

КОНЦЕПТУАЛІЗАЦІЯ ФЕНОМЕНУ РЕЗИЛЬЄНТНОСТІ ОПЕРАТОРІВ ТАКТИЧНИХ БПЛА: ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ ТА СЕРЕДОВИЩНІ ВИМІРИ

CONCEPTUALIZATION OF THE RESILIENCE PHENOMENON IN TACTICAL UAV OPERATORS: PSYCHOPHYSIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL DIMENSIONS

У статті здійснено концептуалізацію феномену резильєнтності операторів тактичних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як багаторівневої соціотехнічної здатності до адаптації у високостресових умовах сучасних бойових операцій. Авторка підкреслює, що оператори БПЛА, попри фізичну безпеку, перебувають у стані постійного психоемоційного навантаження, що потребує нового підходу до розуміння та розвитку їхньої психологічної стійкості. Резильєнтність подається не як стабільна риса особистості, а як динамічна система когнітивної, емоційної та моральної регуляції, що формується у взаємодії людини з технологією та організаційним середовищем. Особливу увагу приділено феномену мета-тривожності, яка негативно впливає на операційну ефективність через порушення метакогнітивних процесів. Проаналізовано сучасні інтервенції, спрямовані на розвиток гнучкої резильєнтності, включно з тренінгами АСТ і MBSR, а також інженерними підходами до проектування систем адаптивного навантаження. Запропоновано інтегративну модель резильєнтності, що включає психологічний добір, системне проектування та організаційні механізми підтримки. Дослідження робить акцент на тому, що ефективна резильєнтність операторів формується не лише через індивідуальне тренування, а внаслідок емергентної взаємодії когнітивних стратегій, морального змісту професії, дизайну систем БПЛА та структур управління.

Ключові слова: резильєнтність, БПЛА, метакогніція, моральна травма, когнітивне навантаження, оператор, психологічна стійкість, АСТ, військова психологія, високонадійні системи

This article conceptualizes the phenomenon of resilience in tactical UAV (Unmanned Aerial Vehicle) operators as a multilayered sociotechnical capability to adapt under high-stress combat conditions. The author highlights that despite physical safety, UAV operators endure sustained psycho-emotional strain, necessitating a rethinking of resilience not as a fixed trait but as a dynamic interaction of cognitive, emotional, and moral regulation. The study emphasizes that resilience emerges through the interplay of human factors, machine design, and organizational environment. Special attention is given to meta-anxiety and its detrimental effects on operational performance via cognitive resource depletion. The article reviews interventions aimed at enhancing adaptive resilience, such as Acceptance and Commitment Therapy (ACT), Mindfulness-Based Stress Reduction (MBSR), and adaptive load-sensitive engineering solutions. A systemic model of resilience is proposed, integrating psychological selection, cognitive flexibility training, and resilient system architecture. The research underscores that effective resilience in UAV operations results not from isolated training, but from emergent dynamics between cognitive strategies, moral engagement, UAV system design, and command structure. This perspective encourages a shift toward "resilience by design" and "resilience by training" as dual approaches to operational reliability and mental health protection in high-risk unmanned military environments.

Key words: resilience, UAV, metacognition, moral injury, cognitive load, operator, psychological flexibility, ACT, military psychology, high-reliability systems

УДК 159.9:621.396.96-057.17
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5208.2025.69.2.34>

Сидоренко І.В.

ад'юнкт кафедри суспільних наук
Навчально-науковий інститут воєнної історії Національного університету оборони України
ORCID ID: 0009-0009-3624-780X

Постановка проблеми. Розвиток сучасних форм ведення війни призвів до появи нових операційних середовищ і нових категорій військового персоналу, зокрема операторів тактичних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які є технологічно незамінними, але психосоціально вразливими. На відміну від класичних військових, оператори БПЛА виконують завдання з високими ставками в умовно безпечному фізичному середовищі, проте зазнають значного психоемоційного навантаження. Їхня діяльність вимагає точності, прийняття рішень у режимі реального часу та етичної чутливості. Така специфічна професійна роль потребує переосмислення психологічної резильєнтності в цій групі не як сталої риси особистості, а як динамічного набору здатностей підтримувати ефективність у ситуаціях когнітивного перевантаження, емоційного напруження й системної невідзначеності.

В сучасних дослідженнях підкреслюють, що тактичні операції з БПЛА є багатокомпонентними та стресогенними [1-3]. Оператори змушені тривалий час зосереджувати увагу, працюючи під постійним психологічним навантаженням без фізичної розрядки. Вони мають справу з місіями, що передбачають безпосередню близькість до ворожих сил або ризик радіоелектронної боротьби. До цього додається складність самих систем: оператори повинні керувати складними технічними інтерфейсами, зберігати ситуаційну обізнаність у змінному бойовому середовищі та забезпечувати виконання місії в обмежені часові терміни.

