

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ОВТ

УДК: 614.894.7

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.65-74>Г. Гапоненко<sup>1</sup>, Р. Мельник<sup>2</sup>, І. Горчинський<sup>2</sup>, А. Каршень<sup>2</sup>, Ю. Фтемов<sup>2</sup>, О. Ліщинський<sup>2</sup><sup>1</sup>Центр спеціальних водолазних робіт<sup>2</sup>Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Article history: Received 27 September 2022; Revised 11 October 2022; Accepted 25 October 2022

### КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПІДВОДНИХ ДИХАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Проблема пошуку і знешкодження вибухонебезпечних предметів у водних акваторіях морів та річок, що залишаються в результаті ведення бойових дій на території нашої країни, нагальна і потребує відповідного технічного оснащення. Технічне забезпечення (обладнання) для виконання підводних робіт, що є на озброєнні Збройних Сил України, є застарілим та може становити загрози для життя та здоров'я водолазів-саперів під час виконання складних бойових завдань за штатним призначенням. Одним із актуальних питань сьогодення є перехід ЗС України на стандарти НАТО. Враховуючи це, гостро постає питання не лише переходу на міжнародні стандарти, що регламентують процеси розробки, планування, випробування, експлуатації, ремонту чи модернізації озброєння та техніки, а й збереження життя особового складу під час виконання бойових завдань. Відповідно пошук шляхів підвищення безпеки військовослужбовців при виконанні водолазних спусків з проведенням вибухонебезпечних робіт є актуальним. Мета дослідження – проаналізувати можливість внесення конструктивних змін у підводні дихальні апарати (ПДА) з відкритим контуром дихання типу АВА та оцінити ефективність внесених змін за допомогою зведеного індексу ефективності. Проаналізовано типи ПДА з відкритим контуром дихання типу АВА, вказано основні переваги та недоліки ПДА з відкритим, напівзамкненим та замкненим контурами подачі газу для дихання. Розглянуто принципову схему ПДА типу АВА та запропоновано конструктивні рішення для підвищення безпеки водолазних спусків і робіт. Внесення до конструктивної схеми принципово іншого за виконанням редуктора та вентиля резервної подачі повітря надасть можливість контролювати запас повітря в ПДА, підвищить безпеку водолазних спусків і робіт. Запропоновані зміни в конструкції дозволять підвищити безпеку виконання водолазних спусків і підводних робіт. Отримані результати можуть бути використані при подальших наукових дослідженнях у напрямках модернізації та розробленні перспективних засобів водолазного спорядження.

**Ключові слова:** підводний дихальний апарат, водолазне спорядження з відкритою схемою дихання (відкритим контуром), зведений індекс ефективності.

### Постановка проблеми

Війни, терористичні акти, бойові спецоперації залишають по собі гуманітарні, соціально-економічні та інші наслідки. Одним з таких є розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів, що не детонували.

Вивчення міжнародної статистики, офіційних звітів, доповідей, наукової літератури дає нам змогу констатувати, що майже 80 країн світу мають проблему у виявленні та знешкодженні вибухонебезпечних предметів у підводній частині акваторії [1]. Ангола, Лівія, Мозамбік, Ліван, Німеччина, Франція, Сполучене Королівство, Японія та багато інших країн регулярно вилучають і знешкоджують вибухонебезпечні предмети. На сьогодні ця проблема є актуальною і для України.

До 2014 року основним завданням підрозділів ДСНС було знищення та знешкодження вибухонебезпечних предметів. До таких завдань залучались окремі

підрозділи (групи розмінування) інших силових структур сектору безпеки і оборони. Бойові дії, що ведуться на території України з 2014 року та відкрита агресія російської федерації тільки збільшують кількість вибухонебезпечних предметів на нашій території. Статистично підраховано, що рік ведення бойових дій потребуватиме до п'яти років гуманітарного розмінування. За цими показникам наша країна входить до першої десятки країн в світі з гуманітарної катастрофою щодо мінної безпеки. Забрудненість водних акваторій досить висока і активна фаза бойових дій продовжує відбуватись навколо акваторії Чорного та Азовського морів, яку ми не контролюємо, річки Дніпро, Сіверського Донця, Інгульця та інших. Тому прогнозувати терміни розмінування підводної частини цих водних акваторій досить складно.

Наразі, за офіційними даними, очищено понад 62000 га суходолу та майже 33 га акваторій, переважно на Київщині, Сумщині, Миколаївщині та Запоріжжі [2].

Проте кількість осіб, які загинули від детонації боеприпасів, що знаходились під водою, зростає.

Досвід розвідки та очищення водних акваторій в зонах бойових дій від вибухонебезпечних предметів у інженерних підрозділів Збройних Сил (ЗС) України є. Так, у 2016 році поблизу селищ Кримське, Причепилівка, Нижнє Слов'яносербського району Луганської області особовим складом водолазної станції під час проведення розвідки водної перешкоди було виявлено велику кількість боеприпасів різного калібру. Вибухонебезпечні предмети виявляли також у гирлі річки Сіверський Донець в місцях наведення мостових переправ.

Тому проблема пошуку і знешкодження вибухонебезпечних предметів, що залишаються в результаті ведення бойових дій на території нашої країни, нагальна і потребує відповідного технічного забезпечення. Технічне оснащення (обладнання) для виконання підводних робіт, що є на озброєнні ЗС України, застаріле та загалом не відповідає вимогам сьогодення, а в деяких випадках, навіть, може становити загрози для життя та здоров'я водолазів-саперів під час виконання складних бойових завдань. Крім виявлення та знищення вибухонебезпечних предметів водолази виконують й інші завдання, де також використовується водолазне спорядження, обладнання та майно.

Україна активно розвиває взаємовигідні відносини з розвинутими країнами, міжнародними організаціями на двосторонніх та багатосторонніх основах в різних галузях. Стратегічною метою України є повномасштабна інтеграція до європейських та євроатлантичних структур і повноправна участь у системі загальноєвропейської безпеки. Одне з актуальних питань сьогодення – перехід ЗС України на стандарти НАТО. Враховуючи це, гостро постає питання не лише переходу на міжнародні стандарти, що регламентують процеси розробки, планування, випробування, експлуатації, ремонту чи модернізації озброєння та техніки, а й збереження життя особового складу під час виконання бойових завдань.

