УДК 629.7.048.4: 620.22-419 DOI: 10.18372/0370-2197.3(112).21619

К.С. ЧАВА

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Україна

АНАЛІЗ СТАНДАРТІВ ЩОДО КОНСТРУКЦІЇ СТАЦІОНАРНИХ АВІАЦІЙНИХ КИСНЕВИХ БАЛОНІВ СФЕРИЧНОЇ ФОРМИ

У статті наведено порівняльний аналіз вимог галузевого стандарту ОСТ 1 03749-74 до стаціонарних авіаційних балонів сферичної форми місткістю 2–25 л, розрахованих на робочий тиск 21 МПа (210 кгс/см²) призначених для зберігання медичного і технічного кисню на борту повітряного судна, та міжнародного стандарту ISO 11119-1, який регламентує проєктування, виготовлення та випробування перезаправних композитних балонів типу 2 з кільцевим волоконним обмотуванням металевого лейнера. Мета роботи – визначення відмінностей конструктивних схем типів 1 і 2 та обґрунтування напряму вдосконалення сферичного сталевого балона для кисню. Порівняння здійснено методом нормативно-технічного аналізу за критеріями конструктивної схеми, матеріалів, розрахунку міцності, випробувань, циклічної довговічності, надійності, строку служби та зовнішніх факторів. Встановлено, що ОСТ 1 03749-74 передбачає сприйняття навантаження суцільною сталевою стінкою та нормування її міцності за абсолютними механічними характеристиками, тоді як ISO 11119-1 ґрунтується на розподілі навантаження між металевим лейнером і композитною оболонкою з оцінюванням за критерієм напруження у волокні. Детально проаналізовано вимоги до кисневого обладнання, зокрема знежирення внутрішньої порожнини, захисного покриття та сумісності матеріалів з окисним середовищем. Показано, що безлейнерні композитні конструкції типів 4-5 не призначені для окисних газів, тоді як тип 2 зберігає металевий бар'єр між киснем і композитним матеріалом. На основі зіставлення нормативних вимог та результатів досліджень метало-композитних балонів обґрунтовано доцільність формування композитної оболонки на сталевому лейнері без змін робочого тиску. Це дає змогу перерозподілити окружні напруження на композитну оболонку та зменшити масу загальної конструкції на 15–30 % зі збереженням міцності, безпеки та кисневої сумісності.

Ключові слова: *композиційні матеріали, міцність, лейнер, класифікація балонів, авіаційні системи, конструкція, механічні властивості.*

Вступ. Балони для зберігання кисню на борту повітряного судна належать до обладнання підвищеної надійності систем життєзабезпечення екіпажу та пасажирів, протипожежних і кисневих систем. Відповідно до [1], кисень і кисень медичний входять до переліку середовищ, дозволених для наповнення балонів обох дизайнів – з упорною трубною різьбою горловини W 19,2 та W 30,3, де літера «W» позначає тип різьби (спеціальна упорна різьба для балонів стиснутих і зріджених газів), а числове значення (19,2 або 30,3) – номінальний зовнішній діаметр різьби горловини в міліметрах. Для стаціонарного розміщення на борту традиційно застосовуються балони типу 1 – сферичної (кулястої) форми, що за рівних маси й міцності забезпечують мінімальну площу поверхні та рівномірний розподіл напружень від внутрішнього тиску порівняно з циліндричними виконаннями [1].

Кисневі балони мають низку специфічних вимог, яких не висувають до балонів для інертних чи горючих газів: обов'язкове знежирення внутрішньої порожнини для унеможливлення займання в кисневому середовищі [1] особливе фарбування за ГОСТ 949-73, а також підвищені вимоги до сумісності конструкційних і полімерних матеріалів з окисником. Саме ця специфіка визначає, який тип композитної конструкції за міжнародною класифікацією взагалі придатний для кисневого застосування, що детально розглянуто в розділі 3 цієї статті.

Метою роботи є зіставлення вимог ОСТ 1 03749-74 до сферичних авіаційних кисневих балонів типу 1 та вимог ISO 11119-1 до метало-композитних балонів типу 2, а також обґрунтування напряму вдосконалення конструкції сферичного сталевого балона для кисню шляхом композитного обмотування.

