

УДК 351.861

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ БАЛОНІВ ДЛЯ ДИХАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА СТИСНЕНОМУ ПОВІТРІ

Тарадуда Д.В.¹, к.т.н., доц.

¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

Забезпечення безпеки рятувальника під час роботи у непридатному для дихання середовищі було і залишається пріоритетним напрямом розвитку та вдосконалення дихальних апаратів на стисненому повітрі.

Аналіз дихальних апаратів, які на сьогодні експлуатуються в підрозділах рятувальних служб України говорить про їх застарілість та високий рівень технічного зношення [1]. Поряд із цим, вивчення широкого спектра моделей автономних ізолюючих дихальних апаратів на стисненому повітрі, представлених на українському ринку, знайомство з етапами їх створення та удосконалення дозволило визначити основні тенденції розвитку та вдосконалення сучасних дихальних апаратів, а саме: підвищення їх надійності, розширення функціональних можливостей, підвищення ергономічності.

У зв'язку з вище наведеним, виникає актуальна наукова проблема – моральна та технічна застарілість дихальних апаратів на стисненому повітрі, які знаходяться на озброєнні в підрозділах рятувальних служб нашої держави.

Для вирішення поставленої наукової проблеми необхідно провести аналіз літературних даних щодо дослідження характеристик та розробки конструкцій балонів з повітрям під високим тиском як підрозділів рятувальних служб, так і об'єктів цивільної інфраструктури. Аналіз літературних джерел [2-6] показав, що невирішеною частиною проблеми є розробка та проведення розрахунків конструкції композитних балонів з повітрям під високим тиском з покращеними характеристиками для підрозділів рятувальних служб.

Метою роботи є підвищення надійності, довговічності, а також зниження маси балонів для дихальних апаратів на стисненому повітрі підрозділів ДСНС та інших формувань, які працюють у непридатному для дихання середовищі.

Досягнення поставленої мети потребує вирішення наступних завдань:

– розробити конструкцію композитних балонів високого тиску з покращеними характеристиками;

– провести розрахунки конструкції композитних балонів високого тиску з покращеними характеристиками.

В результаті проведеного дослідження було досягнуто поставленої мети, а саме: підвищено надійність, довговічність, а також знижено масу балонів для дихальних апаратів на стисненому повітрі підрозділів ДСНС та інших формувань, які працюють у непридатному для дихання середовищі. Досягнення поставленої мети доведено наступними факторами: підвищення надійності і довговічності балонів для апаратів на стисненому повітрі було досягнуто шляхом укладання армуючого матеріалу за схемою «кокон» з багатозонним укладанням спіральних шарів, а розрахунок значень товщини армуючого матеріалу в багатозонних шарах балона виконувався з урахуванням розповсюдження деформації, тобто прораховувалися відносні деформації армуючого матеріалу в напрямку армування кожного шару і за оптимальний проект приймалося рівність деформацій в кожному шарі; знижено масу балонів для дихальних апаратів на стисненому

повітрі шляхом застосування композитних балонів з лейнером з органічних матеріалів, основою яких є синтетичні або природні високомолекулярні сполуки (полімери), аморфний матеріал яких не схильний до втоми в діапазоні відносних деформацій, що виникають при експлуатації балонів, крім того, лейнер з органічного матеріалу істотно знижує загальну масу балону і вартість його виготовлення в порівнянні з металевим.

Таблиця 1 – Параметри досліджених матеріалів і балонів

Матеріал лейнера	Товщина стінки лейнера, мм	Армуючий матеріал	Маса балона М, кг	Руйнівний тиск (Р), кгс/см ²	Масова досконалість μ , км
Поліетилен -273	2,2	скловолокно	5,2	790	11,09
Lupolen - 5261	2,2	скловолокно	5,1	800	11,45
Lupolen - 4261	4,0	органоволокно	4,4	≥ 900	$\geq 14,93$

Як видно з табл. 1, міцність балонів реалізується при задовільній їх масі.

Випробування заправлених балонів на газопроникність показало:

– балон з лейнером з Lupolen-5261 товщиною стінки 2,2 мм втратив герметичність через 45 діб витримки при робочому тиску (30 МПа). Сталася розгерметизація по сліду від гнізда пресформи (не якісно виготовлена пресформа, стоншення лейнера у цьому місці до 1,3 мм).

– балон з лейнером з Lupolen-4261 товщиною стінки 4 мм, в заправленому на робочий тиск (30 МПа) при спостереженні протягом 135 діб втратив у вазі 30 г.