Відповідно пошук шляхів підвищення безпеки військовослужбовців при виконанні водолазних спусків і вибухонебезпечних робіт є актуальним.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Аналіз друкованих джерел показав, що з досліджуваного напрямку вивчаються питання підготовки військовослужбовців-водолазів [3]-[5], медичного забезпечення водолазних спусків [6], безпеки водолазів при використанні різних типів водолазного спорядження [7], [8], розробляються нормативно-правові акти та керівні документи, інструкції з водолазних робіт [9]. Крім цього, проводяться наукові дискусії,

семінари, обговорення тощо [10], [11]. Наукова спільнота не стоїть осторонь цієї проблеми і активно шукає шляхи її вирішення.

У роботах [3]-[5] досліджено умови розвитку професійної компетентності водолазів та водолазів-підричників, виокремлено особливості професійної готовності до виконання завдань за призначенням, діям в екстремальних умовах та постійного підвищення професійної кваліфікації.

У статті [6] розглянуто порядок отримання медичного допуску та обсяг надання медичної допомоги для водолазів під час виконання водолазних спусків та підводних робіт, описано функціональні обов'язки і повноваження медичних працівників, що здійснюють заходи із медичного забезпечення.

За допомогою аналізу послідовності та міждисциплінарного дослідження вивчаються причини специфічних захворювань та смертельних випадків, спричинених зануренням [7], [8]. Цей метод аналізу дозволяє визначити фактори ризику та небезпечної поведінки під час дайвінгу.

У роботах [10]-[12] проаналізовано принципи роботи різних типів підводних дихальних апаратів (ПДА). Для проведення водолазних спусків і робіт, залежно від глибини занурення, тривалості перебування під водою та складності робіт, використовують водолазне спорядження відповідного типу. Розвиток технологій сприяє розширенню лінійки водолазного спорядження, що дозволяє використовувати його для виконання різного роду водолазних робіт через простоту застосування та збільшення функціонування.

Досліджуються питання удосконалення озброєння та техніки, життєвого циклу зразка, його якості, експлуатації, потенціалу [13]-[19]. Так, у роботі [13] розглянута можливість використання методу експертних оцінок для визначення бойових можливостей безпілотних авіаційних комплексів та ефективності їхнього застосування за допомогою оцінки ступеня узгодженості думок експертів.

У [13] описаний метод експертної оцінки, що використовує прості суб'єктивні оцінки певних показників як часткових, так і загальних. Для розрахунку часткових показників оцінювання ефективності застосування бойових гелікоптерів використовують математичну модель, описану в [14]. У роботі [15] методом експертних оцінок визначають вагові коефіцієнти для визначення стану технічних засобів. Перевагою експертного рейтингу є можливість класифікувати велику кількість військового озброєння. Однак цей підхід завжди залежатиме від суб'єктивної оцінки експертів, а сам метод є трудомісткий та важко відтворюваний. Комбінування легкодоступних загальних даних з технічними характеристиками (швидкість, дальність

ураження, запас ходу та ін.) дозволить змоделювати продуктивність та за допомогою експертного ранжування чи числових індексів кількісно оцінити і порівняти різні зразки озброєння [16].

На етапі проектування сучасних зразків озброєння, зокрема радіоелектронних засобів, при заданих значеннях показників надійності автори [17] пропонують використовувати модель оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою. Математична модель оцінки показників надійності враховує час роботи виробу в кожному з можливих режимів та враховує метрологічну надійність засобів вимірювальної техніки в процесі діагностування чи поточного ремонту обладнання (показник ремонтнопридатності).

Автори [18] оцінюють ефективність функціонування системи забезпечення процесів експлуатації та відновлення озброєння та техніки за результатами оцінювання ефективності забезпечення ресурсами кожного типу окремо з наступним визначенням показників ефективності системи загалом та врахуванням відповідних сумарних витрат на забезпечення ресурсами.

Для зразків, що уже були в експлуатації або плануються до постачання у війська, прогнозований обсяг витрат буде залежати від ціни зразка, залишкової вартості, часу експлуатації та підтримання живучості об'єкта [19]. Також ведеться пошук методичних підходів до прогнозування витрат на оновлення і закупівлю нових зразків озброєння та переобладнання наявних [19].

Однак питання щодо можливостей оцінки ефективності використання водолазного обладнання загалом та модернізованого зокрема, підвищення безпечних умов використання підводних дихальних апаратів (ПДА) майже не вивчається.

### **Формулювання мети статті (постановка завдання)**

Мета дослідження – проаналізувати можливість внесення конструктивних змін у підводні дихальні апарати з відкритим контуром типу АВА та оцінити ефективність внесених змін за допомогою зведеного індексу ефективності.

### **Виклад основного матеріалу**

Ведення інженерної розвідки підводних акваторій в умовах бойових дій вимагає дотримання певних вимог:

- чітка і постійна взаємодія з підрозділами прикриття;
- швидкість дій і обережність при проведенні спеціальних водолазних робіт;

- злагожденість водолазів водолазної станції;
- уміння та навички у виконанні водолазних робіт при наявності великої кількості вибухонебезпечних предметів на течії в умовах поганої видимості;

- контролювання високої психологічної напруги в умовах перебування безпосередньої близькості до противника;

- укомплектованість водолазної станції відповідним водолазним спорядженням, засобами гідроакустичного зв'язку, розвідки та пошуку;

- особливості пересування до місця виконання водолазних робіт.

До пошуку вибухонебезпечних предметів під водою допускається особовий склад, який пройшов спеціальну підготовку і має допуск відповідною комісією до виконання спеціальних водолазних робіт. Підводне навчання особового складу вимагає значних зусиль, індивідуальної підготовки та ресурсів підрозділу для забезпечення безпеки, реалізму та досягнення певних вимог або стандартів [3], [5]. Крім підготовки водолазних фахівців, підводного пошуку та виявлення, виконання розвідувальних чи рятувальних водолазних робіт необхідне відповідне комплектування водолазної станції особовим складом, водолазним майном та засобами забезпечення.

Сьогодні збройні сили країн-членів НАТО та України проводять підводні операції двох видів: відкриті та закриті [20].