Крім того, оператори БПЛА виконують одну з найінтелектуальніших і найемоційно напружених ролей у сучасних військових професіях. Вони наголошують, що резильєнтність у таких осіб не можна розглядати в межах парадигми, прийнятої для наземних військ або авіаторів [1]. Теоретичні

рамки мають включати поняття тривалого утримання уваги в умовах монотонії, швидкого перемикавання між потоками даних та резильєнтності до вторинної травматизації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Оператори тактичних БПЛА виконують одночасно складні завдання навігації, розвідки та наведення, інтерпретуючи сенсорну інформацію та діючи згідно з командними вказівками. Таке середовище потребує високого рівня когнітивної резильєнтності – здатності зберігати точність і якість суджень під час стресу. Wohleber et al. (2015) [5] зазначають, що резильєнтність як риса особистості є предиктором реакцій операторів на різні типи стресу (робоче навантаження проти соціального оцінювання). Їхні результати свідчать, що резильєнтність не є монолітною – її компоненти (емоційна регуляція, наполегливість, когнітивний контроль) мають різну вагу для підтримки ефективності у стресових умовах.

Крім того, резильєнтність у цьому випадку охоплює здатність запобігати професійному вигоранню в умовах рутинної роботи, яка періодично переривається різкими ситуаціями, що вимагають негайних і складних рішень. Armour і Ross (2017) [6] у систематичному огляді підтверджують, що навіть якщо оператори дронів не відповідають діагностичним критеріям ПТСР, вони часто мають вищий рівень психологічного виснаження та дистресу порівняно з іншими військовими. Повторне виконання місій, етична невизначеність (зокрема залучення до ударів) та порушення сну формують довготривалі загрози психічному здоров'ю.

Виклад основного матеріалу. Надійні процедури професійного добору є ключовими для виявлення кандидатів, здатних до роботи в умовах когнітивної та емоційної складності операцій БПЛА. Разом із тим зазначається, що підготовка операторів БПЛА має включати не лише технічні та операційні навички, а й спеціалізоване навчання з розвитку резильєнтності. Когнітивна та емоційна готовність до роботи з системами в нестабільному бойовому середовищі має бути складовою початкового навчання та регулярно підтримуватися за допомогою психологічного тестування й тренінгів [3; 4].

Udartseva обґрунтовує потребу в доборі на основі психофізіологічного профілю – часу реакції, сенсомоторної координації, емоційної стабільності та стійкості до втоми – що передбачає модель, у якій резильєнтність цілеспрямовано формується шляхом підбору за принципом «відповідності ролі». Такий підхід відповідає доктрині НАТО щодо оптимізації людської ефективності, де добір і навчання підпорядковані як підвищенню технічної спроможності, так і витривалості в бойових умовах.

У міжнародному контексті Steen, Håheim □ Saers і Aukland (2024) [7] вказують на суттєві прогалини у регуляції норвезьких військових операцій з БПЛА, зокрема щодо втоми пілотів і неефектив-

них механізмів відповідальності. Відсутність норм щодо часу відпочинку та цілісної системи звітності про помилки сприяє накопиченню втоми серед операторів – що є одним із ключових чинників зниження резильєнтності. Автори вважають, що впровадження принципів організацій високої надійності (High-Reliability Organizations, HRO), зокрема надмірності інформаційних каналів і формальних дебрифінгів, є критичним для розвитку інституційної резильєнтності, яка підтримує стабільність індивідуальних операторів.

Фокус дослідження на процесах осмислення, прийняття рішень і підтримки ефективності підкреслює, що резильєнтність повинна бути операціоналізована як на рівні людини, так і системи. Це узгоджується з поглядами Hancock і Cruik (2024) [8], які стверджують, що резильєнтність систем «людина-машина» має закладатися в програми навчання через розвиток когнітивної гнучкості й адаптивної реакції. Процедурних чек-листів недостатньо: оператори мають бути здатними до імпровізації в умовах непередбачених небезпек і зміни вимог до місії.

Оскільки БПЛА займають повітряний тактичний простір, напрацювання у сфері наземних безпілотних апаратів (UGV), описані Krecht et al. (2023) [9], можуть бути перенесені на авіаційну площину. Дослідники пропонують модель кількісного оцінювання резильєнтності за допомогою графів процесів (P-Graphs), які дозволяють класифікувати стани системи як функціональні, деградовані або відмовні. Аналогічна модель для операторів БПЛА дозволила б прогнозувати та відстежувати рівень резильєнтності в режимі реального часу. Індекс резильєнтності (R), нормований у межах від 0 до 1 на основі показників спроможності (q) та складності (M), може застосовуватися як для оцінки виживаності системи БПЛА, так і для моделювання взаємодії «людина-система». Коли когнітивне навантаження перевищує допустиме (аналог збоїв у підсистемі), продуктивність оператора падає нижче порогу місійної придатності. Така аналогія підсилює необхідність комплексного моделювання резильєнтності операторів.

