екологічні стандарти змушують усі підприємства авіаційної галузі активізувати свою діяльність щодо зниження негативного впливу на довкілля. Загострення глобальної еколого-економічної ситуації, пов'язане з деградацією довкілля, виснаженням природних ресурсів і змінами клімату на Землі, засвідчило, що всім державам, у т. ч. й Україні, потрібні принципово нові підходи до проведення внутрішньої і зовнішньої економічної політики, за допомогою яких можна сформулювати вдосконалену стратегію взаємовідносин суспільства і природи в умовах ринкової економіки і, таким чином, реалізувати задекларовані на Конференції ООН з довкілля і розвитку (Ріо-92) та Паризької угоди (набрала чинності 4 листопада 2016 року) всесвітньо визнані принципи сталого розвитку.

Відповідно до цих принципів останнім часом у світі спостерігається стійка глобальна тенденція впровадження екологічно чистих і енергоефективних технологій.

На сьогодні проблема утилізації і рециклінгу компонентів літальних апаратів (ЛА), що відпрацювали свій ресурс, є однією з головних для всієї аерокосмічної галузі. З кожним роком все більша кількість аерокосмічної техніки (АКТ) накопичується на різних майданчиках, займаючи і забруднюючи великі площі земельних ділянок.

Тому питання правильного поводження з авіаційними транспортними засобами (ТЗ), що вийшли з експлуатації, впровадженням процесів утилізації та авіарециклінгу стає все актуальнішим.

Метою даної праці є аналіз існуючих методів і технологій, спрямованих на раціональне і правильне поводження з відпрацьованими авіаційними ТЗ. Виявлення світових тенденцій та обґрунтування перспектив впровадження утилізації списаних ЛА і рециклінгових програм в авіаційній галузі.

Об'єктом даної праці є утилізація та рециклінг авіаційної техніки.

Предметом — життєвий цикл ЛА як основної структурної одиниці транспортної авіаційної системи. Технології утилізації та рециклінгу ЛА в авіаційно-технічному комплексі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останні роки опублікована низка наукових праць, що вивчають ефективність рециклінгових програм, а також екологічний, етичний, економічний, технічний та технологічний аспекти цього питання.

Розробками у сфері планування загальнодержавних рециклінгових програм займався Дж. Вінстон Портер. Німецький хімік М. Браунгардт та американський учений-економіст Дж. МакДонах розробили економічні концепції ефективності впровадження рециклінгу та утилізації у ви-

робництво з позицій реверсивної логістики та управління життєвим циклом (ЖЦ) продукції [1, с. 24–27; 2, с. 114–115].

Починаючи з 80-х рр. ХХ-го ст. проблема поводження з авіаційними ТЗ набуває все більшої актуальності у зв'язку з накопиченням великої кількості списаної авіаційної техніки, зберігання якої пов'язане з додатковими витратами на консервацію та оренду площ.

Із закінченням терміну зберігання потенційно небезпечних видів авіаційної техніки різко зростає ризик виникнення надзвичайних ситуацій, що ускладнює процес подальшого правильного поводження з ними [3, с. 235–236, 4, с. 178, 5, с. 256]. На світовому ринку, згідно з прогнозами компанії Airbus, на період з 2009 по 2028 роки буде відправлено на списання до 8453 одиниць ЛА.

На підставі звіту компанії Boeing, потенційний ринок для утилізації літаків буде складати близько 6 тисяч одиниць.

З 1990 по 1999 рр. в рік списувалося в середньому 170 комерційних авіалайнерів, згідно з даними агентства ICF International. У наступне десятиліття ця кількість збільшилась до 400 повітряних суден на рік, до 2023 р. за прогнозами в

середньому 750 літаків будуть списуватися щорічно, в перспективі — до 1000 [6, с. 76].

У США для цивільних літаків, чий термін експлуатації підійшов до кінця, останнім придулом слугує аеропорт «Мохаве» (рис. 1), розташований в пустельній східній частині американського штату Каліфорнія. Ось уже кілька десятиліть сюди звозять авіалайнери і тримають їх в спекотній пустелі до подальшого розділення і переробки.

Колекція списаних бойових літаків знаходиться в штаті Арізона на авіабазі «Девіс-Монте» (рис. 2) (англ. Davis-Monthan Air Force Base). Полігон обслуговується 309 групою підтримки і відновлення повітряної техніки ВПС (військово-повітряних сил) США (309th Aerospace Maintenance and Regeneration Group (309 AMARG)). Крім стройових авіачастин (355-е винищувальне авіакрило) і штабів (12-е командування ВПС США), на базі «Девіс-Монте» зберігається на консервації, ймовірно, найбільший парк авіатехніки в світі — більше 4400 одиниць, складовано і сорок космічних кораблів. Близько 700 одиниць із загальної кількості це винищувачі «McDonnell Douglas F-4 Phantom II».



Рис. 1. Найбільше кладовище комерційних літаків у США, аеропорт в пустелі Мохаве (Air and Space Port), Каліфорнія, США



Рис. 2. Авіабаза ВПС США «Девіс-Монте» розташована в межах міста Тусон, штат Арізона

База була заснована в 1925 р. і названа на згадку про жителів м. Тусон, військових льотчиків Першої світової війни Семюеля Девісі і Оскара Монтеня. Проте історія цього полігону почалася в 1949 р., коли в пустелю були відправлені перші списані бомбардувальники В-29. Щорічно на базу надходить близько 400 од. військової техніки. На сьогодні площа полігону перевищує 10 км², а сумарна вартість майна авіабази перевищує тридцять п'ять мільярдів доларів [7–8, 9, с. 114].