Підводні операції відкритого типу застосовуються для будь-яких завдань, що не вимагають секретності, або коли можливості підводного виявлення обмежені. Дистанція під водою не перевищує 1500 м, глибина не більше 40 м, у виняткових умовах – до 58 м. Основне укомплектування для підводного плавання: гідрокомбінезон, маска, компас, вантажі, глибиномір, трубка, ласті, апарат в комплекті. Балони для стисненого повітря, що застосовують для підводних робіт, переважно сталеві або алюмінієві. Об'єм їх може бути різним, наприклад, 5 л, 7 л, 8 л, 10 л, 12 л, 15 л, 20 л з робочим тиском до 200 атм. Від об'єму балонів буде залежати час перебування водолаза під водою. Для пониження тиску з робочого до необхідного використовуються регулятори першого та другого ступеня. Українські військові водолази переважно користуються редуктором першого ступеня, що має камеру високого і низького тиску з установленим робочим тиском 9-9,5 атм. У такому редукторі до виходу високого тиску, зазвичай, приєднується шланг високого тиску з манометром, а до чотирьох виходів низького тиску приєднуються шланги низького тиску, що ідуть на легеневий автомат (редуктор другого ступеня, який вирівнює тиск на вдиху водолазу до тиску навколишнього середовища), октопус (запасний

легеневий автомат), шланг низького тиску, що йде до інфлятора (пульта керування компенсатором плавучості), при необхідності до гідрокомбінезона сухого типу приєднується четвертий шланг низького тиску на його піддув.

Підводні операції закритого типу, переважно, обмежені глибиною виконання робіт та часом занурення (тривалість – не більше 4 год.), оскільки саме в таких операціях використовують ПДА, де в системі дихання газові суміші з високим змістом кисню (в деяких ПДА навіть до 85%). Щоб запобігти кисневому отруєнню або навіть асфікції, водолазу необхідно контролювати час перебування під водою.

Таким чином, аналіз способів використання водолазних підрозділів України, провідних країн світу і НАТО дає нам можливість стверджувати, що в різних ситуаціях використовуються різні ПДА.

Якість виконання підводних робіт залежить від конструкції ПДА, що класифікується за різними ознаками: принциповою схемою дихання, глибиною занурення, часом перебування під водою, складом дихальної газової суміші, принципом роботи тощо. Важливою характеристикою, на наш погляд, є класифікація водолазних апаратів за типом газу, що використовують для дихання, діапазоном робочої глибини водолазного апарата та принципом роботи. Конструкція ПДА визначається типом контуру дихальної системи: відкритого, напівзамкнутого та замкнутого. Застосування такої класифікації дозволить систематизувати та проаналізувати тенденції розвитку ПДА, визначити їхні основні переваги та недоліки [12].

Підводні дихальні апарати з відкритим контуром часто називають повітряними дихальними апаратами. Для водолазних робіт також використовується апарат з відкритим контуром, але з подачею повітря по шлангу. Незалежно від типу автоматичного зниження тиску та урахування глибини занурення загальний принцип роботи таких в зазначених вище варіантах використання апаратів – однаковий.

Вивчаючи підводні операції закритого типу, ми з'ясували, що переважно у таких типах операцій використовують апарати регенеративні або рециркуляційні, що за принципом дихання відносять до закритого типу системи дихання. У таких операціях це актуально, тому що такі апарати не мають демаскуючих ознак на поверхні води, а саме бульбашок повітря.

Разом з перевагами такі апарати мають деякі недоліки:

- обмежена максимальна глибина занурення;
- використання газової суміші в системі дихання у рази дорожче, ніж використання звичайного стислого повітря;

- відносно складна конструкція будови, що впливає на надійність роботи та висуває вимоги до кваліфікації спеціаліста;

- можливість отримати ще дві водолазні хвороби (отруєння киснем, отруєння лугами), що взагалі відсутні при диханні атмосферним повітрям.

Переваги:

- не має демаскуючих ознак;
- відносно тривалий час перебування на малих глибинах;
- низька потреба у силах і засобах для забезпечення одягання водолаза.

Підводні дихальні апарати із замкнутим контуром поділяють на дві групи: кисневі та сумішеві. Останні здебільшого використовуються технодайверами. Основні недоліки апаратів, що мають в системі дихання дво- або три- мікс газових сумішей:

- складність системи газопостачання;
- відносна складність використання (обумовлена навченістю водолазів);
- через відсутність хороших датчиків парціального тиску подача газів може бути ненадійною;
- можливість отруєння вуглекислим газом;
- через закритість контуру у всіх таких конструкціях може відбуватися накопичення забруднень.

Основні переваги:

- швидке та оптимальне налаштування своїх робочих параметрів на певну глибину занурення.

Тенденції розвитку водолазних апаратів та аналіз напрямів розвитку показали великий інтерес в Європі та світі до водолазних апаратів з відкритим контуром типу АВА.

При виконанні водолазних робіт, присутність людського фактора в умовах впливу водного середовища підвищується, що обумовлено психофізіологічними особливостями людського організму. Негативний вплив на ендокринну та нервову системи організму водолаза матимуть погана видимість під водою, швидкість течії, ґрунт дна, вогневий вплив противника тощо. Такі стрес фактора будуть знижувати увагу водолаза та продуктивність його роботи.

Сам спуск під воду – це уже ризик, а виконання водолазних робіт з пошуку та знешкодження вибухонебезпечних предметів – подвійний ризик. У таких умовах роботи водолаз повинен уважно виявляти та вилучати (готувати до знешкодження) вибухонебезпечні предмети і одночасно стежити за роботою водолазного спорядження, наявністю стислого повітря в балонах дихального апарата.

Оснащення інженерних підрозділів ЗС України водолазним спорядженням на сьогодні є морально і технічно застарілим, що майже не поповнювалось останніх 30 років. Для укомплектування водолазних

підрозділів на заміну існуючих зразків періодично закуповують іноземне водолазне спорядження.

Водолазне спорядження, що є на озброєнні інженерних військ ЗС України, класифікують за способом передачі зовнішнього тиску; схемою дихання; способом забезпечення газовою сумішшю; складом дихально-газової суміші. За способом забезпечення газовою сумішшю водолазне спорядження класифікують на: автономне (при використанні запасу повітря, що є в балонах водолазного дихального апарата); неавтономне (при подачі повітря водолазу на вдих з поверхні по шлангу); універсальне (можливість використання в автономному та неавтономному варіантах).

На озброєнні ЗС України знаходяться повітряні ПДА двох типів: АВМ та АВА. За способом забезпечення газовою сумішшю – це водолазне спорядження з відкритою схемою дихання. У водолазних підрозділах знаходиться також обмежена кількість ізольованих дихальних апаратів типу ІДА-71У. Вони залишилися нам у спадщину, ще від Радянського Союзу і за усіма термінами технічної експлуатації повинні бути зняті з озброєння.