Таблиця 2 – Продукти, які виділяються з матеріалу лейнерів

Матеріал лейнера	Вміст мг/м ³			
	ізопропанол	ізобутанол	бутанол	формальдегід
ГДК середньодобова	0,6	0,1	0,1	0,003
ГДК робочої зони	10	10	10	0,5
Lupolen-4261	0,03	0,02	0,10	не знайдений
Lupolen-5261	0,10-0,13	0,10-0,12	не знайдений	не знайдений

Як видно з табл. 2, концентрація органічних речовин, що виділилися з лейнера, виготовленого з Lupolen-4261, не перевищує ГДК середньодобову ГДК робочої зони. Витримка протягом 4-х годин при температурі 60 0С заправленого балону з лейнером з Lupolen 4261 призвело до збільшення виділення приблизно в два рази ізопропанолу, ізобутанолу, бутанолу, але при цьому їх зміст залишився нижче ГДК робочої зони. Слід зазначити, що при випробуванні лейнера з Lupolen-5261 додатково виявлено виділення 4-метил-2 пентанол в кількості 0,15...0,20 мг/м³, що перевищує середньодобову ГДК у 2-3 рази.

Проведені дослідження дозволили отримати конструкцію балона високої масової досконалості і вартості менше, ніж аналогічний металопластиковий балон, а також: забезпечити необхідну несучу здатність балонів; визначити проникність повітря через стінку лейнера; дослідити виділення органічних сполук з матеріалу лейнерів в процесі зберігання балона, заправленого повітрям. При розрахунку балона високого тиску був обраний лейнер з полімеру полівінілхлориду. Основний матеріал, що використовується при виробництві балонів, має багат шарову структуру: основний шар з синтетичної тканини (поліестер) з двостороннім покриттям з шарів поліхлорвінілу, пов'язаних між

собою спеціальним адгезивним складом. Лицьова сторона має додатковий захисний шар з поліуретану, що підвищує стійкість до абразивного стирання. Матеріал стійкий до впливу ультрафіолетового випромінювання, солоної води, пального і мастил. Шви лейнера виконуються методом з'єднання «в стик», з проклеюючою з двох сторін стрічками з основного матеріалу. Для склейки застосовується клей на поліуретановій основі, який, вступаючи в хімічний контакт з матеріалом склеюваних поверхонь, дає ефект «холодної зварки». Лейнер виготовляється в такому розмірному співвідношенні, щоб в процесі заповнення повітрям він щільно зайняв своє місце по контуру силової оболонки. При подачі тиску, який створює напругу в стінці лейнера по осьовому напрямку, рівному межі плинності матеріалу, не виникає руйнівних сил в стінці лейнера, а при більшому тиску основне навантаження бере на себе силова оболонка.

Як недолік даного дослідження можна відзначити наступне: у процесі просочення базальтового наповнювача сполукою спостерігається дещо більший його обсяг у зв'язку з гідрофільністю поверхні волокон, також слід звернути увагу на неоднорідність механічної міцності у зв'язку з розлохмочуванням відділових філаментів. Ця проблема може бути вирішена в перспективі шляхом застосуванням поверхнево-активних речовин в якості активатора для зміни енергії Гіббса.

Таким чином, розробка композитних балонів високого тиску до 30 МПа з використанням лейнера з Lupolen-4261 товщиною 4 мм є досить перспективною з точки зору всіх поставлених у дослідженні напрямків: міцності, проникності і забезпечення гігієнічних норм.

Подальші дослідження планується присвятити випробуванням натурних зразків балонів для дихальних апаратів на стисненому повітрі підрозділів ДСНС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Єлізаров О. В. Тенденції удосконалення ізолюючих дихальних апаратів на стисненому повітрі. *X Міжнародна науково-практична конференція «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»*. 2019. Черкаси, Україна 11–12 квітня 2019. http://edu-mns.org.ua/img/news/120/zbirnik_11-12.04.2019.pdf#page=27
2. Mair G. W., Scherer F., Scholz I., Schönfelder T. The Residual Strength of Breathing Air Composite Cylinders Towards the End of Their Service Life: A First Assessment of a Real-Life Sample. *ASME 2014 Pressure Vessels and Piping Conference*. 2014. Anaheim, California, USA 20–24 July 2014. <https://doi.org/10.1115/PVP2014-28168>
3. Zhi-Bo H., Pan L., Da-Sheng W., Yue-Bing L. Fracture toughness evaluation of 37CrNi3MoVE steel used for high-pressure air storage cylinder. *Materials Express*. 2022. Vol. 12. N. 1. P. 123-132. <https://doi.org/10.1166/mex.2022.2133>
4. Azeem M., Haji Ya H., Azad Alam M., Kumar M., Stabla P., Smolnicki M., Gemi L., Khan R., Ahmed T., Ma Q., Md Rehan Sadique, Akmar Mokhtar A., Mazli Mustaphaa. Application of Filament Winding Technology in Composite Pressure Vessels and Challenges: A Review. *Journal of Energy Storage*. May 2022. Vol. 49. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103468>
5. Mair G. W. Safety Assessment of Composite Cylinders for Gas Storage by Statistical Methods. Potential for Design Optimisation Beyond Limits of Current Regulations and Standards. *Book. Springer* 2017. P. 304. ISBN: 978-3-319-49710-5
6. Xiaoxiao Niu, Guangfa Hao, Chengliang Zhang, Lei Li. Design and Experimental Verification of Pressurized Cylinders in Hydraulic Rubber Hose Pressure Washers. *International journal on the science and technology «Actuators»*. 2021. Vol. 10. 139 p. <https://doi.org/10.3390/act10070139>