Емоційне навантаження операторів БПЛА не можна недооцінювати. Тактичні оператори можуть переживати моральну травму як при виконанні ударних завдань, так і при спостереженні за руйнуваннями в режимі реального часу. Fernandes і Madhulika (2024) [12] наголошують, що психологічний добробут в евдемоністичному сенсі (сенса, майстерність, моральна суб'єктність) є не менш важливим за гедоністичний комфорт (відсутність стресу). Це відповідає підходу Американської психологічної асоціації, яка трактує добробут як здатність функціонувати та досягати цілей в умовах стресу, а не уникати негативних емоцій. Операторам потрібно формувати емоційну резильєнтність не лише до стресових подразників, а й до етичного дисонансу, що може супроводжувати їхню діяльність. Застосування стратегій прийняття, зокрема

методик АСТ (Acceptance and Commitment Therapy), описаних Evans et al. (2024) [13], сприятиме розвитку психологічної гнучкості – здатності, яка асоціюється з меншим рівнем дистресу та вищою резильєнтністю.

Одним із ключових напрямів розвитку сучасної військової доктрини застосування БПЛА є перехід від індивідуального керування апаратами до використання багатокомпонентних роїв дронів, здатних виконувати складні завдання у співпраці. Phadke і Medrano (2022) [11] запропонували системний аналіз резильєнтності роїв БПЛА, визначаючи її через чотири типи поведінкових реакцій: відновлення (rebound), стійкість (robustness), елегантна розширюваність (graceful extensibility) та сталу адаптивність (sustained adaptability). Ці якості лежать в основі того, чим має бути резильєнтність операторів тактичних БПЛА, які керують не лише окремим апаратом, а й координують, контролюють або переналаштовують рій у динамічних бойових умовах.

У цьому контексті резильєнтність оператора нерозривно пов'язана з резильєнтністю самої системи БПЛА. Здатність рою зберігати місійну цілісність при внутрішніх збоях (втрата одного або кількох дронів), порушенні зв'язку чи зовнішній загрозі паралельна психологічним викликам, які постають перед оператором, особливо в умовах високої швидкості прийняття рішень і великої цільності інформації. Як зазначають Wohleber et al. (2015) [5], індивідуальні відмінності в рисах резильєнтності впливають на реакції операторів на множинні джерела стресу, і цей вплив посилюється при керуванні кількома платформами одночасно.

Складність управління роєм у поєднанні з психологічним стресом, пов'язаним зі спостереженням за розподіленими системами, вимагає від операторів розвиненої емоційної регуляції, здатності до швидкого перемикавання мислення та системного бачення. Відповідно, підготовка з розвитку резильєнтності має включати інокуляцію до стресу, навички емоційного подолання, когнітивну гнучкість і компетентність у відмовостійких операційних процедурах.

Steen et al. (2024) [7] підкреслюють, що резильєнтність у контексті БПЛА не є виключно особистісною характеристикою – вона значною мірою залежить від командної координації та цілісності взаємодії людини й машини. Ефективна резильєнтність операторів тактичних БПЛА передбачає наявність чітких каналів обміну інформацією, зрозумілих протоколів та формалізованої взаємозалежності з іншими військовими елементами, зокрема управлінням повітряним рухом, наземним командуванням і сусідніми командами дронів.

Без такої системної основи – за наявності затримок у комунікації, неясності відповідальності або нормативної невизначеності – оператори зазнають більшого стресу й гірше зберігають когнітивну ефективність і емоційний контроль. Це має безпосередні наслідки для інтервенцій, спрямо-

ваних на розвиток резильєнтності: окрім індивідуальної психологічної підтримки, необхідні організаційні та доктринальні зміни.

Варто наголосити, що процедурна резильєнтність – тобто здатність системи підтримувати ефективність за допомогою правил, надлишковості та резервних стратегій – повинна поєднуватися з психологічною. Обидва типи мають бути здатними до відновлення у випадках навантаження або дестабілізації. Жоден із них не може замінити інший в умовах швидкоплинного бойового середовища.

Новітні дослідження, зокрема Hancock і Cruik (2024) [8], свідчать, що резильєнтність у складних системах взаємодії людини й машини (HMMS), як-от БПЛА, значною мірою базується на динамічному зворотному зв'язку, процедурній імпровізації та когнітивній гнучкості. Оператори повинні реагувати як на очікувані, так і на несподівані, не врегульовані загрози. У їхній моделі резильєнтність – це не просто перелік контрольних дій, а операційний стан, що включає адаптивну імпровізацію, швидку реакцію на аномалії та здатність свідомо і вчасно блокувати автоматизовані реакції.