Відмінність між дихальними апаратами вітчизняного (ще радянського) виробництва типу АВМ та іноземним типу АВА суттєва. Так, час перебування водолаза під водою у ПДА типу АВА, що використовується у дайвінгу, залежить від глибини, важкості виконання робіт та часу для декомпресії. Реальний час перебування під водою може відрізнятися від паспортного залежно від глибини занурення та фізіологічних особливостей водолаза.

Водолазні дихальні апарати типу АВМ – бездекомпресійні. Це передбачено конструктивними особливостями. Наприклад, апарат АВМ-3, що раніше був на озброєнні, мав два балони по п'ять літрів (сумарно 10 л) і робочий тиск до 150 атм, це дозволяло спускатись на глибину до 40 м і при стандартній легеневій вентиляції (до 30 л за хвилину) та наявності залишкового тиску для резерву організм водолаза не встигав насититись азотом. Кожен водолаз знав, що такий апарат не потребує декомпресії і що, спустившись під воду, потрібно акцентувати свою увагу лише на роботі спорядження, своїх самовідчуттях і на виконанні поставленого завдання. Так само був прорахований і апарат типу АВМ-5. Конструкцією зазначених вище апаратів враховано фізіологію людини і вплив надлишкового тиску на організм водолаза, що дає можливість їхнього застосування особовим складом без ризику виникнення специфічних захворювань у водолазів. Перевагами ПДА типу АВМ також є простота конструкції, великий ресурс, надійність і безпека в експлуатації, можливість використання в умовах низьких температур води і повітря, простота технічного обслуговування

і головне – *наявність резерву повітря*. Однак у результаті стрімкого розвитку засобів, які використовуються у водолазній справі провідними країнами світу, дані апарати є морально застарілими.

Основні характеристики ПДА типу АВМ та АВА наведено в таблиці 1.

За основними технічними характеристиками ПДА обох типів є досить схожими.

Важливою особливістю конструкції апаратів типу АВМ є наявність резервного запасу повітря. Водолаз, перебуваючи під водою, отримує інформацію про закінчення запасу повітря в балонах (тяжкий вдих) і, відкривши вентиль резервної подачі повітря, має можливість вийти на поверхню. Той запас повітря, що передбачено як резервний, – забезпечить водолазу вихід на поверхню. Така конструктивна особливість забезпечує виконання водолазних робіт, концентруючи увагу виключно на завданні. Крім того, у АВМ передбачена можливість подачі повітря з поверхні по шлангу. Тоді весь обсяг повітря в балонах дихального апарата буде резервним.

Таблиця 1

#### Характеристики дихальних апаратів

Характеристики	АВМ-3	АВМ-5	АВА-2
Максимальна глибина спуску: автономний варіант, м	40	60	40
подача повітря шлангом, м	30	40	-
Опір диханню: при вдиханні, мм вод. ст.	50	50	10-20
при видиханні, мм вод. ст.	50	50	20-35
Тиск повітря в редукторі, атм.	3-4	5-8	9-9,5
Тиск повітря в балонах, атм.	150	150	230
Об'єм балона, дм <sup>3</sup>	2×5	2×7	1×15 2×10
Маса апарата, кг	21	22	20
Резервний запас повітря: один балон, дм <sup>3</sup>	30-40	40-	-
два балони, дм <sup>3</sup>		60- 20- 40	-

Використання апаратів типу АВА досить поширене в інженерних підрозділах ЗС України. На наш погляд, було великою помилкою поставити на озброєння зразки водолазного спорядження для дайверів без належної апробації його у військах встановленим порядком і без висновків та рекомендацій водолазних експертів. Незважаючи на низький опір диханню, що полегшує процес дихання для водолаза, ці апарати мають ряд недоліків, а саме:

- відсутність можливості подачі стислого повітря шлангом з поверхні;
- відсутність резервного запасу повітря;

- обсяг повітря в балонах і тактико-технічна глибина спуску унеможливує бездекомпресійний спуск водолаза (сумарна кількість повітря приведена до нормального атмосферного тиску в апаратах типу АВМ набагато менша, а з урахуванням резерву взагалі мала. У ПДА типу АВА кількість повітря збільшена за рахунок робочого тиску і ємності балонів, тому час водолаза під водою збільшується. Відповідно організм водолаза встигне відреагувати на надлишковий тиск і розчинити у крові водолаза інертний газ – азот, що сприятиме декомпресії).

Відповідно, апарат типу АВА частково відповідає вимогам військової безпечної експлуатації, що підвищує складність водолазних спусків і робіт. Відсутність резервного запасу повітря та необхідність постійного контролю часу спонукають до внесення конструктивних змін (модернізації) до схеми дихання ПДА типу АВА.

Принципова схема дихання в апараті типу АВА наведена на рис. 1. Повітря зберігається в балонах під робочим тиском 230 атм. Через основний вентиль подачі повітря з редуктором I ступеня, що автоматично знижує тиск до 9-9,5 атм повітря розподіляється на основний та резервний редуктори II ступеня (легеневі автомати) та магістралі високого тиску, що під'єднані до портів редуктора I ступеня.

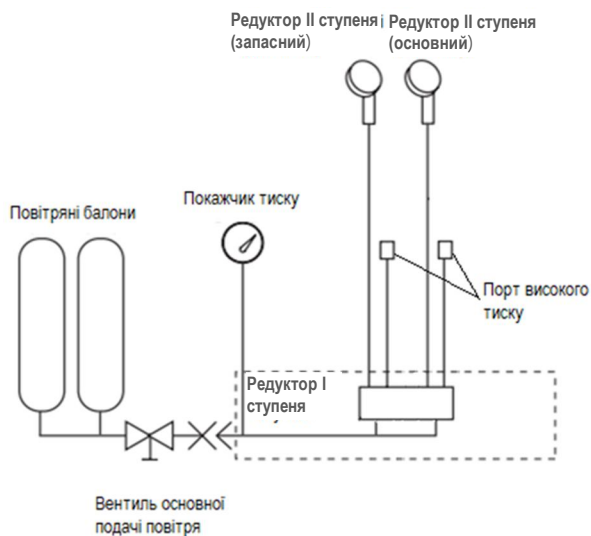


Рис. 1. Принципова схема дихання підводного дихального апарата типу АВА

Для підвищення безпеки водолазних спусків і робіт, відповідності умовам безпеки та європейським і натівським стандартам пропонується доповнити конструктивну схему дихальних апаратів типу АВА додатковими резервним редуктором та вентилем (рис. 2).

