

ТЕХНОЛОГІЯ ОБ'ЄКТИВНОГО КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СПРОМОЖНОСТЕЙ ТА СТРЕСУ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ НА ОСНОВІ ПОГЛИБЛЕНОГО АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Вступ. Аналіз змін збройної боротьби у війні Росії проти України у 2024 році [1–3] вказує на утримання агресором стратегії на виснаження, зростання кількості угруповань, інтенсивності вогневого впливу з використанням масованого застосування розвідувально-ударних високоточних засобів ураження, суттєве підвищення вразливості озброєння, техніки і військового персоналу, збільшення санітарних і психогенних втрат, зростання потреби у мобілізаційному ресурсі, зниження професійних і фізичних якостей мобілізаційного, підвищення вимог до підготовки до виконання бойових завдань у режимі реального часу.

Такі висновки підтвердили прогнозні потреби українських військових експертів на 2024 рік [4] щодо необхідності створення нового дизайну операцій на основі технологічних спроможностей, нової філософії підготовки і ведення воєнних дій з урахуванням обмежень. Зазначене також відповідає вимогам Об'єднаної Доктрини НАТО [5], яка вказує що силу війська примножує оперативна сумісність, оперативність, ефективність реалізації своїх бойових спроможностей а перевага в бойовій силі генерується численними перевагами її компонентів і засобів.

Україна втратила у війні близько 400 тисяч осіб [3], а з урахування психогенних втрат, які безпосередньо зменшують спроможність до опору і мають віддалений у часі ефект, втрати країни значно більше.

В таких умовах обґрунтування підходу до моніторингу психофізіологічного стану воїнів у бойових умовах апаратними засобами набуває критичного значення для оборони України [3].

Запропонований інноваційний підхід для оцінки функціонального і психофізіологічного стану військовослужбовців та прогнозування стійкості до бойового стресу окремих воїнів та підрозділів на основі поглибленого багатofакторного аналізу електрокардіограм і варіабельності серцевого ритму.

Ключові слова: функціональний стан воїнів, бойовий стрес, психофізіологічний стан воїнів, об'єктивна оцінка стану, аналіз ЕКГ, машинне навчання, аналіз медичних даних.

Мета роботи – створити технологію об’єктивної оцінки і прогнозування функціонального стану та стійкості до стресу окремих військовослужбовців та цілих підрозділів, просту і придатну для використання без спеціального навчання недалеко від лінії фронту, в учбово-тренувальних таборах тощо.

Огляд відомих підходів. Прикладом вирішення подібного завдання Збройними Силами (ЗС) США під час конфліктів в Афганістані та Іраку було впровадження у 2008 році веб-ресурсів з індивідуального оцінювання стійкості й готовності кожного військового та адаптованого віртуального навчання з залученням експертів. Як інструмент підвищення стійкості використовують персональні програми сну, фізичної активності, харчування.

Доцільно звернути увагу, що для підвищення ефекту від зазначеної функції, у 2023 році ЗС США провели реорганізацію та злиття Управління стійкості армії, G-1, Персоналу з управління готовності солдатів і сімей, Офісу заступника начальника штабу G-9 з перейменуванням в Управління профілактики, стійкості та готовності, що дозволило надавати кращі, більш синхронізовані ресурси та можливості для інфраструктури та послуг розміщення, щоб забезпечити готовність армії і якість життя для найбільшого ресурсу армії – людей.

Azimuth Check – нещодавно оновлена версія Global Assessment Tool (GAT), конфіденційний інструмент самооцінки персоналу ЗС і основний компонент нового веб-сайту ArmyFit [6]. 10-хвилинне опитування оцінює загальний рівень стійкості персоналу ЗС за п’ятьма вимірами: фізичний, емоційний, соціальний, духовний та сімейний.

На жаль подібний підхід актуальний лише для мирного життя. Для підтримання стійкості персоналу в бойових умовах є інший підхід, який було розроблено ще до війни у В’єтнамі. Це модель поведінкового аналізу (табл. 1), яка поступово удосконалювалась до 2011 року [7].

ТАБЛИЦЯ 1. Модель поведінкового аналізу і корекції стійкості військовослужбовців (з [7])

Оптимальний стан	Стан реагування	Стан потерпілого	Стан хвороби
Пікова продуктивність. Позитивне світо-сприйняття. Відчуття сенсу. Прийняття виклику	Дратливість. Відчуття перевантаження, проблеми з розслабленням і сном. Трудність концентрації	Відчуття провини. Зменшення енергії. Пригнічення. Втрата цікавості. Соціальна ізоляція	Депресія і пригнічення. Злість і агресія. Небезпека для себе і оточуючих
Боєготовий	Реакція стресу	Постійний стрес	Небоєздатний
<i>Підтримка лідерів, побратимів, родини</i>			<i>Медицина допомога</i>
Навчання та тренування	Зменшення ризиків	Втручання у боротьбу зі стресом	Лікування та реінтеграція

Як бачимо у табл. 1, за ступенем погіршення стійкості відповідальність за її корекцію поступово переміщується від командирів до медичних спеціалістів.