Це особливо важливо для операторів тактичних БПЛА, де автономні або напівавтономні підсистеми відповідають за рутинні дії, але в критичних ситуаціях, зміні цілей або етичних дилемах саме людина повинна брати керування на себе. Оператор має розвивати адаптивну резильєнтність – довіряти системі, але в разі потреби переважати її рішення, залишаючись у рамках місійного завдання. Такий рівень операцій найкраще розвивається через тренування на основі сценаріїв, динамічне моделювання стресу та відпрацювання інтерфейсної майстерності.

Фактор втоми – одна з найменш досліджених, але критичних причин зниження резильєнтності операторів БПЛА. Armour і Ross (2017) [7] та Steen et al. (2024) [8] виявили, що втома й помилки, спричинені монотонією, є основними предикторами зниження продуктивності та підвищення ризику інцидентів. Це особливо актуально під час тривалих спостережних місій, де фізична безпека (наприклад, робота в захищеному приміщенні) маскує тяжкість психологічного напруження.

Небезпека втоми полягає в її підступності: на відміну від раптового стресу, що різко знижує пильність, нудьга поступово роз'їдає увагу. Працівники починають пропускати мікросигнали, сповільнюється реакція, зростає схильність до відволікання. У таких випадках психологічну витривалість потрібно підкріплювати мікровідпочинком, ергономічним дизайном робочих місць і «розумними» системами виявлення втоми за біосигналами (зокрема, відстеженням рухів очей і варіабельністю серцевого ритму). Це відповідає підходу високонадійних організацій (HRO), у яких ранні сигнали попередження мають бути розпізнані як системою, так і людиною.

Одним із найважчих емоційних тягарів для операторів БПЛА є моральний дистрес, що виникає, коли командна структура ставить їх перед етичними дилемами або емоційно насиченими рішеннями (наприклад, підтвердження цілей для вогневого ураження). Оператори несуть приховане моральне навантаження, коли візуальна близькість до руйнувань є реальною, але фізична дистанція позбавляє катарсичного завершення, притаманного традиційній війні.

Evans et al. (2024) [13] і Fernandes та Madhulika (2024) [12] підтримують інтеграцію психологічної гнучкості й орієнтації на цінності у навчання персоналу. Коли оператори отримують не лише навички емоційної регуляції, а й можливість сформувати моральну наративну цілісність – власну розповідь про сенс своєї роботи й способи збереження етичних принципів – знижується ймовірність довгострокових психологічних наслідків. Перспективними в цьому аспекті є тренінги, що включають елементи АСТ (терапії прийняття та відповідальності). Відтак, психологічна резильєнтність операторів тактичних БПЛА має формуватися з усвідомленням моральної складності дистанційного конфлікту. Простого навчання точності та ефективності недостатньо – необхідні також етична компетентність, навички рефлексії та системи профілактики травматизації, щоби запобігти емоційному відчуженню та дегуманізації.

Критичним аспектом психологічної резильєнтності в умовах експлуатації БПЛА є вплив метакогнітивного функціонування – особливо в ситуаційно загрозливих, стресогенних та когнітивно перевантажених контекстах, як-от керування кількома безпілотниками (multi-UAS control). Знакове симуляційне дослідження Matthews et al. (2019) [14] демонструє, що дисфункційні метакогнітивні патерни, особливо мета-тривожність (тобто тривожність через власну тривожність), передбачають вразливість до стресу та зниження ефективності в умовах психологічного навантаження. У парадигмі експерименту, де навантаження та негативний зворотний зв'язок варіювалися незалежно, дослідження виявило диференційовані фізіологічні та суб'єктивні профілі стресу, підтверджуючи модель Trait-Stressor-Outcome (TSO) і модель Self-Regulatory Executive Function (S-REF).

Особливо важливим є те, що підвищені показники за шкалою Anxious Thoughts Inventory (AnTI), зокрема за субшкалою мета-тривожності, корелювали з вищим рівнем ситуативної тривоги, зменшенням насичення киснем у префронтальній корі та підвищеною активністю у високочастотному діапазоні ЕЕГ. Це вказує на значне нейрокогнітивне навантаження та зниження ефективності в операційних умовах при стресі, пов'язаному з оцінкою.

Ця когнітивна вразливість має функціональні наслідки. Оператори з високим рівнем мета-тривожності перерозподіляють когнітивні ресурси від виконання завдання до внутрішнього моніторингу загроз та саморегуляції тривоги – процес, що від-

повідає опису когнітивно-уважного синдрому (CAS) у теорії S-REF. У операціях БПЛА, де успіх залежить від стійкої уваги та адаптивного перемикавання задач, тривале збереження CAS може катастрофічно знизити ситуаційну обізнаність і потенціал до прийняття рішень. Отже, результати Matthews et al. переосмислюють резильєнтність не як імунітет до стресу, а як якість когнітивної регуляції та гнучкості у відповідь на стрес, підкреслюючи керівну роль метакогніції у забезпеченні операційної надійності.