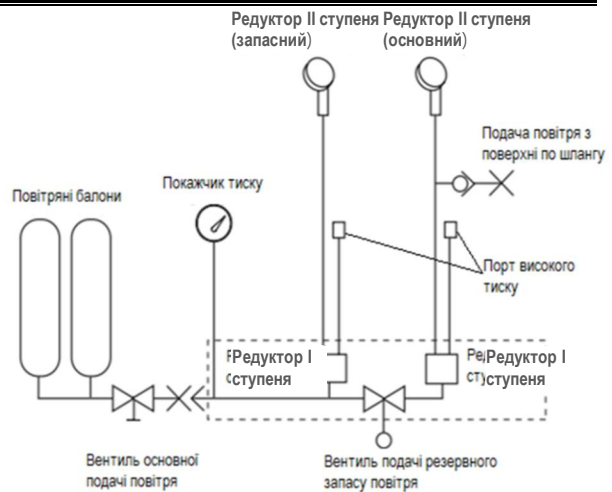


Рис. 2. Принципова схема роботи модернізованого підводного дихального апарата типу АВА (аналог INTERSPIRO)

Редуктор I доповнюється дублюючим редуктором на випадок відмови першого в роботі. Крім того, пропонується розмістити резервний вентиль в конструкцію редуктора I, який водолаз повинен відкрити, якщо тиск в балонах апарата зменшиться до 40-60 атм (створюється резервний об'єм повітря), про що він буде проінформований утрудненим вдихом через легеневий автомат. На лінії високого тиску слід передбачити можливість підключення шлангу для подачі повітря з поверхні.

Внесення таких конструктивних рішень дозволить підвищити продуктивність (ефективність) водолазних робіт, збільшити час на виконання завдань, зменшити ризик виникнення специфічних захворювань і найважливіше – забезпечити безпеку водолаза

Для порівняння оцінки ефективності застосування ПАД можна скористатися методикою, що дозволяє оцінити окремі значення продуктивності, характеристик (критеріїв тощо) проведення підводних робіт для досліджуваної та еталонної систем [13], [16], [21]

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n X_i / X_e}{n} \cdot 100, \quad (1)$$

де  $E$  – зведений індекс ефективності, %.

$X_i$ ,  $X_e$  – продуктивність (властивість або будь-яка характеристика) для досліджуваної та еталонної системи відповідно;

$n$  – кількість включених змінних для порівняння.

Зведений індекс ефективності складається з кількох підіндексів, кожен з яких представляє фактор, який має вагоме значення (наприклад, запас кисню, тиск у балонах). Фактори підіндексів, у свою чергу, операціоналізуються у змінні, які можна виміряти і які мають охоплювати ключові елементи цього фактора

(наприклад, діапазон глибин, вага, мобільність). Значення кожної змінної потім ставиться у відношення до відповідного значення системи відліку.

Загальний принцип полягає в тому, що кількість включених змінних повинна бути мінімальною, щоб будь-яке покращення певного показника ефективності не було розведене великою кількістю змінних. Це також мінімізує ризик збігу між включеними значеннями. Невелика кількість змінних фактично фіксуватиме продуктивність системи. Це модель, де якість обладнання оцінюється через кількісні показники ефективності, тоді як усі інші умови вважаються рівними або вільними від контексту *за інших рівних умов*.

Оцінити ефективність ПДА можна на основі двох критеріїв (характеристик): критерію безпеки ( $Q$ ) та критерію технічної ефективності ( $R$ ) [21].

Критерій безпеки виконання водолазних робіт з ПДА описується наступною залежністю

$$Q = f(Q_L; Q_E), \quad (2)$$

де  $Q_L$  – критерій безпеки для водолаза;

$Q_E$  – критерій безпеки для довкілля;

Критерій безпеки  $Q_L$  визначає можливі загрози травмування, отримання специфічних захворювань та загибелі водолазів під час роботи під водою. Основними причинами, що спонукають до збільшення цього показника, є помилки у розрахунках тривалості знаходження водолазів на глибині, помилки в експлуатації ПДА та іншого водолазного спорядження, наявність у складі підводних об'єктів небезпечних речовин, відмова техніки тощо.

Критерій безпеки для довкілля  $Q_E$ , відповідно, оцінює загрози, які можуть виникнути під час виконання водолазних робіт на донній поверхні та водному середовищу. Наприклад, зміна природного рельєфу дна у результаті знешкодження вибухонебезпечних предметів, підводних розкопок, забруднення водного середовища у результаті витоку небезпечних речовин тощо.

Оскільки числові значення кожного з критеріїв  $Q_L$  та  $Q_E$  знаходяться у діапазоні  $\{0, \dots, 1\}$ , то можна порівняти їх з імовірністю  $P_L$  та  $P_E$  того, що відповідна небезпечна подія не настане. Відповідно, припускаючи незалежність аварійних подій, приймаємо послідовну структуру розрахунку ймовірності появи аварійних ситуацій, при яких підводні роботи припиняються. Тоді критерій безпеки  $S$  визначатиметься як добуток ймовірностей  $P_L$  та  $P_E$ .

Критерій виробничої (технічної) ефективності ПДА описується залежністю:

$$R = f(R_K; R_O; T), \quad (3)$$

де  $R_K$  – технічні характеристики ПДА, що відповідають певному виду техніки та обраній технології

проведення підводних робіт відповідно до вимог, необхідних для виконання завдання (робоча глибина, вантажність, універсальність, якість виконання підводної роботи тощо);

$R_O$  – експлуатаційні характеристики ПДА (рівень надійності, автоматизації, обмеження щодо застосування);

$T$  – розрахункові витрати часу на виконання завдання обраним типом ПДА, що аналізуються, год.

Критерій виробничої ефективності  $R$  теж може бути представлений добутком:

$$R = R_K \cdot R_O \cdot T$$

Множники  $R_K$  і  $R_O$  визначаються як добутки коефіцієнтів, що відповідають технічним та експлуатаційним характеристикам. Наприклад, відповідності типу водолазного оснащення та ймовірності безвідмовної його роботи, техніки виконання підводних робіт на заданій глибині, експлуатаційних обмежень застосування за гідрокліматичними умовами, функціональної універсальності підводної техніки тощо.