Матеріали й методи. В роботі проаналізовано галузевий стандарт ОСТ 1 03749-74 [1] (типи балонів, основні параметри, технічні вимоги, таблиці зовнішніх впливових факторів і показників надійності) та міжнародний стандарт ISO 11119-1 [2], а також суміжні документи серії ISO 11119 (частини 2-3) [3, 4], які встановлюють вимоги до балонів типів 3-5 з дедалі меншою часткою металу в силовій оболонці. Використано метод порівняльного нормативно-технічного аналізу: за єдиною системою критеріїв (конструктивна схема, матеріали, підхід до розрахунку міцності, програма випробувань, показники надійності, кліматичні впливи) зіставлено вимоги обох документів. Додатково залучено результати експериментальних і розрахункових досліджень метало-композитних балонів високого тиску[5-10], для кількісної оцінки очікуваного ефекту зниження маси при переході від суцільнометалевої до комбінованої конструкції.

Вимоги ОСТ 1 03749-74 до сферичних балонів типу 1 для кисню. Стандарт ОСТ 1 03749-74 поширюється на балони кулястої та циліндричної форми місткістю від 2 до 25 л, призначені для зберігання рідин, стиснутих газів та вогнегасних складів під робочим тиском 21 МПа (210 кгс/см²) [1]. Предметом цієї роботи є саме тип 1 – сферичні балони, які завдяки мінімальній площі поверхні на одиницю об'єму та рівномірному розподілу окружних і меридіональних напружень традиційно застосовуються для стаціонарного розміщення на борту повітряного судна. Місткісний ряд балонів кулястої форми включає значення 2, 3, 4, 6, 8 та 25 л; кожному значенню відповідають нормовані зовнішній діаметр D, висота H (з урахуванням горловини) та маса не більше зазначеної (табл. 1, рис. 1).

Для кисневого застосування визначними є вимоги:

- кисень і кисень медичний дозволені для обох виконань горловини;
- балони, призначені для наповнення киснем, повинні бути обезжирені;
- матеріал корпусу – сталь із тимчасовим опором розриву 1200 (+172,9/−121,3) МПа, межею текучості не менше 850 МПа та відносним

видовженням не менше 12 %, що забезпечує потрібний запас міцності, але зумовлює значну питому масу виробу [1].

Таблиця 1

Габаритні розміри та маса сферичних балонів [1]

Місткість, л	Зовнішній діаметр D, мм	Висота H, мм	Граничне відхилення D	Маса, кг, не більше
2	170	184	±3	2,0
3	191	204	±3	2,7
4	211	226 (+1/−3)	±3	3,3
6	241	256 (+1/−3)	±3	5,2
8	260	275 (+1/−3)	±3	6,1
25	370	406 (±2)	—	15,0

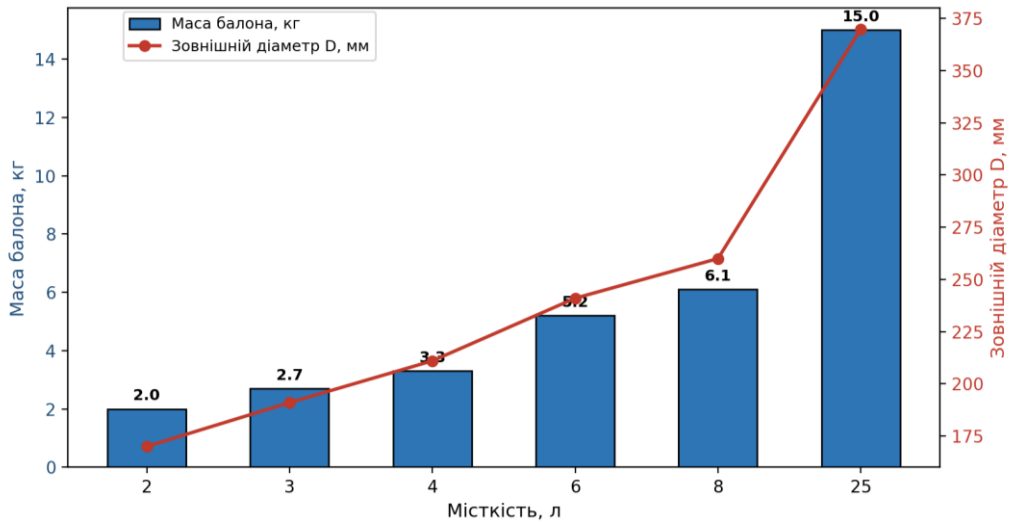


Рис. 1. Залежність маси та зовнішнього діаметра сферичного балона від його місткості [1]

Показники надійності сферичних балонів регламентовані: призначений ресурс 30000 год, призначений строк служби 26 років, строк зберігання 2 роки; не менше 5000 циклів зміни тиску від 4 до 21 МПа. Додатково нормується вимога безосколковості при прострілюванні снарядом діаметром 20-23 мм з відстані 25 м, для чого балони (крім тих, що мають місткість 25 л) обплітаються скловолокном [1] – фактично це один з перших прототипів композитного підсилення сферичного балона, однак, виключно для локалізації уламків, а не для зниження маси.