Питання необхідності автоматизації процесів збору та аналізу показників психологічного стану військових виникало неодноразово, опитувальників розробок і варіантів узагальнення з програмними додатками було достатньо.

Зокрема ще у 2012 році в Національному університеті оборони України (НУОУ) автоматизовано подібний підхід до збору і вивчення стійкості персоналу за п’ятьма нормативно визначеними показниками морально-психологічного стану (МПС) [8]. На жаль, для реалізації проекту забракувало технічних ресурсів.

У 2018 році в ході науково-технічної взаємодії НУОУ з Інститутом телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України було розроблено і досліджено під час комп'ютерних навчань подібне програмне забезпечення, яке дозволяє здійснювати візуалізацію результатів аналізу в табличному варіанті та відображення даних на робочій карті [9].

Інше програмне забезпечення “Стрес-оцінка” [10] дозволяє визначення показників бойового стресу особового складу військ (сил) та прогнозування його змін, яке здійснюється у відповідності до вимог стандарту НАТО № 2564.

Обидва програмних продукти дозволяють визначити ранг важливості підрозділів для покращення стійкості, бойовим потенціалом підрозділу, важливості підрозділу в бойовому порядку, за кількості особового складу.

У 2025 році в Україні запустили платформу для моніторингу психологічного стану військових [11], яка стане компонентом інформаційно-комп'ютерної системи Імпульс, і відповідатиме за автоматизацію психологічної підтримки військових. Функціонал платформи включає: конструктор опитувань для створення індивідуальних опитувань особового складу; веб-застосунок для проходження опитувань у режимі онлайн; психологічний профіль для аналітики свого стану кожним респондентом; віддалене тестування для можливості анонімного опитування.

Проект реалізувала команда Центру масштабування технологічних рішень (ЦМТР) [12], а його пілотне впровадження охопило понад 40 військових підрозділів та 16 тисяч військових.

У ЦМТР наголошують, що психологічний стан військових безпосередньо впливає на їхню боєздатність та здоров'я. Регулярний моніторинг допоможе: запобігати посттравматичному стресовому розладу (ПТСР) та іншим психологічним травмам; централізовано збирати та аналізувати дані про стан особового складу; покращити якість психологічного супроводу військових. Однак якість даних, отриманих шляхом самозвітування, значною мірою залежить від здатності та бажання респондентів надавати точні відповіді. Коли респонденти зацікавлені та зосереджені, вони з більшою ймовірністю обміркують питання та обережно висловлять свої справжні думки. І навпаки, коли респонденти немотивовані, роздратовані або втомлені, вони з більшою ймовірністю дають безглузді або навіть випадкові відповіді [13], що призводить до помилок вимірювання. Найчастіше це трапляється в умовах широкомасштабної війни. У таких умовах моніторинг психофізіологічного стану солдатів у бойових умовах за допомогою об'єктивних апаратних засобів стає критично важливим для оборони України. Мета нашого дослідження – перевірка можливості швидкої об'єктивної оцінки функціонального стану не лише окремих учасників бойових дій, а й цілих підрозділів військовослужбовців за допомогою поглибленого аналізу електрокардіограм (ЕКГ) та варіабельності серцевого ритму (ВСР), записаних за допомогою мініатюрного кишенькового пристрою.

У зв'язку з цим слід обговорити поняття функціонального стану. Поняття «функціональний стан» організму людини часто використовується для характеристики загального стану людини, пов'язаного з виконанням трудової та навчальної діяльності та перебуванням у певному морально-психологічному середовищі, яке є надзвичайно актуальним під час його зміни або зміни умов його здійснення [14]. Існує багато визначень функціонального стану.

Найбільш переконливим нам видається наступне: функціональний стан організму це інтегральна характеристика стану здоров'я, яка відображає рівень функціонального резерву, що може бути використаний для адаптації. Функціональний стан складається з когнітивного, психоемоційного та ресурсно-енергетичного компонентів. Когнітивний компонент характеризує здатність обробляти інформацію та оцінюється за допомогою холостих тестів.

Психоемоційний компонент характеризує емоційний стан, значною мірою впливає на підсвідомість і наразі оцінюється здебільшого за допомогою суб'єктивних анкет, а також у діагностичному інтерв'ю з психологом. Ще одним сучасним інструментом об'єктивного аналізу психоемоцій-

ного компонента є кілька відносно нових апаратних методів, наприклад, оцінка деяких особливостей спектральних параметрів варіабельності серцевого ритму.

Ресурсно-енергетична складова характеризує здатність організму забезпечувати метаболічні ресурси для здійснення певної діяльності та оцінюється об'єктивними фізіологічними методами.