Витрати часу  $T$  на виконання поставленого завдання обраним видом підводного спорядження залежить від виду підводної роботи та характеристик підводного об'єкта. Для лінійного руху водолаза над ґрунтом при виконанні пошукових робіт витрати часу можна визначити за відношення:

$$T = t_{\text{занурення}} + t_{\text{виконання}} + t_{\text{декомпресії}} + \frac{S}{h \cdot v},$$

де:  $t_{\text{занурення}}$  – час, необхідний для занурення на визначену глибину, год.;

$t_{\text{виконання}}$  – час, необхідний для виконання підводних робіт, год.;

$t_{\text{декомпресії}}$  – час для декомпресії (щоб запобігти виникненню специфічних водолазних захворювань), год. Як правило,  $t_{\text{декомпресії}} > t_{\text{занурення}}$ ;

$S$  – площа донної поверхні, що необхідно обстежити, м<sup>2</sup>;

$h$  – ширина смуги обстеження, м;

$v$  – лінійна швидкість руху водолаза над ґрунтом, м/год.

Просторовий рух водолаза вимагає врахування витрат часу на тривимірний рух, а використання маніпуляторів чи обстеження (розвідки, пошуку вибухонебезпечних предметів) – на маневрування, позиціонування та підводних маніпуляцій.

Для порівняння часто користуються ще одним критерієм оцінювання – ціновим ( $C$ , грн.) [16], [21], що оцінює ефективність зразка та технології його використання як суму показників вартості наступних складових:

$$C = C_X + C_Y + C_Z, \quad (4)$$

де  $C_x$  – вартість придбання водолазного спорядження, грн.;

$C_y$  – вартість експлуатації (технічної підтримки) водолазного спорядження, грн.;

$C_z$  – вартість утилізації водолазного спорядження, грн.

Застосування цього критерію може бути покладено в основу вибору й обґрунтування матеріально-технічного забезпечення на етапах планування закупівель (використання) спорядження.

Отже, вираз  $I$  для визначення зведеного індексу ефективності ПДА матиме вигляд:

$$E = \frac{(S_i/S_e + R_i/R_e + C_i/C_e)}{3} \cdot 100,$$

де  $S_i, R_i, C_i$  – критерій безпеки, критерій технічної ефективності та ціновий критерій відповідно для ПДА, що зазнав конструктивних змін;

$S_e, R_e, C_e$  – критерій безпеки, критерій технічної ефективності та ціновий критерій відповідно для еталонного (вихідного) зразка ПДА.

Для того, щоб зберегти модель вільною від контексту, включені фактори представлені у незваженій формі, оскільки відносна важливість кожного критерію буде залежати від рівня виконання завдань. Після визначення відповідних факторів, що впливають на продуктивність ПДА, кожен фактор необхідно перевести в кількісно визначену змінну, що знаходиться у діапазоні  $\{0, \dots, 1\}$ .

Обчислення проводили за допомогою програмного забезпечення MathLab, результати наведені у табл. 2.

Таблиця 2

#### Оцінка ефективності звичайного та модернізованого підводного дихального апарата типу АВА

Критерій	Звичайний ПДА типу АВА (еталон)	Модернізований ПДА типу АВА
$Q_L$	0.61	0.76
$Q_E$	0.51	0.51
$Q$	0.31	0.39
$R_K$	0.71	0.71
$R_O$	0.61	0.74
$T$	0.74	0.88
$R$	0.32	0.46
$C$	0.43	0.44
$E$	100	124

Зведений індекс ефективності для ПДА типу АВА з внесеними конструктивними змінами становить 124 бали, що вказує на перевагу над не модернізованим ПДА до 20 % і доводить позитивність виконання конструкторських рішень. Збільшення критерію безпеки для водолаза, експлуатаційних характеристик (збільшення рівня надійності) та витрат часу на виконання завдання вказує на підвищення

безпеки особового складу під при проведенні водолазних спусків і робіт.

Спроба виміряти якість модернізованого ПДА типу АВА, включно за обраними критеріями безпеки, технічної ефективності та цінової політики є певним спрощенням складної реальності, оскільки в бойових умовах характеристики (критерії) визначатимуться чинниками, екзогенними для самої окремої системи. Керівництво, комунікації, матеріально-технічне забезпечення та технічне обслуговування також є життєво важливими факторами, які визначають загальну продуктивність обладнання.

### Висновки

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки:

- заміна редуктора І ступеня, який використовується в апаратах типу АВА на редуктор, що використовуються в апаратах типу «INTERSPIRO», на наш погляд, допоможе підвищити безпеку водолазних спусків і робіт, які виконують водолази ЗС України, а апробація у водолазних підрозділах сектору безпеки і оборони з висновками та рекламаціями тільки прискорить процес;

- після висновків експертів поставити на озброєння в номенклатуру апробований редуктор І ступеня;

- зобов'язати зробити заміну застарілого редуктора І ступеня, що стоїть на озброєнні, на новий;

- з'явиться перспектива підключення шланга, що дозволить використання апаратів типу АВА в шланговому варіанті;

- запропоновані конструктивні зміни дозволять підвищити продуктивність (ефективність) виконання водолазних спусків і підводних робіт, розширюючи час перебування водолаза до необмеженого (шланговий варіант).

Отримані результати можуть бути використані при подальших наукових дослідженнях у напрямках модернізації та розроблення перспективних зразків водолазного спорядження.

### Список літератури

1. A Guide to survey and clearance of Underwater Explosive Ordnance. Geneva. April 2016. 58 p.

2. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Офіційний сайт. URL: <https://dsns.gov.ua/>

3. Галімов А.В. Розвиток та формування водолазної та підривної справи. *Вісник Національного університету оборони України*. 2014. № 3 (40). С. 53-58.

4. Окіпняк Д.А. Особливості професійної готовності саперів (водолазів-підривників) до виконання завдань за. 142-146. DOI: [https://doi.org/10.33577/призначенням.Військово-технічний\\_збірник.\\_2016.\\_№\\_14.\\_С\\_2312-4458.14.2016.142-146](https://doi.org/10.33577/призначенням.Військово-технічний_збірник._2016._№_14._С_2312-4458.14.2016.142-146)

5. Гапоненко Г. Філософські та загальнонаукові погляди на процес підготовки водолазів-підривників на засадах



компетентнісного підходу. *Військова освіта*. 2016. № 2 (34). С. 40-45. DOI: <https://doi.org/10.33099/2617-1783/2016-2/40-45>

6. Смірнова В.Л., Репута В.В. Медичне забезпечення водолазних спусків і робіт у системі Державної служби України з надзвичайних ситуацій. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*. 2021. № 1 (87). С. 40-44. DOI: <https://doi.org/10.11603/1681-2786>. 2021.1.12141.