Аеродром «Мохаве» і авіабаза «Девіс-Монте» це лише кілька прикладів існуючої на сьогодні глобальної проблеми, що пов'язана з відсутністю впровадження ефективних програм і сучасних високотехнологічних способів утилізації «сталених птахів». Що в свою чергу, призводить до загострення, досить складної, екологічної ситуації у цілому.

Виклад основного матеріалу

Літакобудування як вид економічної діяльності за змістом є інноваційно-орієнтованим. Проте оскільки діяльність авіабудівних підприємств пов'язана із забрудненням навколишнього природного середовища, то авіаційне та авіаремонтне виробництво відносять до екологічно небезпечного.

Сучасний розвиток еколого-економічної діяльності повинен охоплювати не тільки виробництво екологічно чистої продукції, а й впровадження нових технологій з ресурсозбереження, раціонального використання існуючих ресурсів, використання у виробничому процесі твердих відходів виробництва, заміною матеріалів на нові — екологічно безпечні [10, с. 221–223; 11, с. 46–48]. Вказані напрями еколого-економічної діяльності пов'язані із здійсненням інноваційних розробок, їх експериментальним впровадженням та подальшим використанням у виробництві.

У свою чергу, це потребує значних обсягів фінансування та розробки відповідної стратегії.

Як і будь-який продукт, літак знецінюється з часом. Зниження вартості виникає з цілої низки факторів, у тому числі, збільшення вартості обслуговування, ремонт та модернізація відповідно до законодавства. На якомусь етапі, технічне обслуговування, ремонт і модернізація стають нерентабельними, і в цей момент власник буде розглядати питання про зняття літака з експлуатації.

У багатьох випадках, списані літаки, будуть містити цінні компоненти і деталі, що можуть бути повернуті для обслуговування через вторинний ринок запчастин або впровадження процесів авіарециклінгу та комплексної утилізації авіаційної техніки [12, 13, с. 311–314].

У середині грудня 2014 р. в м. Штутгарт (Німеччина) пройшов перший Міжнародний симпозиум з утилізації повітряного транспорту (International Symposium on Aircraft Recycling). Згідно з оприлюдненими на заході даними, понад 25 % парку цивільних літаків буде виведено з експлуатації в найближчі 15 років. Звідси гостро постає питання правильного поводження зі списаними ПС.

Досвід компанії «Aeroturbine» показав, що утилізація «Boeing-747» може принести значні доходи. На борту лайнера знаходиться більше 6 млн різних деталей, 66 т. високоякісного алюмінію, 30 % деталей, вузлів і конструкцій продовжуватимуть працювати на інших ПС.

За оцінками компанії «Aeroturbine» утилізація таких великих літаків займає майже два тижні.

У сукупності дохід компанії може становити до 6,8 млн дол. США [14, с. 21–22].

В Україні практика утилізації свідчить про те, що тільки 10–15 % вартості утилізованої техніки реабілітується, порівняно з 60–70 % у світі [15, 16 с. 247–249].

Так, утилізація літака середнього класу дає відносно його загальної ваги 60–70 % алюмінію і його сплавів, 10–15 % сталі, 10 % — композиційних матеріалів та коштовних металів, у тому числі титану. Собівартість утилізації значно нижча за вартість нових металів і матеріалів.

Світовим лідером у сфері правильного поводження з авіаційними транспортними засобами, що вийшли з експлуатації є Асоціація з утилізації парку ПС (Aircraft Fleet Recycling Association (AFRA) заснована в 2006 р. До Асоціації входять провідні європейські компанії та заокеанські корпорації серед яких Boeing, Bombardier, Embraer, Rolls-Royce та ін.

Розташований у французькому місті Шатору, центр AFRA працює над тим, щоб підвищити продуктивність авіаційної галузі та зробити демонтаж літальних апаратів екологічно безпечним і економічно вигідним.

AFRA розроблено спеціальну процедуру демонтажу, що дозволяє швидко виділити цінні сплави і метали. Провідні спеціалісти Асоціації працюють над детальним вивченням системи життєзабезпечення літака і розмірковують над тим, як у майбутньому забезпечувати її виключно з матеріалів, які можна буде повторно використовувати.

Відповідно до них процедура розбирання літака відбувається в три етапи, спочатку з різних резервуарів видаляються рідини і газоподібні речовини, багато з яких дуже токсичні. Потім проводиться демонтаж обладнання з метою виокремлення всіх деталей, які можуть бути повтор-

но використані. І нарешті, літак повністю розчленовується, але до цього видаляють ті його частини, де містяться цінні сплави і метали.

Головне завдання AFRA — забрати все найцінніше, а саме: шасі, двигун, допоміжну силову установку, потім все, що відноситься до авіаелектроніки, систему кондиціонування повітря і таке інше, щоб запропонувати все це на ринку старих деталей.

У Шатору, витягнуті зі списаних ЛА комплектуючі проходять спеціальну перевірку і потім відправляються на заводи, де їх розбирають і, цілком або частинами, монтують в нові літаки [12, 13, 17–18].

У життєвому циклі ЛА (шлях, який проходить ЛА за час свого існування) можна виділити такі основні етапи (рис. 3).