Водночас варто пам'ятати, що серцево-судинна система відіграє роль «дзеркала» функціонального стану. Виходячи з цього, нами розроблено метод аналізу ЕКГ та ВСР, який називається Універсальною системою оцінювання (УСО) [15]. УСО використовується в першу чергу для виявлення незначних змін, що не зазначаються під час рутинного аналізу, описаного в інших джерелах. Це дозволяє виявляти навіть незначні відхилення від норми, які можуть бути клінічно значущими.

Матеріали та методи. Основа УСО – це вимірювання і розрахунок великого набору параметрів ЕКГ та показників ВСР. Можливість практичного використання розробленої технології в умовах прифронтової зони забезпечується:

- застосуванням мініатюрних мобільних приладів з вагою менше 50 грам [16];
- зняттям ЕКГ у І (першому) відведенні через пальці без необхідності роздягатись і приєднувати електроди;
- невеликими часовими витратами на процес дослідження: ЕКГ записується після відпочинку у стані спокою протягом 3 хвилин;
- використанням повністю автоматичної обробки на основі моделі, що побудована засобами машинного навчання (МН) з використанням алгоритмів штучного інтелекту (ШІ).

Комплексна матриця параметрів дозволяє оцінити як ресурсно-енергетичні, так і психоемоційні характеристики функціонального стану.

При побудові моделі УСО використаний досить великий набір даних: понад 26 тисяч осіб, у т.ч. 1293 військовослужбовця з різним досвідом служби та обставинами на момент записування ЕКГ:

- 1) 315 курсантів військової академії під час табірної підготовки у довоєнний період;
- 2) 440 бійців 2 підрозділів, що виконували бойові завдання безпосередньо на лінії зіткнення з противником;
- 3) 237 нещодавно мобілізованих військовослужбовців, які проходять бойову підготовку та злагодження у ближньому тилу;
- 4) 125 військовослужбовців, які проходили лікування у військовому шпиталі від мінно-вибухових поранень;
- 5) 176 військовослужбовців, що прибули з різних військових частин на 2-3 тижневий реабілітаційний курс у 2 спеціалізованих санаторії.

Останні проходили обстеження у військових психологів, та при необхідності отримували направлення на психологічну допомогу і проходили реабілітацію за відповідним профілем. 33 особи з цієї групи, в яких військовими психологами було встановлено високий стрес, склали окрему підгрупу у вхідному наборі даних.

Параметричний простір навчального набору даних утворювали 158 відомих вимірюваних та похідних (обчислених) параметрів ЕКГ і ВСР. Проте попередній статистичний аналіз дозволив знизити розмірність до 23: спочатку були видалені 101 параметр, для яких результати вимірювань чи обчислень були відсутні, або такі, де було виявлено багато браку; а потім ми прибравши ще понад половину, 34 параметри, що не демонстрували очікуваного монотонного зростання чи спаду медіанних значень та границь кватилів при підвищенні стресу від довоєнних курсантів через фронтовиків до військових з визначеним високим стресом. Таким чином був сформований навчальний набір даних.

Розподіл вказаних груп обстежених військовослужбовців та цивільних осіб у нелінійно-перетвореному параметричному просторі показано на рис. 1, 2. При розрахунку перетворення

t-SNE використовувались лише обрані 23 параметри ЕКГ і ВСР. В основі нашої моделі оцінки функціонального стану – кластери точок з цих рисунків, які відображають обстежених осіб.

Хоча остаточна модель (призначена для обчислення функціонального стану) зроблена на основі іншого перетворення параметричного простору (UMAP), в наступному обговоренні ми будемо спиратись на рис. 1 і 2, бо t-SNE краще відобразило структуру 23-вимірному параметричного простору у двовимірній площині рисунків. Перехід до UMAP обумовлений непридатністю t-SNE для обчислення положення додаткових точок (що не входили до навчальної вибірки), що ускладнило б процес прогнозування. Ми переконались, що обидва перетворення виділяють тотожні кластери.

Результати і обговорення. Порівнюючи рис. 1 і 2 можна побачити певні статистичні закономірності.

По-перше, відібрані параметри ЕКГ і ВСР дозволяють досить надійно відрізнити 3 кластери (хмари), які складаються з різних підрозділів обстежених військовослужбовців. До першого кластеру відносяться переважна більшість довоєнних курсантів та поранених (хоча кластер поранених очевидно зсунутий відносно кластера здорових курсантів). Це на обох рисунках – блакитно-синя хмара точок. Обидва інші кластери (правий і нижній) включають суміш мобілізованих, бійців на фронті та ветеранів на реабілітації. На рисунках у них поєднуються зелені та помаранчеві точки. Таким чином, різниця між блакитно-синьою та зелено-помаранчевими хмарами, відображає загальний вплив стресу, пов'язаного з очікуванням чи участю у бойових діях.