7. Haynes P. Increasing the probability of surviving loss of consciousness underwater when using a rebreather. *Diving Hyperb Med*. 2016. № 46 (4). pp. 253-259. PMID: 27966205.

8. Casadesús J.M., Aguirre F, Carrera A., Boadas-Vaello P., Serrando M.T., Reina F. Diving-related fatalities: multidisciplinary, experience-based investigation *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2019. Jun; № 15 (2). pp. 224-232. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-019-00109-2>

9. Про затвердження Інструкції з водолазних робіт у Збройних Силах України: наказ Міністерства оборони України від 14.01.2014 р. № 25. 200 с. *Офіційний вісник України*. 2014. № 33. С. 43.

10. Блінцов В.С., Гапоненко Г.М., Томашук Р.А., Сила І.М. Погляди командування інженерних військ ЗС України щодо подальшого розвитку водолазної техніки і обладнання для забезпечення водолазних робіт. Стан забезпеченості ЗС України водолазною технікою і обладнанням для забезпечення водолазних робіт. Проблемні питання та шляхи їх вирішення. *Підводна діяльність України: матеріали міжвідомчого наук.-техн. сем., 15-16 листопада 2010 р.:* тези допов. Державний науково-випробувальний центр ЗС України: Друкарня ДНВЦ, 2010. С. 13-18.

11. Блінцов В.С., Гапоненко Г.М., Томашук Р.А., Сила І.М. та інші Сучасні засоби водолазного озброєння. *Підводна діяльність України: матеріали міжвідомчого наук.-техн. сем., 15-16 листопада 2010 р.:* тези допов. Державний науково-випробувальний центр ЗС України: Друкарня ДНВЦ, 2010. С. 140-168.

12. Kłos R. Principles of work of different types of underwater breathing apparatus. *Polish Maritime Research*. № 4 (58). 2008. Vol. 15; pp. 72-84. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10012-007-0100-3>

13. Per Olsson. Measuring Quality of Military Equipment. *Defence and Peace Economics*, 2022. №33:1. pp. 93-107. DOI: <https://doi.org/10.1080/10242694.2020.1851474>.

14. Hao Wu, Lu Gao, Mingyu Li. Effectiveness Evaluation of Army Equipment Support Force in the New Situation. *The 2nd International Conference on Computing and Data Science*. January 2021. №: 32. pp. 1-4 DOI: <https://doi.org/10.1145/3448734.3450484>

15. Li H., Hao Y., Zhang X. Numerical Calculation Method of Target Damage Effectiveness Evaluation under Uncertain Information of Warhead Fragments. *Mathematics*. 2022. 10. 1688. DOI: <https://doi.org/10.3390/math10101688>

16. Horowitz, S. A., B. R. Harmon, D. B. Levine. In-Cation Adjustments for Defence Acquisition. *Defence and Peace Economics*. 2016. №27 (2): pp. 231-257. DOI: <https://doi.org/10.1080/10242694.2015.1093758>

17. Сакович Л.М., Рижов С.В., Небесна Я.Е., Вовк С.В. Модель кількісної оцінки значень показників надійності радіостанцій тактичної ланки управління. *Військово-технічний збірник*. 2019. №20, С. 33-41. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019.33-41>

18. Опенько П., Миронюк М., Кобзев В. Фоменко Д. Методичний підхід щодо оцінювання ефективності забезпечення процесів експлуатації та відновлення зразків озброєння та військової техніки ресурсами. *Social development & Security*. Vol. 10, №. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2020.10.1.15>

19. Леонтьев О.Б., Науменко М.В., Методичний підхід до прогнозування витрат на оновлення та використання парку озброєння та військової техніки. *Військово-технічний збірник*. 2021. № 24. С. 37-45. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.37-45>

20. Daly E. B. Military freefall and underwater operations: recommendations to improve roles and capabilities. USA. Fort Leavenworth, Kansas. 1993. 99 p.

21. Блінцов О.В., Надточий А.В. Узагальнена методика оцінки ефективності підводної техніки у проектах глибоководної археології. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 1/3 (67). С. 25-29 DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.21045>

## Reference

1. "A Guide to survey and clearance of Underwater Explosive Ordnance". Geneva. April 2016. 58 p. [in English].

2. "Derzhavna sluzhba Ukrainy z nadzvychaynykh sytuatsiy. Ofitsiynyy sayt" [The State Emergency Service of Ukraine. Official site] URL: <https://dsns.gov.ua/> [in Ukrainian].

3. Galimov A.V. (2014), "Rozvytok ta formuvannya vodolaznoi ta pidryvnoi spravy" [Development and formation of diving and subversive business]. *Bulletin of the National Defense University of Ukraine*. pp. 53-58. [in Ukrainian]

4. Okipnyak D.A. (2016), "Osoblyvosti profesiynoi gotovnosti saperiv (vodolaziv-pidryvnykiv) do vykonannya zavdan za pryznachenniam" [Peculiarities of the professional readiness of sappers (demolition divers) to perform tasks as assigned]. *Military-technical collection*. 2016. pp. 142-146. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.14.2016.142-146> [in Ukrainian]

5. Haponenko H.M. (2016), "Filosofski ta zagalnonaukovi poglyzdy na proces pidgotovky vodolaziv-pidryvnykiv na zasadah kompetentnisnogo pidhodu" [Philosophical and general scientific views on the process of training divers-subversives on the basis of a competence approach]. *Military education*. № 2. pp. 40-45. DOI: <https://doi.org/10.33099/2617-1783/2016-2/40-45>. [in Ukrainian]

6. Smirnova V.L. and Reputa V.V. (2021), "Medychnе zabezpechennya vodolaznyh spuskiv i robit u systemi Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychaynykh sytuatsiy" [Medical support of diving descents and works in the system of the State Emergency Service of Ukraine]. *Bulletin of social hygiene and health care organization of Ukraine*. № 1. pp. 40-44. DOI: <https://doi.org/10.11603/1681-2786.2021.1.12141>. [in Ukrainian]

7. Haynes P. (2016), Increasing the probability of surviving loss of consciousness underwater when using a rebreather. *Diving Hyperb Med*. № 46(4). pp. 253-259. [in English].

8. Casadesús J.M., Aguirre F, Carrera A., Boadas-Vaello P., Serrando M.T. and Reina F. (2019), Diving-related fatalities: multidisciplinary, experience-based investigation *Forensic Science, Medicine and Pathology*. № 15(2). pp. 224-232. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-019-00109-2> [in English].