Вимоги ISO 11119-1 до метало-композитних балонів типу 2. Стандарт ISO 11119-1 у чинній третій редакції [2] встановлює мінімальні вимоги до матеріалів, конструкції, виготовлення, контролю та випробувань перезаправних

композитних балонів і труб типу 2 – з металевим силовим лейнером, підсиленим кільцевою волоконною композитною оболонкою. Документ поширюється на балони й труби місткістю від 0,5 до 450 л і допускає застосування вуглецевого, арамідного чи скляного волокна (або їх комбінації) в полімерній матриці, а в окремих виконаннях – сталевого дроту для забезпечення окружного підсилення.

Принципова відмінність підходу ISO 11119-1 від ОСТ 1 03749-74 полягає в тому, що метал лейнера в балоні типу 2 розглядається як силовий елемент, що частково розподіляє навантаження разом із композитною оболонкою, а не як єдиний несучий елемент конструкції. Відповідно, розрахунок міцності здійснюється не через нормування абсолютних механічних характеристик металу, а через контроль напруження у волокні композитного шару – відношення розрахункового напруження у волокні при мінімальному проєктному тиску розриву до напруження при номінальному робочому тиску, що для різних типів волокна та конструкцій має різне нормоване значення [1, 2].

Програма типових випробувань за ISO 11119-1 охоплює, серед іншого, гідравлічне випробування розривом (мінімум на двох зразках), випробування циклічним навантаженням за нормальних умов та в умовах кліматичного циклювання, випробування високошвидкісним ударом/пострілом та вогнестійкістю, випробування на удар і крутний момент з'єднання [2, 4].

Мінімальний проєктний строк служби балонів, що відповідають цій частині стандарту, становить 15 років; після його завершення передбачена процедура перекваліфікації для продовження терміну експлуатації, що є принципово гнучкішим підходом порівняно з жорстко фіксованим призначеним строком служби 26 років в ОСТ 1 03749-74.

Придатність композитних конструкцій до кисневого середовища. Специфіка кисню як наповнювача полягає в його високій хімічній активності щодо органічних матеріалів і полімерних матриць: контакт мастильних матеріалів, забруднень або самої полімерної оболонки з киснем під тиском створює ризик займання. Саме тому ОСТ 1 03749-74 прямо вимагає знежирення балонів, призначених для наповнення киснем [1]. У міжнародній практиці ця вимога враховується на рівні самої класифікації композитних конструкцій: стандарт ISO 11119-3, що поширюється на балони типів 4 і 5 (з полімерним або без металевого лейнера, коли композит межує безпосередньо з наповнювачем), прямо зазначає, що виготовлені за ним балони не призначені для токсичних, окисних або корозійних газів [4]. Натомість типи 2 і 3, що регламентуються ISO 11119-1 і ISO 11119-2, зберігають металевий (сталевий або алюмінієвий) лейнер, який відокремлює композитну оболонку від внутрішнього середовища балона (табл. 2).

Це зіставлення є вагомим аргументом для вибору напряму вдосконалення сферичного авіаційного кисневого балона: перехід до повністю композитної (безлейнерної) конструкції типу 4/5 суперечить самій природі кисню як окисника і прямо не рекомендований міжнародним стандартом, тоді як конструкція типу 2 за ISO 11119-1 – метал + кільцева композитна оболонка – дозволяє зберегти металевий бар'єр у зоні контакту з киснем і водночас реалізувати потенціал зниження маси за рахунок композиційного підсилення ззовні. Далі показано схематичний переріз існуючої (суцільнометалевої) та пропонованої (метало-композитної) конструкцій сферичного балона (рис. 2).