У роботі також диференціюються модератори реакції на стрес на рівні особистісних рис. Хоча витривалість (hardiness) та наполегливість (grit) зазвичай розглядаються як фактори резильєнтності, дослідження показало, що їх ефективність контекстуально залежна: витривалість асоціювалася з низьким рівнем дистресу незалежно від типу стресора, а отже, має високу адаптивну цінність у середовищах із навантаженням або зворотним зв'язком. Наполегливість виявила захисний ефект лише у випадку високого навантаження, але була менш ефективною при стресі від оцінювання. Це узгоджується з багаторисовою моделлю резильєнтності, у якій тренінги мають виходити за межі універсального «ментального загартування» і спрямовуватись на розвиток специфічних навичок когнітивно-емоційної регуляції в умовах, що потребують морального судження й повторного розподілу когнітивної активності.

Подібні спостереження відображені у дослідженнях Ordoukhanian і Madni (2018) [15], які наголошують на потенціалах когнітивного перевантаження в умовах перемикавання контексту та адаптивних вимог при роботі з кількома БПЛА. Їхня модель інтеграції «людина-система» розглядає метакогнітивне навантаження, особливо у випадках автоматизованого відновлення, як латентну загрозу для стійкості місії. Оператори, перевантажені CAS і змушені швидко переосмислювати ситуації та перепризначати завдання, ризикують «когнітивною інерцією» або фіксацією на неправильному рішенні. Включення моніторингу метакогнітивного стану в дизайн інтерфейсів і тренінгові парадигми, спрямовані на формування мета-усвідомлення, розглядається як необхідний захід на системному рівні.

Крім того, Matthews et al. (2019) [14] стверджують, що хоч тривожність і корелює зі стресом, вона також є модератором функціональності тривоги. Оператори з низьким рівнем тривожності здатні використовувати ситуативну тривогу як ресурс для зосередження уваги та посилення зусиль. Водночас особи з високим рівнем тривожності демонструють контрпродуктивну румінацію, що веде до деградації результатів. Це функціональна відмінність з важливими висновками: адаптивне порушення CAS за допомогою таких інтервенцій, як когнітивна терапія на основі усвідомленості (MBCT) або терапія прийняття та відповідальності (ACT), може ефективно сприяти розвитку операційної резильєнтності.

Доповнюючі дослідження підтверджують ці метакогнітивні вразливості. Оператори БПЛА, які постійно спостерігають за бойовими діями через екрани, мають довготривалі психологічні наслідки, як показали Gal et al. (2016) [17] і Campbell (2021) [18]. Навіть за фізичної безпеки, ці оператори демонструють підвищений рівень депресії, тривожності та ПТСР-подібних симптомів – особливо у поєднанні з навантаженням і моральними дилемами. Дані свідчать, що внутрішні когнітивні схеми – більшою мірою, ніж фізичне середовище – визначають наслідки стресу. Campbell також попереджає: ігнорування цих загроз у військовому плануванні може призвести до зростання відтоку персоналу, менш стійких місій і довгострокових ризиків психічного здоров'я.

З погляду дизайну й інженерії, ці психологічні динаміки мають бути інтегровані в структури резильєнтності систем БПЛА. Як зазначають Ordoukhanian і Madni (2019) [16], справжня резильєнтність потребує переналаштування систем у реальному часі у відповідь на зовнішні збурення та внутрішній когнітивний стан оператора. Це вимагає архітектур, здатних до контекстно-залежної автоматизації, адаптивного розподілу навантаження та систем зворотного зв'язку, чутливих до психофізіологічних змін. Таким чином, резильєнтність системи стає емерджентною характеристикою, що виникає у взаємодії автономії машини та когнітивної гнучкості людини.

Підсумовуючи, дослідницький корпус навколо Matthews et al. (2019) [14] висуває на перший план метакогніцію – зокрема мета-тривожність – у контексті резильєнтності операторів БПЛА. Це передбачає зміну парадигми: від реактивного подолання стресу до проактивного проєктування когнітивної архітектури, що включає психофізіологічний моніторинг, добір за особистісними рисами та цілеспрямоване ментальне тренування. Резильєнтність у високоставкових, автономних середовищах – це продукт одночасно внутрішньої наративної регуляції й зовнішньої системної надмірності та відмовостійкості.