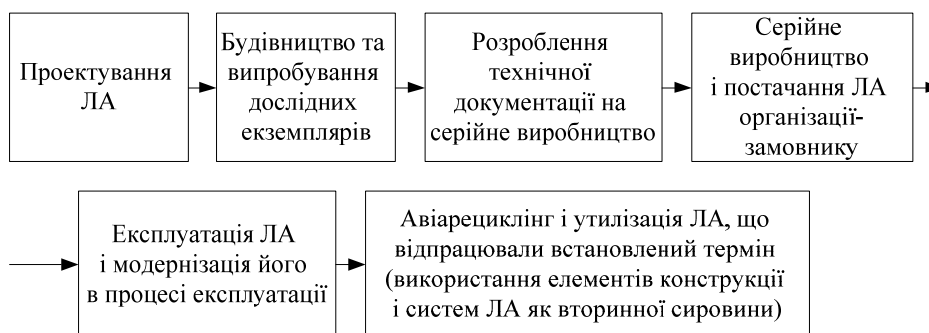


Рис. 3. Основні етапи життєвого циклу ЛА

Кожна стадія життєвого циклу літака формує відповідну область, у якій ця стадія реалізується. Галузь зі своїми характерними принципами, законами, структурою і організацією — тобто, специфічними умовами, які визначають процес реалізації цілей і завдань даної галузі, і, в кінцевому підсумку, повноцінність реалізації відповідної стадії життєвого циклу. Як буде проходити процес реалізації — визначає те, як сформована (наскільки повноцінно) і як функціонує відповідна організаційна структура кожної галузі. Етап експлуатації літака є визначальним етапом для всього його життєвого циклу. Етапи авіарециклінгу і утилізації замикають процес реалізації життєвого циклу в єдине ціле, замикають всю систему, і, тим самим, забезпечують не тільки її «стійкість» (повноцінність), але і розвиток самої системи.

Проблема правильного поводження з авіаційними транспортними засобами (ТЗ), що вийшли з експлуатації виникла відносно недавно, з нею зіткнулися всі розвинені країни.

Рішення про виведення літаків з експлуатації в багатьох державах не є однозначними. Так, у США більшість літаків, випущених після Другої світової війни, містяться в законсервованому стані, багато з них готові до експлуатації. Європейські урядові органи намагаються виробити таку систему взаємин з компаніями, що займаються утилізацією і рециклінгом, що б робила ці процеси економічно вигідними всім учасникам. Сьогодні Китай, передбачаючи швидку зміну нинішнього авіаційного парку, вкладає 2 млрд дол. США в будівництво заводу, здатного за рік

переробляти 50 од. техніки. Вітчизняні фахівці і керівники галузі розходяться у виборі єдиного шляху використання літаків, що відпрацювали свій ресурс. Сотні одиниць авіаційної техніки досі експлуатуються, незважаючи на крайній ступінь зношеності. Частина ПС за минулі роки була модернізована: на них були замінені силові агрегати, оновлена електронна і програмна начинка. Переобладнання, переважно, торкнулося військових літаків. Пасажирський авіапарк, що не відповідає стандартам ЄЕС (Європейське Економічне Співтовариство), з 2002 р. підлягає повній утилізації [11 с., 48–50].

Літак, як і будь-який інший технічний об'єкт машинобудування, є об'єктом проектування і являє собою складну технічну систему з розвинутою ієрархічною структурою. При системному підході, вирішення завдань певного ієрархічного рівня, вимагає побудови усєї ієрархії системи. Тому необхідно розглядати системи і підсистеми літака більш високих ієрархічних рівнів, наприклад, транспортну систему і її підсистему — авіаційно-технічний комплекс (АТК). У свою чергу, літак розглядається як вихідна (базова) підсистема, де можна виділити за рівнями ієрархії такі підсистеми, як планер, силові установки, спорядження, обладнання, авіоніку, систему шасі і т. д. Кожна з цих підсистем при проектуванні піддається декомпозиції, тобто поділяється на низку ще більше дрібних підсистем (складових), елементів, агрегатів і вузлів.

Графічно ієрархічну структуру літака по укрупненим агрегатам можна, можливо уявити у вигляді граф-дерева (рис. 4).