Таблиця 2

Придатність конструктивних типів композитних балонів для зберігання кисню за класифікацією серії ISO 11119 [2-4]

Тип конструкції (класифікація ISO)	Документ серії ISO 11119	Металевий лейнер	Придатність для кисню / окисних газів
Тип 1 – суцільнометалевий (аналог ОСТ 1 03749-74)	Поза межами серії ISO 11119; регламентується стандартами на цільнометалеві балони	Так, суцільний	Придатний; метал повністю ізолює наповнювач від зовнішнього середовища, застосовується для кисню десятиліттями
Тип 2 – метал + кільцева композитна оболонка	ISO 11119-1	Так, силовий	Придатний: внутрішня поверхня, що контактує з киснем, –металева; композит контактує лише із зовнішнім середовищем
Тип 3 – метал + повна композитна оболонка	ISO 11119-2	Так, силовий	Придатний за умови герметичного металевого лейнера; стандарт не містить прямої заборони для окисників
Тип 4/5 – полімерний або безлейнерний композит	ISO 11119-3	Ні (полімерний або відсутній)	Не призначені для токсичних, окисних або корозійних газів – пряма вказівка стандарту ISO 11119-3

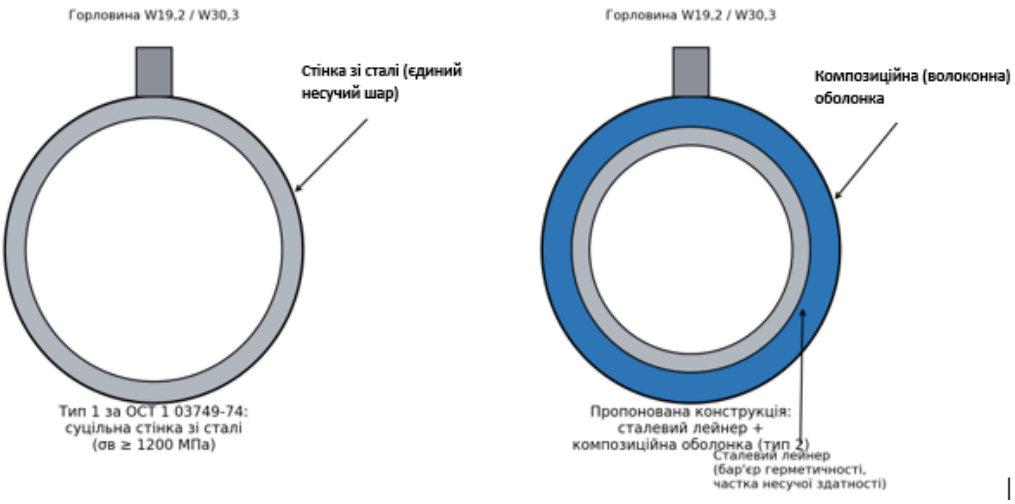


Рис. 2. Схема поперечного перерізу сферичного кисневого балона: існуюча суцільнометалева конструкція за ОСТ 1 03749-74 (ліворуч) і пропонована метало-композитна конструкція типу 2 (праворуч)

Наведена схема ілюструє принципову відмінність двох конструктивних підходів: за ОСТ 1 03749-74 весь тиск сприймає суцільна сталева стінка, тоді як у

пропонованій метало-композитній конструкції типу 2 навантаження розподіляється між тонкостінним сталевим лейнером, що зберігає бар'єрну функцію щодо кисню, та зовнішньою композиційною оболонкою, яка бере на себе частину окружних напружень. Кількісне зіставлення відповідних нормативних вимог обох стандартів наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Узагальнені результати зіставлення положень ОСТ 1 03749-74 та ISO 11119-1:2020 за основними критеріями [1, 2]