По-друге, хоча обидві зелено-помаранчеві хмари об'єднують підгрупи мобілізованих у тренувальних таборах, фронтовиків та ветеранів на санаторному лікуванні/реабілітації, в нижній хмарі майже відсутні пацієнти, яким військові психологи визначили стан високого стресу.

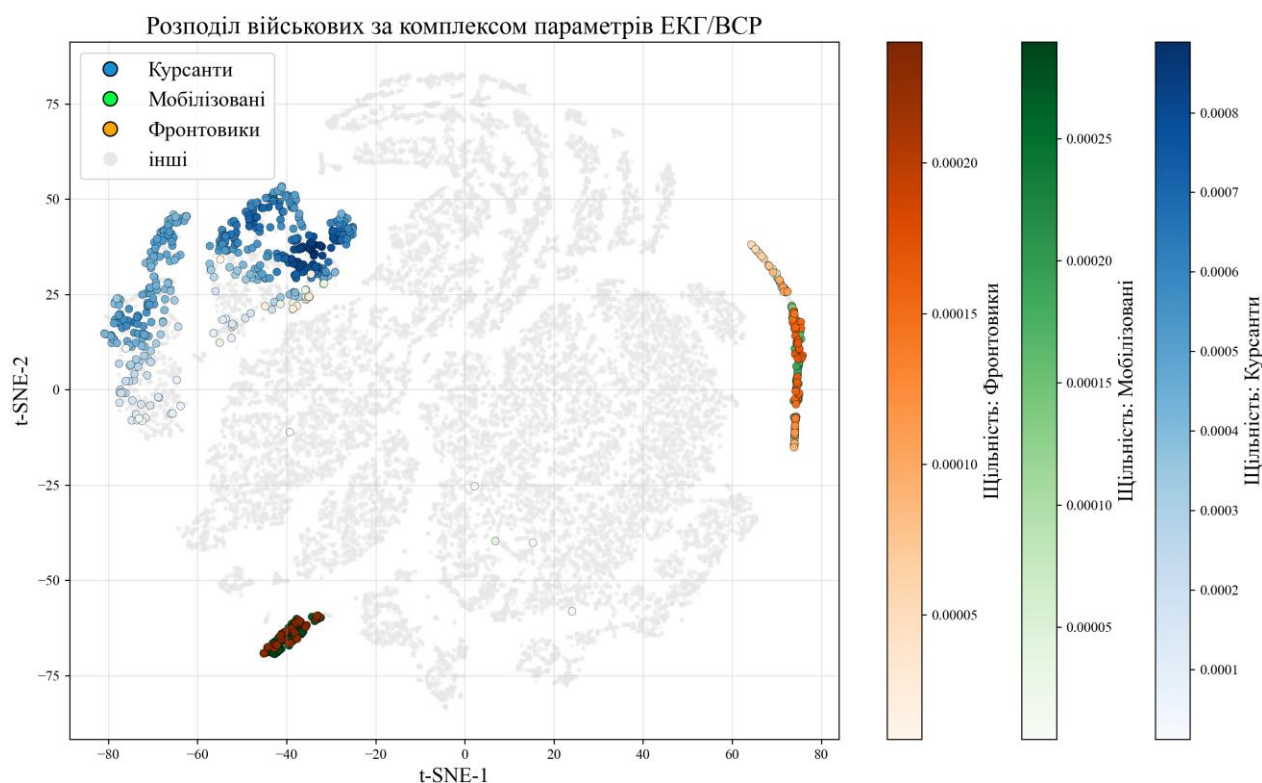


РИС. 1. Довоєнні курсанти, мобілізовані та фронтовики під час бойових дій розподілені за сукупністю 23 характерних параметрів після нелінійної проєкції на дві головні вісі t-SNE

Відповідно, у першому дуже спрощеному наближенні можна вважати, що напрямок у перетвореному параметричному просторі від блакитно-синьої «норми» до нижнього зелено-помаранчевого кластеру (вздовж вісі Y) є напрямком ресурсно-енергетичної складової бойового стресу, а напрямок до правого зелено-помаранчевого кластеру (вздовж вісі X) є напрямком психоемоційної складової бойового стресу, тоді, як відстань від блакитно-синьої норми визначає ступінь загального погіршення функціонального стану.