Резильєнтність в операційній діяльності з безпілотними літальними апаратами (БПЛА) є багатовимірною конструкцією, що включає психологічні, когнітивні, фізіологічні та системні чинники. Огляд емпіричних досліджень свідчить, що як індивідуальні психологічні риси (наприклад, витривалість, наполегливість, метакогнітивний стиль), так і зовнішні стресори (наприклад, когнітивне навантаження, негативна оцінка, експозиція до бойових зображень) впливають на реактивність до стресу й ефективність виконання завдань. Наведена нижче таблиця узагальнює основні наукові напрацювання щодо визначення рис резильєнтності, факторів ризику та адаптивних процесів серед операторів БПЛА (табл. 1).

Ці результати підтверджують наше уявлення про резильєнтність операторів БПЛА як динамічну взаємодію між індивідуальними характеристиками

та вимогами ситуації, а не як сталу рису. Психологічне профілювання, метакогнітивне тренування та адаптивний дизайн систем можуть бути використані для вимірювання й підвищення резильєнтності. У подальшому модель слід розширити, включивши психофізіологічний моніторинг у реальному часі та адаптивні системи машинного зворотного зв'язку для реагування на когнітивне перевантаження та емоційний стрес.

Визначення резильєнтності операторів безпілотних систем – як повітряних, так і наземних – трансформувалося у багатовимірну, багаторівневу конструкцію, що охоплює технологічну цілісність, організаційну спроможність і психологічну гнучкість. На основі аналізу сучасних досліджень ми пропонуємо розглядати резильєнтність операторів систем БПЛА/БПН як соціотехнічну здатність адаптуватися до стресу.

Krecht et al. (2023) [9] запропонували формалізований підхід до кількісного оцінювання резильєнтності операторів БПН через моделювання за допомогою Р-графів і надали структуру для оцінки продуктивності підсистем щодо їхнього внеску в автономність апарата. Індекс q , що використовується в їхній моделі як стандартизована метрика спроможності, дозволяє відстежувати ступінь ризику системи й забезпечує єдину шкалу оцінки резильєнтності у всіх місійних сценаріях. Така деталізація особливо важлива в оборонних умовах, де втрата БПН може призвести до операційних, фінансових і екологічних збитків.

Як дослідили Phadke & Medrano (2022, 2023) [10; 11], технологічна резильєнтність базується на модульності, розподіленому управлінні, стійких комунікаційних схемах і адаптивних процесах переналаштування. Резильєнтність рою виникає не лише завдяки міцності окремих елементів, а й завдяки емерджентним властивостям – функціональній надмірності, адаптивному перерозподілу задач та кооперативній поведінці в умовах деградації. Методики моделювання на основі симуляцій, як у Ordoukhanian & Madni (2019) [15], підкреслюють необхідність контекстно-орієнтованого вимірювання композитної резильєнтності в реальному часі. Це означає, що безпілотні системи нового покоління повинні бути здатними самостійно виявляти зміни у власних можливостях і в навколишньому середовищі – аналогічно до прийняття рішень людиною.

Організаційна резильєнтність значною мірою залежить від структури, регламентів і культури, у якій функціонують безпілотні системи. Steen et al. (2024) [7], досліджуючи військові операції з БПЛА в Норвегії, показали, що відсутність чітких регуляцій, зокрема щодо управління втомою та розподілу відповідальності, підриває ефективність операторів і безпеку систем. Це узгоджується з теорією високонадійних організацій (High-Reliability Organization, HRO), яка вимагає надмірності в комунікаціях, децентралізації рішень і сильної культури безпеки як передумов для стабільної роботи в складних і небезпечних умовах.

Таблиця 1

Ключові поняття та результати досліджень щодо резильєнтності в операціях із БПЛА

Автори (рік)	Основні концепції	Тип стресора/умов	Психологічні/нейрофізіологічні фактори	Висновки щодо стійкості
Matthews et al. (2019)	Метапізнання, "meta-worry", когнітивна архітектура стресу (CAS)	Когнітивне навантаження, негативна оцінка	EEG, AnTI, оксигенація лобової кори	"Meta-worry" знижує продуктивність та фронтальну активацію, блокує адаптивні зусилля
Wohleber et al. (2015)	Індивідуальні відмінності в резильєнтності	Імітація БПЛА, перевантаження, негативна оцінка	Суб'єктивний та фізіологічний стрес	Різні компоненти резильєнтності реагують на різні типи стресорів
Armour & Ross (2017)	Психічне здоров'я операторів БПЛА	Операційний стрес, хронічна втома	Психологічні симптоми, ПТСР	Висока психологічна дистрес, особливо пов'язана з втомою
Gal et al. (2016)	Вплив бойових сцен через екрани	Непряма експозиція до війни	ПТСР, тривожність, депресія	Навіть досвідчені оператори мають вищий рівень стресу
Campbell (2021)	Моральний конфлікт, синдром "відео-гри", навантаження	Хронічні місії, дефіцит персоналу	Виснаження, моральна дилема, ПТСР	Необхідність втручання для зменшення морального навантаження
Ordoukhanian & Madni (2018, 2019)	Інтеграція людина-система, адаптивність	Операції з кількома БПЛА, перемикання контексту	Когнітивні обмеження оператора	Системи повинні адаптуватися до зміни когнітивного стану
Krecht et al. (2023)	Інженерна резильєнтність, оцінка стійкості	Військові БПМ, автономія, втрати	Р-графи, індекс q, відмова компонентів	Моделювання стійкості дозволяє оцінити рівень автономії після збоїв
Phadke & Medrano (2022, 2023)	Резильєнтність роїв БПЛА	Комунікаційні збої, зовнішні загрози	Робастність зв'язку, повторне формування	Системна стійкість через координацію та адаптацію рою