Критерій порівняння	ОСТ 1 03749-74	ISO 11119-1:2020
Статус і рівень документа	Галузевий стандарт колишнього СРСР (авіаційна галузь), чинний з 1975 р., не переглядався після 1988 р.	Чинний міжнародний стандарт ISO/TC 58/SC 3, третя редакція (2020 р. взамін редакції 2012 р.), гармонізований із Типовими правилами ООН щодо перевезення небезпечних вантажів
Тип конструкції балона	Цільнометалевий (моноблочний) балон кулястої або циліндричної форми зі спеціальної легованої сталі	Комбінована (метало-композитна) конструкція типу 2 – металевий силовий лейнер, охоплений кільцевим волоконним композитним шаром
Робочий тиск і місткість	Рроб = 21 МПа (210 кгс/см²); місткість 2-25 л (тип 1) та 5-20 л (тип 2)	Діапазон робочих тисків і місткостей не фіксований жорстко: стандарт поширюється на балони й труби місткістю від 0,5 до 450 л; конкретний тиск визначається проєктом і матеріалом обмотування
Матеріал несучого елемента	Сталь із тимчасовим опором розриву 1200 (+172,9/-121,3) МПа, межею текучості не менше 850 МПа, відносним видовженням не менше 12 %	Металевий лейнер (сталевий або алюмінієвий) виконує роль бар'єра герметичності й частково несе навантаження спільно з композитним шаром; властивості лейнера регламентуються суміжними стандартами на балони
Підхід до забезпечення міцності	Нормування абсолютних значень механічних характеристик матеріалу та товщини стінки; короткострокове перевищення тиску не більше 1,25·Рроб	Розрахунок за критерієм напруження у волокні – відношення розрахункового напруження у волокні при мінімальному розрахунковому тиску розриву до напруження при номінальному робочому тиску; додатково контролюється частка навантаження, яку несе лейнер
Випробування тиском розриву	Окремого нормованого показника кратності руйнівного тиску стандарт не встановлює	Обов'язковий гідравлічний burst-тест мінімум двох зразків з нормованою кратністю руйнівного тиску відносно робочого та контрольованою швидкістю навантаження
Циклічна довговічність	Не менше 5000 циклів зміни тиску від 4 до 21 МПа і назад, тривалість циклу 5-8 с	Випробування циклічним навантаженням і додатково – випробування в умовах кліматичного циклювання; мінімальна кількість циклів встановлюється залежно від типу й призначення балона і на практиці істотно перевищує показник ОСТ

Продовження Таблиці 3

Спеціальні випробування безпеки	Обов'язкове прострілювання снарядом діаметром 20-23 мм з відстані 25 м (вимога безосколковості) для протипожежних і суміжних застосувань; для цього балони (крім місткістю 25 л) обплітаються скловолокном	Випробування високошвидкісним ударом та вогнестійкістю передбачені як штатні пункти програми типових випробувань для всіх балонів даної частини стандарту
Кліматичні та механічні впливи	Регламентований діапазон робочих температур від - 60 до +140 °С, вібраційні й ударні навантаження, соляний туман, плісеневі гриби – за окремою таблицею зовнішніх факторів	Умови експлуатації задаються технічним завданням і узгоджуються з регіональними транспортними правилами; типовий діапазон середовищ, що допускаються, зазвичай ширший за рахунок хімічної стійкості композитної оболонки, але потребує окремого підтвердження сумісності з наповнювачем
Ресурс і термін служби	Призначений ресурс 30000 год, призначений строк служби 26 років, строк зберігання 2 роки – фіксовані показники надійності	Мінімальний проєктний строк служби 15 років; після його завершення передбачена процедура перекваліфікації для продовження експлуатації, що дозволяє гнучкіше керувати ресурсом композитної конструкції
Кріплення й обслуговування	Кріплення хомутами з м'якими прокладками; періодичність і методи технічного огляду в стандарті не деталізуються	Періодичне технічне опосвідчення та повторні випробування композитних балонів виносяться в окремий стандарт ISO 11623, що забезпечує наскрізний життєвий цикл виробу
Маса конструкції (порівняльний показник)	Маса нормується для цільнометалевого виконання (наприклад, 15,0 кг для кулястого балона місткістю 25 л) і визначається переважно товщиною стінки сталевого корпусу	За рахунок кільцевого композитного підсилення частина товщини металу замінюється волокном з питомою міцністю, що суттєво вища за сталь; за узагальненими даними галузевих досліджень перехід від цільнометалевих до метало-композитних балонів типів 2-3 дає зниження маси конструкції в межах 30-50 % зі збереженням робочого тиску

Обґрунтування напряму вдосконалення конструкції. Проведене зіставлення показує, що ОСТ 1 03749-74, розроблений у середині 1970-х років, фіксує суто металеву конструктивну схему балона й нормує міцність через абсолютні механічні характеристики сталі, тоді як ISO 11119-1 закладає принципово іншу схему – розподіл навантаження між металевим лейнером і волоконною композитною оболонкою з розрахунком за критерієм напруження у волокні. Це створює методологічну основу для вдосконалення конструкції авіаційного стаціонарного сталевого балона, що виготовляється за вимогами ОСТ 1 03749-74, шляхом нанесення додаткової композиційної оболонки на існуючий сталевий корпус (лейнер) без зміни нормованого робочого тиску 21 МПа.