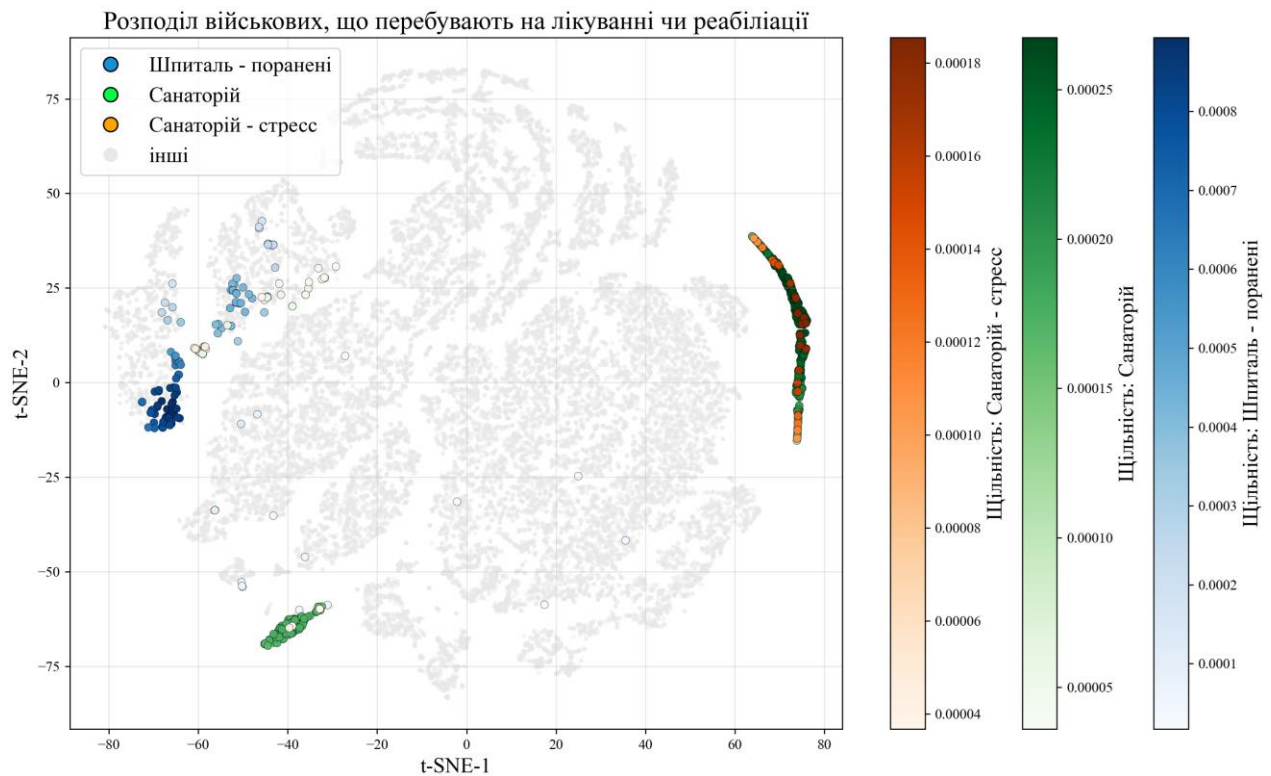


РИС. 2. Поранені та ветерани на реабілітації (у т.ч. з визначенням військовими психологами високим стресом) у параметричному просторі рис. 1

Числові результати розподілу різних підрозділів військовослужбовців та груп цивільних осіб наведені у табл. 2.

ТАБЛИЦЯ 2. Розподіл різних підрозділів військовослужбовців та груп цивільних осіб по кластерах

Кластер	Мобілізовані	Фронтовики	Поранені	Реабілітація у санаторії	Високий стрес	Інші
	1	2	3	4	5	6
Правий (П)	61,4 %	52,7 %	-	72,7 %	78,8 %	-
Нижній (Н)	32,9 %	40,1 %	0,8 %	18,6 %	9,1 %	-
Разом	94,3 %	92,8 %	0,8 %	91,3 %	87,9 %	-

З табл. 2 видно, що переважна кількість мобілізованих у тренувальних таборах, військовослужбовців на лінії фронту та ветеранів, що проходять санаторну реабілітацію перед ймовірним поверненням до бойових дій, розділені між цими двома кластерами. Одночасно, ми бачимо що інші ка-

тегорії у них майже не представлені: ані курсанти, ані цивільні, і лише незначна частина поранених. Тобто, ми маємо механізм визначення діючих військових за ЕКГ і ВСР.

Порівняння відсотків у цих двох кластерах дозволяє певною мірою оцінити, наскільки попадання сукупності параметрів військовослужбовця у правий, чи нижній кластер за параметрами ЕКГ і ВСР сприяє стійкості до бойового стресу. Персональні оцінки на основі статистичних даних не можуть вважатись повністю надійними: наявні й відносно велика похибка вимірювань (незалежно від приладу), і реальна варіабельність параметрів, зокрема внаслідок впливу поточних фізіологічних і психологічних причин. Але на рівні підрозділу, де випадкові помилки компенсуються кількістю спостережень, середні оцінки мають бути стійкими.