Актуальності набуває проблема необхідності ефективної комунікації між усіма учасниками операцій БПЛА – пілотами, наземними командами, диспетчерами повітряного руху. Збій у комунікації у критичних ситуаціях має ефект доміно на ситуаційну обізнаність і розпізнавання загроз. Хоча стандартизовані ієрархії звітності й системи відповідальності є необхідними, вони повинні адаптуватися до специфіки безпілотних операцій, яка відрізняється від пілотованої авіації за рівнем втілення, профілем навантаження та затримкою реакцій. Основний висновок: без механізмів підтримки у вигляді чітких інструкцій, схем розподілу ризиків та циклів зворотного зв'язку навіть найтехнологічніші системи зламаються під тиском.

Окрім цього, включення резильєнтності до систем типу «система в системі» потребує скоординованої взаємодії між людьми та машинами, а також між інституційними структурами. Це передбачає міждисциплінарну співпрацю інженерів, психологів, військових планувальників і юристів для розроблення політик, орієнтованих на резильєнтність, які одночасно є етичними й ефективними.

Одним із найбільш недооцінених аспектів безпілотних операцій є психологічна резильєнтність операторів. Теоретичний аналіз показав сукупність досліджень, що доводять, що хоча оператори фізично віддалені від зони бойових дій,

вони ментально занурені у бойове середовище. Matthews et al. (2019) [14] переконливо показали, що дисфункційні метакогнітивні процеси, зокрема «мета-тривожність», значно погіршують ефективність операторів у стресі. Оператори з високою мета-тривожністю, схильні до постійного внутрішнього моніторингу тривоги, демонструють зниження контролю уваги, зменшене насичення киснем у префронтальній корі та гірші показники у виконанні завдань.

Доповнювальні докази від Gal et al. (2016), Campbell (2021) і Armour & Ross (2017) підтверджують цей профіль вразливості. Оператори, які регулярно спостерігають за бойовими діями через екрани, демонструють вищий рівень симптомів ПТСР, втоми й моральної травми, особливо за умов тривалих змін і високої інтенсивності завдань. Ці труднощі часто посилюються інституційною відсутністю розуміння та психологічної підтримки – так званім «подвійним навантаженням»: стресом бойового середовища й соціальною ізоляцією.

Дослідження також підтверджують, що резильєнтність розподіляється нерівномірно. Вимірювання наполегливості та витривалості у поєднанні з метакогнітивними стилями показують різні адаптивні профілі до стресу. Matthews et al. (2019) [14] довели, що витривалість зменшує дистрес

незалежно від типу стресора, а от наполегливість ефективна лише при високому навантаженні, але слабо захищає від оціночного стресу. Це підтверджує, що резильєнтність є контекстуальною та багатовимірною, а тому має враховуватись у відборі, навчанні та розподілі місій.

Адаптивна метакогніція є критичним чинником операторської резильєнтності. Інтервенції, спрямовані на зменшення мета-тривожності, як-от MBSR (зниження стресу через усвідомленість) чи АСТ (терапія прийняття та відповідальності), здатні покращити когнітивну гнучкість та емоційну регуляцію. Додатково, впровадження біосенсорного моніторингу у кабіні БПЛА може забезпечити адаптивне налаштування навантаження та складності інтерфейсу – тобто створити замкнений цикл психологічної підтримки.

Висновки. Узагальнюючи, можна стверджувати, що резильєнтність операторів БПЛА/БПН – це не монолітна риса, а динамічна взаємодія між резильєнтністю машин, організаційною спроможністю та гнучкістю оператора. Нові безпілотні системи мають проектуватися як соціотехнічні системи, де резильєнтність людини та машини співеволюціонують. Фокус лише на одній складовій – наприклад, надмірність у дизайні або навчання – буде лише частковим і тимчасовим вирішенням.