За узагальненими даними наукових публікацій з проєктування метало-композитних балонів високого тиску [5, 10], перерозподіл частини окружних напружень із металевого лейнера на композитну оболонку дає змогу зменшити

необхідну товщину стінки сталевого корпусу, а отже і масу балона в цілому за одночасного збереження або підвищення показників міцності й ресурсу. Узагальнена оцінка цього ефекту за даними декількох незалежних джерел наведена на рис. 3: перехід від суцільнометалевої конструкції (тип I) до метало-композитної типу 2 за принципами ISO 11119-1 дає орієнтовне зниження маси на 15-30 %, а подальший розвиток конструкції в бік типів 3-5 – до 65 %, хоча типи 4-5, як показано в розділі 3, не застосовні для кисню і виходять за межі завдання цієї роботи. Так, експериментально-чисельні дослідження метало-композитних балонів [8, 9] показують, що за порівняно низьких внутрішніх тисків основне навантаження сприймає металевий лейнер, тоді як роль композитної оболонки суттєво зростає зі збільшенням робочого тиску, що дає підстави раціонально розподіляти товщину лейнера й оболонки відповідно до фактичного рівня напружень у конструкції. Узагальнюваний огляд сучасних методів моделювання та проєктування композитних балонів [10] підтверджує, що оптимізація кута намотування волокна й товщини композитних шарів за критерієм напруження у волокні дозволяє суттєво знизити матеріалоємність виробу порівняно з цільнометалевим виконанням, тоді як збереження металевого лейнера як бар'єра герметичності залишається визначальним чинником надійності конструкції для реакційноздатних середовищ, зокрема кисню.

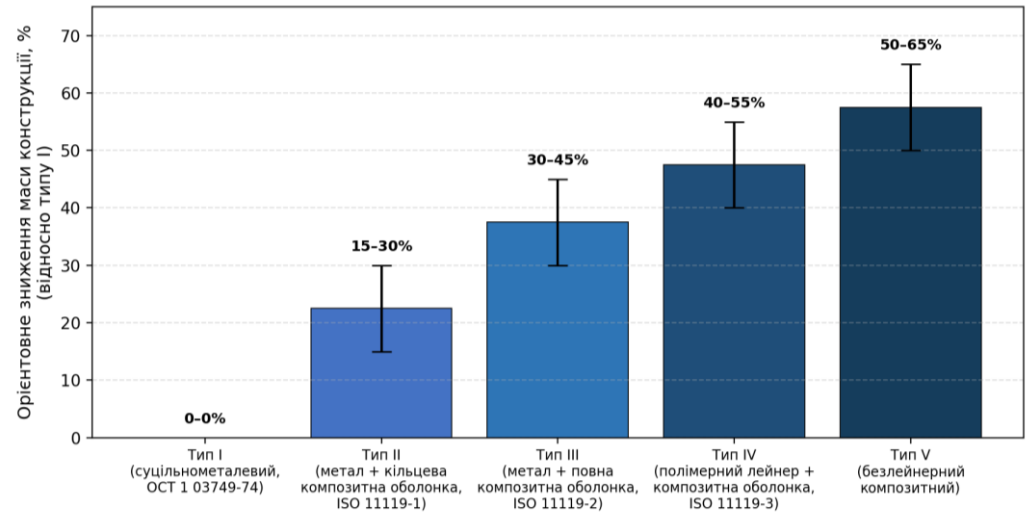


Рис. 3. Узагальнена оцінка потенціалу зниження маси балона високого тиску залежно від конструктивного типу [5–7, 10]

Водночас перехід від суто металевої конструкції ОСТ 1 03749-74 до комбінованої метало-композитної схеми за принципами ISO 11119-1 вимагає розроблення методики розрахунку розподілу навантаження між лейнером і оболонкою, обґрунтування критерію напруження у волокні для умов експлуатації авіаційних систем, а також узгодження програми випробувань (зокрема вимоги безосколковості за ОСТ і високошвидкісного удару за ISO) в єдиній методиці підтвердження безпеки.

Висновки

1. Установлено, що ОСТ 1 03749-74 і ISO 11119-1 ґрунтуються на принципово різних конструктивних схемах балонів високого тиску: перший

нормує суцільнометалеву сферичну конструкцію типу 1 з розрахунком за абсолютними механічними характеристиками сталі, другий – комбіновану метало-композитну конструкцію типу 2 з розрахунком за критерієм напруження у волокні композитної оболонки.