Природна формула оцінки переваги стресостійкості нижнього кластеру над правим наступна: треба поділити відношення частки військовослужбовців з високим стресом у правому кластері на відповідну частку у нижньому кластері. Але залишається проблема, на основі чого оцінювати загальну вибірку. Якщо виходити з розподілу пацієнтів санаторію і співставляти стовпчики 3 і 5, то перевага нижнього кластеру виглядатиме меншою, бо серед тих, хто проходить реабілітацію, представники правого кластеру представлені відносно більше, ніж на фронті. Схоже, на цю диспропорцію опосередковано впливає та ж втрата боєздатності внаслідок стресу, як і на персональні проблеми викликані стресом. Тому не позбавлені ґрунту і дві альтернативні бази: розподіл по кластерах військових на лінії зіткнення (що не проходять попередній відбір на бажання, чи необхідність реабілітації), чи навіть розподіл мобілізованих у тренувальних таборах (з яких частина не попаде на фронт у зв'язку із погіршенням функціонального стану, чи іншими причинами). Тому для такої оцінки варто врахувати різні варіанти та оцінити діапазон можливих значень (табл. 3).

ТАБЛИЦЯ 3. Відносна перевага у стійкості до стресу представників нижнього кластеру

Базова група	Мобілізовані	Фронтовики	Реабілітація у санаторії	Середня
Формула	$(П5/Н5)/(П1/Н1)$	$(П5/Н5)/(П2/Н2)$	$(П5/Н5)/(П4/Н4)$	
Перевага	4.64	6.59	2.22	4.48

Алгоритм оцінки і прогнозування функціонального стану на основі описаної моделі полягає у наступному:

1) вимірювання кардіограми протягом 3 хвилин у спокійному розслабленому нерухомому стані після відпочинку;

2) автоматичний розрахунок 23 основних параметрів:

- ACTIVITY_OF_VASOMOTOR_CENTERS,
- CONDITION_OF_REGULATION_RESERVES,
- DURATION_RATIO_JTA_JT,
- EMOTIONAL_INDEX,
- GLOBAL_P_DURATION,
- HEART_RATE,
- IMMEDIATE_CONTROL_OF_MYOCARDIUM,
- INDEX_OF_ECG_PHASES_RATIO,
- INTEGRAL_INDICATOR_BY_IARS;
- LF_HF,
- MYOCARDIUM,
- PNN20,
- PSYCHO_EMOTIONAL_STATE

- R_T_RATIO_lead_I,
 - S_AMP_lead_I,
 - SD_OF_T_WAVE_SYMMETRY,
 - SDSD,
 - ST_DISLOCATION_lead_I,
 - ST_T_FORM_INDICATOR_lead_I,
 - T_AMP_lead_I,
 - T_AREA_lead_I,
 - T_SYMMETRY_AREAS_OF_TRIANGLES_lead_I,
 - T_SYMMETRY_DERIVATIVES_lead_I.
- 3) автоматичний перерахунок у координати зразка в перетвореному UMAP просторі;
- 4) перевірка попадання в границі одного з 3 кластерів:

4.1) в разі попадання в один з зелено-помаранчевих кластерів – визначення наявності бойового стресу та прогнозування складових функціонального стану за статистичними даними для відповідного кластеру;

4.2) в разі попадання у блакитно-синій кластер, визначення відсутності бойового стресу та прогнозування складових функціонального стану за найближчими сусідами (в програмі реалізований метод ковзної поверхні, але інверсні відстані, чи звичайне середнє теж можливі);

4.3) в разі непопадання у жодний з кластерів – визначення відсутності бойового стресу та прогнозування функціонального стану за рівною кількістю найближчих сусідів з кожного з кластерів (тими ж методами, що вказані у 4.2; в програмі – по одному сусіду з кожного кластеру, метод інверсних відстаней).

Висновки. Описана модель забезпечує узагальнену експрес-оцінку функціонального стану (яку можна позначити як «високий» для здорових військових з блакитно-синього кластеру, «середній» для здорових військових з обох зелено-помаранчевих кластерів, та «під сумнівом» для інших), а також експрес-прогноз функціонального стану – «хороший» для блакитно-синього і нижнього правого кластерів, «задовільний» для правого кластеру та «під сумнівом» для інших). Більш точна оцінка розраховується за наведеним алгоритмом, виходячи з експертної оцінки складових функціонального стану для вибірково проаналізованих представників кожного з кластерів.

Здатність прогнозування стійкості до стресу на основі об'єктивних вимірювань не замінює потреби в професійному психологу для лікування стресу. Однак, вона може стати додатковим простим та потужним інструментом для кращого розподілу людських ресурсів та прогнозування майбутніх бойових можливостей підрозділів. Важливо, що модель можна застосовувати вже у тренувальному таборі, тобто до того, як військовослужбовці отримують справжній бойовий досвід.

Реалізація моделі у своєму поточному вигляді дає узагальнену оцінку та прогноз функціонального стану включно з психоемоційним та ресурсно-енергетичним компонентами.