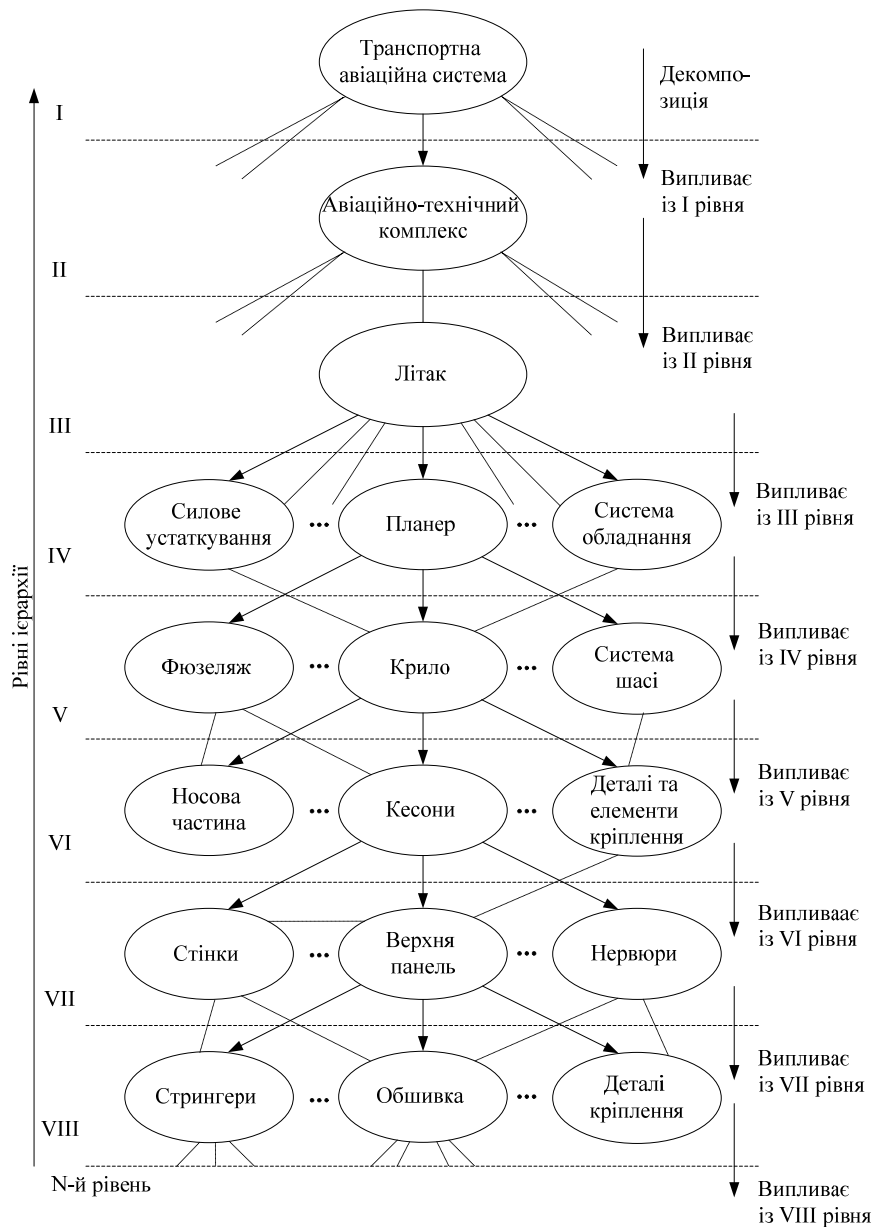


Рис. 4. Фрагмент граф-дерева ієрархічної структури літака

Літак складається з мільйонів компонентів (деталей), які після списання машини повинні підлягати подальшій переробці. Іншими словами, літак — це величезна кількість металевих і композиційних деталей, що мають синхронно летіти на швидкості 900 км/год (0,85 від швидкості звуку, це типова швидкість Boeing-787 Dreamliner) на висоті 10 км. Тобто пара-трійка мільйонів деталей виготовляється і збирається в один виріб — і літак летить, забезпечуючи комфорт пасажиром і прибуток власникам. Але по завершенню терміну експлуатації ЛА сам літак і його деталі стають відходами. Деякі з них утилізують за допомогою автоматизованих комплексів, деякі вимагають великої кількості ручної праці. Частина авіаційних відходів спрямовується на звалища назавжди. Якась частка відходів тимчасово складається

в очікуванні виникнення відповідних технологій. І такими технологіями є авіарециклінг і утилізація.

Опис технології утилізації починається в аеропорту стоянки або на базі зберігання авіаційної техніки. Тут літак є частиною (компонентом, елементом) складної транспортної авіаційної системи в авіаційно-технічному комплексі.

У першу чергу, з систем літака видаляють:

- залишки палива, що не вдалося повністю злити з машини;
- технічні рідини, що використовувалися в різних системах агрегатів;
- вибухові пристрої катапульт;
- технологічні електронні прилади;
- пасажирське обладнання;
- пластикові обшивки, накладки та ін.;

– допоміжне технологічне обладнання — дроселі, силові та передавальні пристрої приводів шасі, елеронів, закрилків, керма управління — сотень вузлів (рис. 5).

У Франції, наприклад, велика частина подібних вузлів продається з метою їх повторного використання.