9. The order of the Ministry of defense (2014), "Pro zatverdzhennia Instruksii z vodolaznyh robot u Zbroynyh Sylah Ukrainy": nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 14.01.2014 r. № 25" [About organization diving works in the Armed Forces of Ukraine]. *Ofitsiyni visnyk Ukrainy*. Issue 33. P.43 [in Ukrainian].
10. Blintsov V.S., Haponenko H.M., Tomashchuk R.A. and Syla I.M. (2010), "Pohlyady komanduvannya inženeryh vijsk ZS Ukrainy chodo podalshogo rozvytku vodolaznoi tehniky i obladnannya dlya zabezpechennya vodolaznyh robot. Stan zabezpechennosti ZS Ukrayiny vodolaznoyu tekhnikoyu i obladnanniam dlya zabezpechennya vodolaznykh robot. Problemni putannya ta shlyahy ih vyryshennya". [Views of the command of the engineering troops of the Armed Forces of Ukraine on the further development of diving equipment and equipment for diving operations. The state of provision of the Armed Forces of Ukraine with diving equipment and equipment for diving operations. Problematic issues and ways to solve them]. *Underwater activity of Ukraine: Proceedings of the Scientific and Technical Conference*, Kyiv. pp. 13-18. [in Ukrainian].
11. Blincov V.S., Haponenko H.M., Tomazhuk R.A. and Syla I.M. (2010), "Suchasni zasoby vodolaznogo ozbroennya" [Modern means of diving equipment]. *Underwater activity of Ukraine: Proceedings of the Scientific and Technical Conference*, Kyiv. pp. 140-168. [in Ukrainian].
12. Kłos R. (2008), Principles of work of different types of underwater breathing apparatus. *Polish Maritime Research*. № 4(58). Vol 15; pp. 72-84. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10012-007-0100-3> [in English].
13. Per Olsson (2022), Measuring Quality of Military Equipment. *Defence and Peace Economics*, 33:1. pp. 93-107. DOI: <https://doi.org/10.1080/10242694.2020.1851474> [in English].
14. Hao Wu, Lu Gao and Mingyu Li. (2021), Effectiveness Evaluation of Army Equipment Support Force in the New Situation. *The 2nd International Conference on Computing and Data Science*. January 2021. № 32. pp. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1145/3448734.3450484> [in English].
15. Li H., Hao Y. and Zhang X. (2022), Numerical Calculation Method of Target Damage Effectiveness Evaluation under Uncertain Information of Warhead Fragments. *Mathematics*. № 10. P. 1688. DOI: <https://doi.org/10.3390/math10101688> [in English].
16. Horowitz, S. A., B. R. Harmon, D. B. Levine. (2016). InÇation Adjustments for Defence Acquisition. *Defence and Peace Economics*. № 27 (2). pp. 231-257. DOI: <https://doi.org/10.1080/10242694.2015.1093758> [in English].
17. Sakovych L.M., Ryzhov E.V., Nebesna Y.E. and Vovk S.V. (2019), "Model killisnoi ocinky znachen pokaznykiv nadijnosti radiostancij tacychnoi lanky upravlinnya" [Model of quantitative assessment of the values of reliability indicators of radio stations of the tactical control unit]. *Military-technical collection*. № 20. pp. 33-41. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019.33-41> [in Ukrainian].
18. Openko P., Myronyuk M., Kobzev V. and Fomenko D. (2020), "Metodychnyj pidhid chodo ocynyuvannya efektyvnosti zabezpechennya procesiv ekspluatatsii ta vidnovlennya zrazkiv ozbroennya ta vijskovoï tehniky resursamy" [Methodical approach to assessing the effectiveness of providing the processes of operation and restoration of samples of weapons and military equipment with resources]. *Social development & Security*. Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2020.10.1.15> [in Ukrainian].
19. Leontev O.B. and Naumenko M.B. (2021), "Metodychnyj pidhid do prognozuvannya vytrat na onovlennya ta vykorystannya parku ozbroennya ta vijskovoï tehniky" [Methodical approach to forecasting the costs of updating and using the fleet of weapons and military equipment]. *Military-technical collection*. V. 24. pp. 37-45. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.37-45> [in Ukrainian].
20. Daly E. B. Military freefall and underwater operations: recommendations to improve roles and capabilities. USA. Fort Leavenworth, Kansas. 1993. 99 p. [in English].
21. Блінцов О.В. and Надточій А.В. (2014), "Uzahal'nena metodyka otsinky efektyvnosti pidvodnoyi tekhniky u proektakh hlybokovodnoyi arkhеолоhiyi" [A generalized methodology of estimating efficiency of underwater technologies in deep-sea archaeological projects]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 1(3(67)), pp. 25-29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.21045/> [in Ukrainian].

## DESIGN FEATURES OF UNDERWATER BREATHING APPARATUS

H. Haponenko, R. Melnyk, I. Horchynskiy, A. Karshen, Yu. Ftemov, O. Lischinsky

*The problem of finding and disposing of explosive objects in the water areas of seas and rivers that remain as a result of hostilities on the territory of our country is urgent and requires appropriate technical equipment. The technical support (equipment) for performing underwater work, which is in service with the Armed Forces of Ukraine, is outdated and can pose a threat to the life and health of sapper divers during the performance of complex combat tasks on a regular basis. One of the pressing issues today is the transition of the Armed Forces of Ukraine to NATO standards. Taking this into account, the issue of not only transitioning to international standards that regulate the processes of development, planning, testing, operation, repair or modernization of weapons and equipment, but also the preservation of the lives of personnel during combat missions is an urgent issue. Accordingly, the search for ways to increase the safety of military personnel during diving descents with explosive work is relevant. The purpose of the study is to analyze the possibility of making structural changes in underwater breathing apparatus (UBA) with an open breathing circuit of the ABA type and to evaluate the effectiveness of the changes made using a composite efficiency index. The types of UBAs with an open breathing circuit of the ABA type are analyzed, the main advantages and disadvantages of UBAs with open, semi-closed and closed circuits of gas supply for breathing are indicated. The principlescheme of the UBA type ABA was considered and constructive solutions were proposed to increase the safety of diving descents and works. Introducing a fundamentally different design of the reducer and the reserve air supply valve into the design scheme will provide an opportunity to control the air supply in the UBA, increase the safety of diving descents and work. The proposed changes in the design will improve the safety of diving descents and underwater work. The obtained results can be used in further scientific research in the direction of modernization and development of promising means of diving equipment.*

**Keywords:** *underwater breathing apparatus, diving equipment with an open breathing scheme (open circuit), composite efficiency index*