Окремого дослідження вимагає група військовослужбовців, які проходять стаціонарне лікування поранень, переважно мінно-вибухового характеру. Відповідні точки розташовані у блакитно-синьому кластері досить близько до точок здорових курсантів, і не утворюють окремого кластера ні при t-SNE, ні при UMAP, хоча місце їх скупчення очевидно зсунуте вниз (на рис. 2 порівняно до рис. 1). Можна припустити, що для більш точного визначення функціонального стану цієї групи військовослужбовців потрібний інший набір параметрів ЕКГ і ВСР.

Модель використовує як основні амплітудно-часові параметри, так і власні композитні індекси. У подальших дослідженнях було б бажано розділити ці два типи параметрів і можливо розвинути пояснювальні механізми, зокрема, з метою планування та оцінки ефективності коригувальних заходів. Математичний інструмент для цього ми бачимо у методах топологічного аналізу даних.

Розроблений нами інструмент для прогнозування стійкості до стресу та втоми на основі простого, швидкого об'єктивного вимірювання вже використовується на практиці та отримує позитивні відгуки у підрозділах різної спеціалізації.

Результати такого обстеження допомагають військовому психологу виконувати задачі підтримки боєздатності підрозділу: заздалегідь визначати групи більшого і меншого ризику, раціонально планувати ротацию особового складу, щоб зменшити ефект тимчасового зниження боєздатності, контролювати виснажених воїнів, попереджати втрати пов'язані з психологічним вигоранням, вирішувати завдання зниження психологічної травматизації, підвищення шансів на реабілітацію після бойових дій. Можливе застосування і для покращення управління ресурсами як то розподілу медикаментів, харчування, екіпірування.

Авторські внески: Чайковський І.А. – дослідження, концептуалізація, методологія, узагальнення, формальний аналіз, ресурси, написання – оригінальна чернетка. Тульчинський В.Г.– програмне забезпечення, узагальнення, концептуалізація, методологія, візуалізація, написання – рецензування та редагування. Головинський А.Л. – програмне забезпечення, візуалізація, узагальнення. Бочаров М.М. – дослідження, концептуалізація, написання – оригінальна чернетка. Кравченко Н.В. – формальний аналіз, написання – оригінальна чернетка. Паровська С.М. – дослідження. Риженко Т.М. – дослідження, написання – рецензування та редагування.

Наявність даних. Дані, які підтверджують висновки цього дослідження, доступні за відповідним запитом.

Подяки. Автори виражають щирю подяку командирам та колективам усіх військових підрозділів, які брали участь у дослідженні а також колективу ЦВКС «Хмільник» МО України.

Фінансування. Виконання досліджень, що наведені у статті, були підтримані грантом Національного фонду досліджень України № 2023.04/0094 «Розроблення технології об'єктивного контролю функціональних спроможностей та стресу військовослужбовців на основі мініатюрних електрокардіографів та машинного навчання».

Список літератури

1. Russian Offensive Campaign Assessment, December 20, 2024. *ISW Press*. 20.12.2024. <https://www.understandingwar.org/backgrounder/russian-offensive-campaign-assessment-december-20-2024> (звернення: 01.09.2025)
2. Летяк В. Перша роботизована операція на полі бою: в ISW відзначили технологічний прогрес ЗСУ. *Факти*, 21.12.2024. <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20241221-persha-povnistyu-robotyzovana-operacziya-zsu-proty-okupantiv-analiz-isw/> (звернення: 01.09.2025)
3. Фролов Б. Війна в Україні – скільки загинуло військових України та Росії. *УНІАН*. 04.06.2025. <https://www.unian.ua/war/viyna-v-ukrajini-skilki-zaginulo-viyskovih-ukrajini-ta-rosiji-13028235.html> (звернення: 01.09.2025)
4. The commander-in-chief of Ukraine's armed forces on how to win the war. *The Economist*, 4.11.2023. <https://www.tr.com/by-invitation/2023/11/01/the-commander-in-chief-of-ukraines-armed-forces-on-how-to-win-the-war> (звернення: 01.09.2025)
5. AJP-01, Allied Joint Doctrine. NATO Standard, Ed. F Ver. 1, 12.2022. [https://www.coemed.org/files/stanags/01_AJP/AJP-01_EDF_V1_E_\(1\)_2437.pdf](https://www.coemed.org/files/stanags/01_AJP/AJP-01_EDF_V1_E_(1)_2437.pdf) (звернення: 01.09.2025)
6. AT 2.0 and Armyit™ GAT 2.0 and A – U.S. Army Garrisons. <https://home.army.mil/campbell/application/files/9916/0944/9384/FC-GATandArmyFitforFamilies.pdf> (звернення: 01.09.2025).
7. Promoting Psychological Resilience in the U.S. Military Published: [L. Meredith, C. Sherbourne]; Santa Monica: *RAND Corporation*, 2011. 186 p.
8. Дикун В.Г., Мороз В.М., Стасюк В.В. Методологія дослідження морально-психологічного стану особового складу військ (сил) : навч.-метод. посіб. Київ : 7БЦ, 2023. 383 с. ISBN 978-617-549-171-3 <https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2023/06/псих-стан.pdf> (звернення: 01.09.2025)