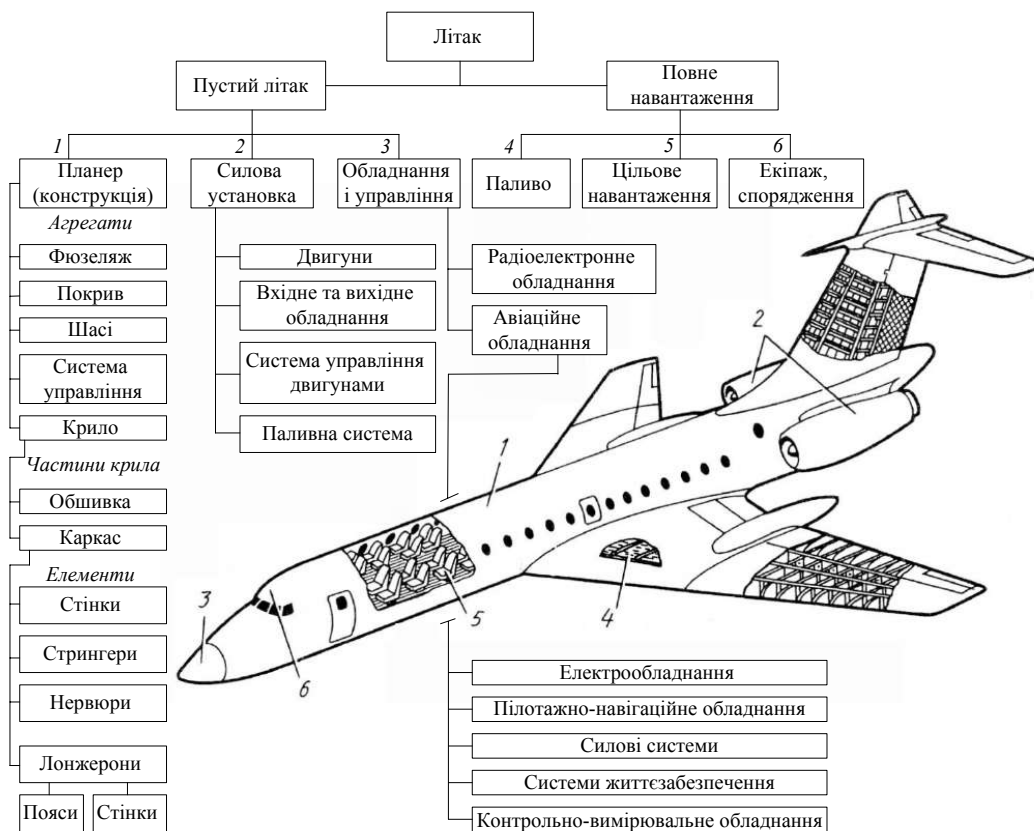


Рис. 5. Морфологічний склад відходів літака

Подальша переробка індивідуальна для кожної групи матеріалів. Корпуси літаків надходять до цехів, де в процесі переплавлення отримують чорні (25 %) і кольорові метали (більше 70 %). Прилади, плати, радіоелементи надходять для переробки на інші підприємства.

Метою переробки є отримання міді, олова, срібла, золота і платини з деталей списаних комп'ютерів, навігаційного обладнання, засобів зв'язку. Залишки апаратури спочатку розбирають і розсортовують ручним способом. На другому етапі в технологічних лініях здійснюється хімічна переробка матеріалів.

Проте незважаючи на певний технологічний рівень утилізації авіавідходів, що існує у світі сьогодні, в найближчій перспективі для її здійснення потрібні інші технології: замість металу підвищується питома вага композитних матеріалів, у приладах не використовуються в такій кількості дорогі метали.

Композитні матеріали, що складаються з армуючої карбонової сітки і поліамідних (поліестерних) наповнювачів у процесі утилізації підлягають розчиненню.

На думку переробників відходів, утилізація літаків у відриві від процесу їх створення економічно необґрунтована. Вартість матеріалів, видобутих з літака, порівняно з витратами, які необхідні для його розбирання: до покинутого на далекому аеродромі літаку необхідно доставити бригаду фахівців та обладнання; демонтаж оснащення лайнера не тільки трудомісткий, але і пов'язаний з дотриманням підвищених норм санітарної безпеки проведення робіт, збирання, зберігання і вивезення багатьох (часто токсичних) матеріалів; подальше сортування, логістика та переробка — досить затратні заходи. Однак, це лише вершина айсберга. За оцінками провідних світових авіакорпорацій, до 2030 р. буде потрібно оновити близько 35 тис. лайнерів. На виготовлення кожної машини потрібно від 50 тонн металу, сотень кілограм полімерів. При цьому в галузі списується щорічно більше 500 літаків — ті ж тисячі тонн алюмінію, нікелю, сталі і полімерів. Перед авіабудівниками стоїть завдання: оптимізувати кругообіг матеріалів, перетворивши сферу виробництва і використання повітряного флоту в замкнутий цикл [6, с. 80–85].

Виходячи із ситуації, що склалася у всьому світі, протягом останніх десятиріч, застосування процесів авіарециклінгу та утилізації є альтернативним джерелом для одержання необхідних авіаційних запчастин і компонентів ПС.

Для придбання запасних авіачастих, підтримання їх складу, а також ціноутворення на них останнім часом простежуються два чинники. З одного боку, наявні запаси компонентів для ремонту відносно недавно побудованих літаків і авіаційних двигунів продовжують зменшуватись, з іншого — ті ж самі літаки і двигуни все частіше розбираються на запчастини. Обидва ці явища відкривають перед авіаперевізниками можливість зменшення витрат без шкоди для технічної готовності парків.

Згідно інформації американської корпорації AAR CORP. (Allen Aircraft Radio Corporation) на європейському, близькосхідному і африканському ринках, відбувається помітне скорочення запасів запчастин і компонентів для таких типів ПС, як Airbus-A320, Boeing-737NG і 747-400. Одночасно ці літаки все новіших типів стали розбирати на запчастини — з класичних моделей Boeing-737 перекинулася на Airbus-A320 більш ранніх випусків, потім на Boeing-737-700, а зовсім недавно і на Airbus-A321 і A318.

Ці два фактори збіднюють і без того невеликі пули (англ. *pool* — загальний котел — форма об'єднання компаній, що відрізняється тим, що прибуток усіх учасників пулу надходить до загального фонду (котел) і потім розподіляється між ними відповідно до заздалегідь встановленої пропорції) запчастин для нових типів ПС, що знаходяться в розпорядженні авіакомпаній, а ринкові ціни таких компонентів знижуються. На запчастини йдуть все більш нові моделі літаків, і галузеві фахівці задаються питанням, чи мають вони справу з тенденцією або тимчасовим явищем.

У пулах авіакомпаній зараз на 20 % менше запчастин, ніж раніше, і скорочення припадає саме на компоненти, призначені для установки на більш нові типи ПС. До пулів традиційно вдаються, щоб уникнути дорогого ремонту компонентів, двигунів і великих швидкоз'ємних блоків. Тепер ця практика застосовується на класичних моделях Airbus-A320, на Boeing-737-700, Airbus-A321 і навіть на більш пізніх Airbus-A318. Розбирання окремих екземплярів таких ПС збільшує пули запчастин, що перевізники потім моментально пускають в справу, щоб знизити прямі експлуатаційні витрати на останньому в експлуатації парку.