2. Показано, що вимога безосколковості за ОСТ 1 03749-74, яка передбачає обплітання сферичних балонів скловолокном, є історичним прообразом композитного підсилення, однак вона розв'язує лише завдання локалізації уламків при розриві та не використовується для зниження маси чи підвищення несучої здатності конструкції, на відміну від повноцінної кільцевої композитної оболонки за ISO 11119-1.

3. Для кисневого застосування визначальним є те, що безлейнерні композитні конструкції типів 4-5 [4] прямо не рекомендовані стандартом для окисних газів, тоді як метало-композитна конструкція типу 2 [2] зберігає металевий бар'єр між кисневим середовищем і композитним матеріалом, що робить саме цей тип конструкції прийнятним напрямом удосконалення сферичного авіаційного кисневого балона.

4. Порівняння програм випробувань і показників надійності виявило, що ISO 11119-1 передбачає гнучкіший підхід до життєвого циклу виробу (мінімальний строк служби з подальшою перекваліфікацією) порівняно з жорстко фіксованими показниками ОСТ 1 03749-74 (ресурс, строк служби, строк зберігання).

5.На основі виконаного зіставлення обґрунтовано доцільність удосконалення конструкції сферичного авіаційного стаціонарного кисневого балона на робочий тиск 21 МПа шляхом нанесення композиційної (волоконної) оболонки на існуючий сталевий лейнер за принципами, закладеними в ISO 11119-1, що, за даними профільних досліджень, дозволяє знизити масу конструкції на 15–30 % (для типу 2) за збереження нормованого робочого тиску, кисневої сумісності та необхідного рівня безпеки.

Список літератури

1. ОСТ 1 03749-74. 1974. 7 с.

2. Gas cylinders – Design, construction and testing of refillable composite gas cylinders and tubes – Part 1: Hoop wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l : ISO 11119-1:2020. 3rd ed. Geneva : ISO, 2020. 48 p.

3. Gas cylinders – Design, construction and testing of refillable composite gas cylinders and tubes – Part 2: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l with load-sharing metal liners : ISO 11119-2:2020. Geneva : ISO, 2020. 52 p.

4. Gas cylinders – Design, construction and testing of refillable composite gas cylinders and tubes – Part 3: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l with non-load-sharing metallic or non-metallic liners or without liners : ISO 11119-3:2020. Geneva : ISO, 2020. 50 p.

5. Eko A. J., Epaarachchi J., Jewewantha J., Zeng X. A review of type IV composite overwrapped pressure vessels. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2025. Vol. 109. P. 551-573. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.108

6. Rahul B., Chand D. S., Dharani J. A comprehensive review on the performance analysis of composite overwrapped pressure vessels. Engineering and Applied Science Research. 2022. Vol. 49, No. 2. P. 272-287. DOI: https://doi.org/10.14456/easr.2022.29

7. Air A., Shamsuddoha M., Gangadhara Prusty B. A review of Type V composite pressure vessels and automated fibre placement based manufacturing. *Composites Part B: Engineering*. 2023. Vol. 253. Art. 110573. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110573

8. Mirzaei J., Nouri Niyaraki M., Zarei H. R. Design and experimental/numerical analysis of metal-composite vessel with spherical cap under internal pressure. *Mechanics of Advanced Composite Structures*. 2023. Vol. 10, No. 2. P. 247-256. DOI: https://doi.org/10.22075/macs.2022.28318.1432

9. Amraee Rad G., Rahimi G. Design and analysis of metal-composite vessel under internal pressure. *International Journal of Advanced Design and Manufacturing Technology*. 2021. Vol. 14, No. 4. P. 1-10. DOI: https://doi.org/10.30495/admt.2021.1918180.1234

10. Advancement in the modeling and design of composite pressure vessels for hydrogen storage: a comprehensive review / L. Bouhala, A. Karatrantos, H. Reinhardt et al. *Journal of Composites Science*. 2024. Vol. 8, No. 9. Art. 339. DOI: https://doi.org/10.3390/jcs8090339

Отримано: 09 вересня 2026
Прийнято: 20 вересня 2026
Опубліковано: 18 жовтня 2026

Чава Катерина Сергіївна – аспірантка за спеціальністю G9 «Прикладна механіка» кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний університет «Київський авіаційний інститут», пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, email: ekaterinaserheevna@gmail.com, https://orcid.org/0009-0000-9181-8008