Резильєнтність тактичних операторів БПЛА постає як багатовимірна конструкція, яка формується на перетині психологічних рис, метакогнітивних процесів, інтеграції «людина-система» та операційного контексту. Огляд досліджень підкреслює, що резильєнтність – це не просто здатність витримувати стрес, а здатність зберігати адаптивне функціонування в динамічних і високо-ризикових умовах. Базові риси, такі як наполегливість (grit) і витривалість (hardiness), підтримують тривале залучення до завдання, тоді як дисфункційні метакогнітивні фактори – зокрема мета-тривожність – можуть знижувати контроль уваги та ефективність виконання. Така дихотомія свідчить про необхідність оцінювати як захисні, так і вразливі чинники при вивченні резильєнтності у персоналі БПЛА.

Крім того, визначено, що резильєнтність операторів БПЛА не може розглядатися ізольовано, а має вивчатися в контексті ширшої соціотехнічної системи. Поточні вимоги місії, когнітивне перевантаження, дизайн інтерфейсу та моральні конфлікти взаємодіють з внутрішніми психологічними станами, формуючи результати діяльності. Передові операції БПЛА – особливо ті, що включають рої або автономні цикли ухвалення рішень – посилюють ці навантаження й демонструють потребу в системах, які є когнітивно ергономічними та адаптованими до людської варіативності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пасічник В. І., Афанасенко В. С. Основні вимоги професійної діяльності до суб'єкта керування безпілотними літальними апаратами. Сучасний стан

розвитку екстремальної та кризової психології. 2023. С. 220.

2. Пасічник В., Ширококов Ю., Савчук О. Психологічні особливості діяльності операторів безпілотних авіаційних комплексів тактичних класів та їх урахування у практиці професійної підготовки. *Honor and Law*. 2023. № 4(87). С. 113–120.

3. Ударцева Т. Є. Доцільність проведення професійного добору операторів керування безпілотними літальними апаратами. Системи озброєння і військова техніка. 2016. № 1. С. 186–189.

4. Онипченко П. Напрямки здійснення професійної підготовки льотчиків-операторів БПЛА у авіаційному ВВНЗ. Вісник Національної академії ДПС України. Серія: Педагогічні науки. 2019. № 5.

5. Wohleber R. W., Matthews G., Reinerman-Jones L. E., Panganiban A. R., Scribner D. Individual differences in resilience and affective response during simulated UAV operations. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*. 2015. Vol. 59, № 1. P. 751–755.

6. Armour C., Ross J. The health and well-being of military drone operators and intelligence analysts: A systematic review. *Military Psychology*. 2017. Vol. 29, № 2. P. 83–98.

7. Steen R., Håheim-Saers N., Aukland G. Military unmanned aerial vehicle operations through the lens of a high-reliability system: Challenges and opportunities. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*. 2024. Vol. 15, № 3. P. 347–373.

8. Hancock P. A., Cruik J. Resilience in Operators, Technologies, and Systems. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. 2024.

9. Krecht R., Suta A., Tóth Á., Ballagi Á. Towards the resilience quantification of (military) unmanned ground vehicles. *Cleaner Engineering and Technology*. 2023. Vol. 14. Article 100644.

10. Phadke A., Medrano F. A. Towards resilient UAV swarms—A breakdown of resiliency requirements in UAV swarms. *Drones*. 2022. Vol. 6, № 11. Article 340.

11. Phadke A., Medrano F. A. Examining application-specific resiliency implementations in UAV swarm scenarios. *Intelligence & Robotics*. 2023. Vol. 3, № 3. P. 453–478.

12. Fernandes S. F. A., Madhulika V. Psychological Well-being in Military Organizations: Fostering Resilience and Performance. *Journal of the Indian Academy of Applied Psychology*. 2024. Vol. 50, № 1. P. 367–380.

13. Evans W. R., Meyer E. C., Moore B. A., Peterson A. L. Psychological flexibility training to enhance resilience in military personnel. *Journal of Military Social Work and Behavioral Health Services*. 2024. Vol. 12, № 3. P. 252–264.

14. Matthews G., Panganiban A. R., Wells A., Wohleber R. W., Reinerman-Jones L. E. Metacognition, hardiness, and grit as resilience factors in unmanned aerial systems (UAS) operations: a simulation study. *Frontiers in Psychology*. 2019. Vol. 10. Article 640.

15. Ordoukhanian E., Madni A. M. Human-systems integration challenges in resilient multi-UAV operation. *Advances in Human Factors in Robots and Unmanned Systems : proc. of the conference*. Springer, 2018. P. 131–138.

16. Ordoukhanian E., Madni A. M. Model-based approach to engineering resilience in multi-UAV systems. *Systems*. 2019. Vol. 7, № 1. Article 11.

17. Gal S., Shelef L., Oz I., Yavnai N., Carmon E., Gordon S. The contribution of personal and seniority variables to the presence of stress symptoms among

Israeli UAV operators. *Disaster and Military Medicine*. 2016. Vol. 2. P. 1–8.

18. Campbell J. M. Psychological effects on UAV operators and proposed mitigation strategies to combat PTSD : Doctoral dissertation. Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 2021.