У поєднанні з прагненням авіакомпаній скоротити провізні потужності зазначені вище фактори призводять до скорочення витрат перевіз-

ників на закупівлі нових запчастин від оригінальних виробників авіатехніки. Авіакомпанії все більш інтенсивно закуповують компоненти на вторинному ринку і намагаються оптимізувати використання власних пулів.

Важливим гравцем на вторинному ринку авіазапчастин є компанія International Aircraft Associates (IAA) — це один з найбільших дистрибуторів компонентів для авіадвигунів. У разі потреби перевізники і ремонтні підприємства все частіше звертаються до вторинного ринку в пошуках запчастин для таких силових установок, як CFM56-7B, оскільки не хочуть утримувати власний пул подібних компонентів. Власні запаси деталей авіакомпанії або виставляють на продаж, або намагаються використовувати по максимуму: просто тримати запчастини у себе на складі стає не вигідно.

Американський низькотарифний авіаперевізник Southwest Airlines зараз використовує свій запас компонентів набагато ефективніше, ніж раніше. На початок листопада 2012 р. ця авіакомпанія була найбільшим у світі експлуатантом літаків Boeing-737-700, з парком у 424 одиниці. Зараз перевізник ретельно відсортовує наявний пул запчастин і позбавляється приблизно від 10–15 % запасів. У перспективі запаси компонентів, що зберігаються в авіакомпанії, планується скоротити ще радикальніше.

На відміну від Southwest з її великим однотипним парком і відповідним асортиментом деталей до нього, більшості авіаперевізникам доводиться користуватися більш традиційними пулами запчастин. Так, новозеландська авіакомпанія Air New Zealand недавно підписала низку угод з постачальником авіаційних компонентів.

За останні 5–7 років прагнення авіаперевізників запастися запчастинами пішло на спад, оскільки стало очевидно, що використання послуг сторонніх постачальників є ефективним і більш економічним рішенням.

Перспектива економічної вигоди від більш ефективного використання авіаційних компонентів призводить до скорочення бюджетів на придбання запчастин. Деталі, зняті з розібраних примірників новіших типів ПС, стають дешевшими, вартість недавно розібраних на запчастини компонентів ПС, знизилась на 10–20 %.

Сьогодні авіакомпанії продовжать позбуватися від власних запасів авіакомпонентів і все активніше починають користуватися пулами [19].

Інтенсифікація робіт з розбору ПС на компоненти пов'язана із наступом надходженням на ринок більш паливно-ефективних моделей — Boeing-737 MAX і Airbus-A320 NEO, що користуються підвищеним інтересом серед авіакомпаній.

ній, що відчайдушно намагаються скоротити витрати на паливо. Як свідчить практика економічно вигідніше продавати літак на запчастини, чим цілий, так Airbus-A319 був проданий колишнім експлуатантом на запчастини за 14 млн дол. США, у той час як за цілий літак пропонували не більше 12 млн дол. США. Основним фактором тут є окупність інвестицій. Якщо власник може отримати на 2 млн дол. США більше, продавши ПС по частинах, то рік випуску літака не грає ролі.

Провідні фахівці галузі переконані, що можливість розбирати нові літаки і двигуни на запчастини послужить для авіакомпаній додатковим стимулом до скорочення власних запасів авіакомпонентів [20].

Авіабудівний концерн Boeing і корпорація Alcoa (американська металургійна компанія) сформували замкнуту програму з розширення авіарециклінгу брухту алюмінієвих сплавів, що використовують у виробництві літаків. Її втілення в життя спричинить за собою інтермодальні перевезення відходів з підприємств Boeing у Франції і сторонніх постачальників на завод Lafayette (США) для подальшої переробки.

Програма Boeing і Alcoa передбачає утилізацію сплавів, що застосовують у виготовленні компонентів крил і фюзеляжу літаків Boeing. Дана програма максимізує вартість всього ланцюжка поставок при одночасному зниженні кількості відходів. Також, Alcoa Fastening Systems (підрозділ Alcoa, найбільший американський виробник кріплень для аерокосмічної та автомобільної промисловості) на початку 2013 р. було підписано угоду з китайським виробником комерційних літаків.

Також, Alcoa Fastening Systems (AFS) оголосив про нову угоду щодо стратегічних технологій і комерційної співпраці з китайським виробником комерційних літаків COMAC. COMAC є виробником великого пасажирського літака в Китаї і має амбіції конкурувати з Boeing і Airbus. Угода допоможе Alcoa в закріпленні на китайському ринку аерокосмічної індустрії, що є одним з найбільш швидкозростаючих ринків у світі [11, с. 50–51].

Значних досягнень у напрямку впровадження процесів рециклінгу у авіаційну галузь досягли і європейські вчені.

Вони займаються розробкою методів авіарециклінгу деталей конструкцій літака, виготовлених з композиційного матеріалу з умістом вуглецевого волокна. Дослідження проходять у рамках проекту Inasmet-Tecnalia, метою якого є отримання вуглецевого волокна із даного виду відходів.

Дослідницька група також планує оцінити можливість використання отриманого таким чином волокна в інших галузях.

У даний час розглядаються три способи отримання вуглецевого волокна з композиційного крила літака. Найбільш ефективним показав себе метод піролізу — термічний процес, що протікає в аргонному середовищі, який видаляє смоли, не зачіпаючи при цьому вуглецеве волокно. Отримується таким чином волокно змішується з поліпропіленом і поліамідом у пропорціях 15 і 30 %, що надає матеріалу оптимальні механічні властивості. Такі матеріали можуть використовуватися в галузях, що вимагають застосування композитів високої якості з хорошими технічними характеристиками, але за меншою ціною [13, с. 312–314].