K. CHAVA

ANALYSIS OF STANDARDS FOR THE DESIGN OF SPHERICAL STATIONARY AVIATION OXYGEN CYLINDERS

This article presents a comparative analysis of the requirements of industry standard OST 1 03749-74 for stationary spherical aviation cylinders with a capacity of 2–25 liters, designed for an operating pressure of 21 MPa (210 kgf/cm²), intended for storing medical and technical oxygen on board an aircraft, and the international standard ISO 11119-1, which regulates the design, manufacture, and testing of Type 2 refillable composite cylinders with annular fiber wrapping around a metal liner. The objective of this work is to identify the differences between the design schemes of Types 1 and 2 and to justify directions for improving the spherical steel oxygen cylinder. The comparison was conducted using a normative and technical analysis based on criteria such as design scheme, materials, strength calculations, testing, cyclic durability, reliability, service life, and external factors. It was established that OST 1 03749-74 provides for the load to be borne by a solid steel wall and for its strength to be specified based on absolute mechanical characteristics, whereas ISO 11119-1 is based on load distribution between a metal liner and a composite shell, with evaluation based on the criterion of stress in the fiber. The requirements for oxygen equipment are analyzed in detail separately, specifically regarding the degreasing of the internal cavity, protective coatings, and the compatibility of materials with an oxidizing environment. It is shown that linerless composite structures of types 4–5 are not intended for oxidizing gases, whereas type 2 retains a metal barrier between the oxygen and the composite material. Based on a comparison of regulatory requirements and the results of research on metal-composite cylinders, the feasibility of forming a composite shell on a steel liner without changing the operating pressure has been demonstrated. This allows for the redistribution of hoop stresses onto the composite shell and reduces the overall weight of the structure by 15–30% while maintaining strength, safety, and oxygen compatibility.

Keywords: composite materials, strength, liner, cylinder classification, aviation systems, design, mechanical properties.

References

1. OST 1 03749-74. 1974. 7 p.

2. International Organization for Standardization. (2020). Gas cylinders – Design, construction and testing of refillable composite gas cylinders and tubes – Part 1: Hoop wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l (ISO Standard No. ISO 11119-1:2020).

3. International Organization for Standardization. (2020). Gas cylinders – Design, construction and testing of refillable composite gas cylinders and tubes – Part 2: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l with load-sharing metal liners (ISO Standard No. ISO 11119-2:2020).

4. International Organization for Standardization. (2020). Gas cylinders – Design, construction and testing of refillable composite gas cylinders and tubes – Part 3: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l with non-load-sharing metallic or non-metallic liners or without liners (ISO Standard No. ISO 11119-3:2020).

5. Eko, A. J., Epaarachchi, J., Jewewantha, J., & Zeng, X. (2025). A review of type IV composite overwrapped pressure vessels. *International Journal of Hydrogen Energy*, 109, 551-573. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.108

6. Rahul, B., Chand, D. S., & Dharani, J. (2022). A comprehensive review on the performance analysis of composite overwrapped pressure vessels. *Engineering and Applied Science Research*, 49(2), 272-287. https://doi.org/10.14456/easr.2022.29

7. Air, A., Shamsuddoha, M., & Gangadhara Prusty, B. (2023). A review of Type V composite pressure vessels and automated fibre placement based manufacturing. *Composites Part B: Engineering*, 253, Article 110573. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110573

8. Mirzaei, J., Nouri Niyaraki, M., & Zarei, H. R. (2023). Design and experimental/numerical analysis of metal-composite vessel with spherical cap under internal pressure. *Mechanics of Advanced Composite Structures*, 10(2), 247-256. https://doi.org/10.22075/macs.2022.28318.1432

9. Amraee Rad, G., & Rahimi, G. (2021). Design and analysis of metal-composite vessel under internal pressure. *International Journal of Advanced Design and Manufacturing Technology*, 14(4), 1-10. https://doi.org/10.30495/admt.2021.1918180.1234

10. Bouhala, L., Karatrantos, A., Reinhardt, H., Schramm, N., Akin, B., Rauscher, A., Mauersberger, A., Taşkıran, S. T., Ulaşlı, M. E., Aktaş, E., & Tanoğlu, M. (2024). Advancement in the modeling and design of composite pressure vessels for hydrogen storage: a comprehensive review. *Journal of Composites Science*, 8(9), Article 339. https://doi.org/10.3390/jcs8090339

Kateryna Chava – PhD student in the specialty G9 “Applied Mechanics” at the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National University “Kyiv Aviation Institute”, 1 Lyubomyr Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, email: ekaterinaserheevna@gmail.com, https://orcid.org/0009-0000-9181-8008