Сучасна авіація постійно стикається з проблемами зростання конкуренції й підвищенням паливних витрат. Очевидним рішенням даних проблем є зниження ваги конструкції через використання альтернативних композиційних матеріалів. У даний час відсоток вмісту композитів в конструкціях сучасної авіації становить близько 15 %, але в новому поколінні літаків цей відсоток значно виросте. Найбільш яскравим прикладом на даний момент вважається Boeing-787 DREAMLINER. Більше половини деталей даного літака виконані з композиційних матеріалів, він має більш високий ККД порівняно з попереднім аналогом і більш низьку витрату палива [21, 22, с. 26].

Висновки

Сьогодні світова та національна економіка стикається з актуальною проблемою переробки відходів транспортної галузі.

У міру того, як тенденція списання ресурсних літаків набирає силу, галузь приходить до необхідності створення стандартів переробки і повторного використання матеріалів та компонентів.

Одна з проблем, з якою можуть зіткнутися в майбутньому при переробці літаків, полягає в тому, що сучасні Boeing-787 і літаки сімейства Airbus-A350 XWB більше не виробляють переважно з алюмінію, а використовують при їх виготовленні різні альтернативні сполуки (вуглецеві композиційні матеріали, титанові і сталеві сплави та ін.), що природно ускладнює процес утилізації.

Звичайно, застосування процесів авіарециклінгу, утилізації і переробки авіаційної техніки вимагає висококваліфікованого персоналу, необхідного обладнання, затрат енергії, територій та спецтехніки, але без економічної підтримки і дотацій з боку держави реалізувати це підприєм-

ствам самостійно буде неможливо. Тому, на нашу думку, одним з можливих варіантів вирішення цієї проблеми є впровадження державних рециклінгових програм.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Tierney John.** Recycling is garbage // *New York Times*, № 6, 1996. — P. 24–29.
2. **Sergii Boichenko.** Phenomenological concept of chemotology / *Sergii Boichenko // Proceedings of National Aviation University.* — 2017. — № 1. — P. 113–119. DOI: 10.18372/2306-1472.70.11431.
3. **Довга Т. М.** Визначення ефективності рециклінгу: економіко-екологічний аспект // *Актуальні проблеми економіки / Т. М. Довга.* — 2012. — №3(129). — С. 235–240.
4. **Boichenko S. V.** Екологічний чинник утилізації та рециклінгу транспортних засобів: причинно-наслідковий аналітичний огляд і перспективи розвитку / *S. V. Boichenko, K. Lejda // 5-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю: зб. наук. пр. 23–26 вересня 2015 р.* — Вінниця, Україна: ВНТУ. — С. 178.
5. **Бойченко С.** Перспективи підвищення рівня екологічної безпеки транспорту утилізацією та рециклінгом / *Бойченко С., Лейда К. // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи»: зб. тез доповідей.* — Львів : Львівський державний університет цивільного захисту, 2015. — С. 256–257.
6. **Samira Keivanpour.** Toward a Strategic Approach to End-of-Life Aircraft Recycling Projects A Research Agenda in Transdisciplinary Context / *Samira Keivanpour, Daoud Ait-Kadi, Christian Mascle. // Journal of Management and Sustainability.* — 2013. — С. 76–94. DOI:10.5539/jms.v3n3p76 (eng).
7. В сети появилось видео крупнейшего в мире «кладбища» авиатехники [Електронний ресурс] / *РИА Новости // РИА Новости.* — 2017 — Режим доступа: <https://ria.ru/world/20170130/1486810050.html>.
8. **Даулинг Стивен.** Авиабазы Девис-Монтен — крупнейшее в мире «кладбище» авиатехники [Електронний ресурс] / *Стивен Даулинг // Quibbll.* — 2017. — Режим доступа: <http://quibbll.com/55834-aviabaza-devis-monten-krupnejshee-v-mire-kladbishhe-aviatehniki/>
9. **Гришкова М. О.** Проблемы утилизации отслуживших самолётов / *М. О. Гришкова, А. В. Разин // Актуальные проблемы авиации и космонавтики.* — 2014. — С. 114–115.
10. **Бойченко С. В.** Екологістика, утилізація та рециклінг транспортних засобів: тенденції та перспективи розвитку / *С. В. Бойченко, К. Лейда, О. В. Іванченко // Наукоємні технології.* — № 2(30) — 2016. — С. 221–227. DOI: 10.18372/2310-5461.30.10568 (ukr)
11. **Іванченко О. В.** Екологістика, утилізація та рециклінг транспортних засобів — особливості в авіації / *О. В. Іванченко, С. В. Бойченко, К. Лейда // Monografia № 7. Seria: Transport. Systemy i środki transportu samochodowego: wibrane zagadnienia.* — Rzeszów (Poland), 2016. — P. 45–52.
12. **Derk-Jan van Heerden.** Aircraft Disposal and Recycling [Електронний ресурс] / *Derk-Jan van Heerden, Ricky Curran // Encyclopedia of Aerospace Engineering.* — 2010. — Режим доступа до ресурсу: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470686652.eae355>.
13. **Júnior Sousa Ribeiro.** Proposed framework for End-Of-Life aircraft recycling / *Júnior Sousa Ribeiro, Jefferson de Oliveira Gomes. // Procedia CIRP.* — 2015. — № 26. — С. 311–316. DOI: 10.1016/j.procir.2014.07.048 (eng).
14. **Brand R., Karvonen A.** (2007). The ecosystem of expertise: complementary knowledge for sustainable development, *Sustainability. Science, Practice, & Policy*, 3(1), 21-30. Retrieved from <http://scholar.google.ca/archives/vol3iss1/0601-004.brand.html> (eng).
15. *Green sky, aviation and the environment.* (2010). Retrieved from http://www.afraassociation.org/NewsDocs/10_GreenSky.pdf (eng).
16. **Бойченко С. В.** Світовий досвід і перспективи розвитку утилізації та рециклінгу транспортних засобів / *С. В. Бойченко, К. Лейда // Monografia № 6 “Systems and means of motor transport”. Selected problems. Seria: Transport.* — Rzeszow (Poland), 2015. — P. 247–252.
17. «Вторая жизнь» списанных самолётов [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://ru.euronews.com/2013/09/16/aviation-from-scrap-to-eco-design>.
18. **Бродерик Ш.** Самолётам нужна разборка по правилам [Електронний ресурс] / *Шон Бродерик // Деловой авиационный портал.* — 2014. — Режим доступа: <http://www.ato.ru/content/samoletam-nuzhna-razborka-po-pravilam>.
19. Утилизация самолётов [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://greenologia.ru/utilizaciya-texniki/avto/utilizaciya-samoletov.html>.
20. **Грир Чендлер Джером.** Жизненный цикл самолета: оправданный каннибализм [Електронний ресурс] / *Джером Грир Чендлер // АТО № 136.* — 2013. — Режим доступа: <http://www.ato.ru/content-zhiznennyu-cikl-samoleta-opravdannyy-kannibalizm>.
21. Композиты в авиационной промышленности [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://cae-systems.ru/kompozity-v-aviacionnoy-promyshlennosti>.
22. **Макаренко Д. Н.** Утилизация компонентов летательных аппаратов: анализ нормативно-технической базы обеспечения качества / *Д. Н. Макаренко // Технологический аудит и резервы производства.* — 2015. — №3/2(23). — С. 26–31. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44816 (ru)

Бойченко С. В., Іванченко О. В., Яковлева А. В.

РЕЦИКЛІНГ І УТИЛІЗАЦІЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ: СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ

Стаття присвячена проблемам утилізації і рециклінгу списаних літальних апаратів та їх компонентів. Розглянуто особливості правильного поводження з транспортними засобами авіаційної галузі, що вийшли з експлуатації. Вивчено проблему поводження з відходами повітряного транспорту в Україні та світі. Проведено аналіз існуючих методів і технологій, спрямованих на раціональне і правильне поводження з відпрацьованою авіаційною технікою. Обґрунтовано необхідність впровадження системи комплексної утилізації авіаційної техніки. Розглянуто екологічні та економічні проблеми, пов'язані з утилізацією та рециклінгом авіаційних транспортних засобів, їх вузлів та агрегатів. Вивчено досвід утилізації літаків провідних авіакомпаній світу. Запропоновано і обґрунтовано актуальність та доцільність впровадження рециклінгових програм у сфері поводження з відходами авіаційної галузі на державному рівні.

Ключові слова: утилізація; авіарециклінг; переробка; відходи; авіаційний транспортний засіб; ресурсозбереження.

Бойченко С. В., Іванченко О. В., Яковлева А. В.

РЕЦИКЛІНГ И УТИЛИЗАЦИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ: МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ

Стаття посвящена проблемам утилизации и рециклинга списанных летательных аппаратов и их компонентов. Рассмотрены особенности правильного обращения с транспортными средствами авиационной отрасли вышедшими из строя. Изучена проблема обращения с отходами воздушного транспорта в Украине и мире. Проведен анализ существующих методов и технологий, направленных на рациональное и правильное обращение с отработавшей авиационной техникой. Обоснована необходимость внедрения системы комплексной утилизации авиационной техники. Рассмотрены экологические и экономические проблемы, связанные с утилизацией и рециклингом авиационных транспортных средств, их узлов и агрегатов. Изучен опыт утилизации самолетов ведущих авиакомпаний мира. Предложено и обосновано актуальность и целесообразность внедрения рециклинговых программ в сфере обращения с отходами авиационной отрасли на государственном уровне.

Ключевые слова: утилизация; авиарециклінг; переработка; отходы; авиационное транспортное средство; ресурсосбережение.

Boichenko S. V., Ivanchenko O. V., Iakovlieva A. V.

RECYCLING AND UTILIZATION OF AVIATION ENGINEERING: THE GLOBAL TRENDS AND PECULIARITIES OF INTRODUCTION

This work is devoted to problems of disposal and recycling of out-of-date aircraft and their components. The features proper handling vehicles aviation industry, emerged from the operation were considered. The problem of air transport wastes in Ukraine and abroad was studied. The analysis of existing methods and technologies aimed at the rational and proper management of spent aircraft. The necessity of introduction of comprehensive utilization of aircraft was proved. We consider environmental and economic problems associated with the disposal and recycling of aviation vehicles, their components and assemblies. The experience of the utilization of aircraft leading airlines was studied. The significance and feasibility of introduction recycling programs in the field of waste management of the aviation industry at the state level have been proposed and reasonably.

Keywords: recycling; air transport recycling; processing; waste; air vehicle; resource conversation.

Стаття надійшла до редакції 31.05.2017 р.

Прийнято до друку 05.06.2017 р.

Рецензент – д-р техн. наук, проф. Запорожець О. І.