9. Звіт про діяльність Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України у 2018 році. https://itgip.org/wp-content/uploads/2021/05/zvit_2018.pdf (звернення: 01.09.2025)
10. Бойовий та оперативний стрес у військово-професійній діяльності офіцерів-лідерів : збірник матеріалів науково-практичного семінару (м. Київ, 27 квітня 2023 р.). Київ: НУОУ імені Івана Черняхівського, 2023. 149 с. <https://nuou.org.ua/assets/documents/fspppvphs-23-1.pdf> (звернення: 01.09.2025)
11. Дзюба М. Призма для військових: технології на варті ментального здоров'я захисників. *Вікна*. 19.02.2025. <https://vikna.tv/dlia-tebe/novyny-ukrayiny/pryzma-v-ukrayini-zapustyly-platformu-dlya-monitoryngu-psyhologichnogo-stanu-vijskovykh/> (звернення: 01.09.2025)
12. Центр масштабування технологічних рішень. <https://www.facebook.com/photo/?fbid=122142803288452511&set=p.122142803288452511> (звернення: 01.09.2025)
13. Oppenheimer D.M., Meyvis T., Davidenko N. Instructional manipulation checks. Detecting satisficing to increase statistical power. *Journal of Experimental Social Psychology*. 2009. **45** (4). P. 867–872. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2009.03.009>
14. Bocharov M., Stasiuk V., Osyodlo V., Ryzhenko T., Malanin V., Chumachenko D., Chaikovsky I. Assessment of the activities physiological cost of the defense forces officers in Ukraine using miniature ECG device. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2023. 10. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1239128>
15. Chaikovsky I. Electrocardiogram scoring beyond the routine analysis: subtle changes matters. *Expert Rev Med Devices*. 2020. **17** (5). P. 379–382. <https://doi.org/10.1080/17434440.2020.1735358>
16. Chaikovsky I., Bocharov M., Stasiuk V., Ryzhenko T., Frolov I., Parovska S., Sharypanov A., Malanin V., Osyodlo V. Determining the Physiological Cost of a Military Serviceman's Activity in the Field Using Innovative Miniature Devices and Advance ECG Analysis: Different Scenarios of Use. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2024. 1013. P. 187–202. ISBN: 978-981-97-3559-4. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-97-3559-4_15

Одержано 25.08.2025

Чайковський Ілля Анатолійович,

кандидат медичних наук, доктор медицини (ФРН), старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0002-4152-0331>
illya.chaikovsky@gmail.com

Тульчинський Вадим Григорович,

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0002-0280-223X>
dep145@gmail.com

Головинський Андрій Леонідович,

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0009-0008-7185-3293>
golovinsky.andriy@gmail.com

Бочаров Михайло Миколайович,

полковник, кандидат військових наук, провідний науковий співробітник Національного університету оборони України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0001-9198-3855>

Кравченко Наталія Володимирівна,

кандидат економічних наук, інженер-програміст 1 категорії Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0009-0007-9188-9827>
kravchenko.n.v.88@gmail.com

Паровська Софія Сергіївна,

воєнний психолог 1-ої Президентської бригади оперативного призначення імені гетьмана Петра Дорошенка
Національної гвардії України, Київ,
sicilya14@gmail.com

Риженко Тетяна Миколаївна,

науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.
<https://orcid.org/0000-0003-1935-774x>

UDC 61:004.8:616.1

**Illya Chaikovsky^{1*}, Vadim Tulchinsky¹, Andrii Golovynskyi¹, Mykhailo Bocharov², Nataliia Kravchenko¹,
Sofia Parovska³, Tetiana Ryzhenko¹**

Technology for Objective Control of Functional Capacities and Stress of Military Servicemen Based on In-Depth ECG Analysis and Machine Learning

¹ V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

² National Defense University of Ukraine, Kyiv

³ 1-st Presidential Brigade of operational assignment named after Hetman Petro Doroshenko of the National Guard of Ukraine, Kyiv

* Correspondence: illya.chaikovsky@gmail.com

Introduction. Analysis of changes in armed struggle in Russia's war against Ukraine in 2024 (Assessment of Russia's offensive campaign, December 20, 2024 | Institute for the Study of War, The first robotic operation on the battlefield: ISW noted the technological progress of the Armed Forces of Ukraine; War in Ukraine – how many Ukrainian and Russian military personnel died - UNIAN) indicates that the aggressor is maintaining a strategy of attrition, an increase in the number of groups, the intensity of fire exposure using the massive use of reconnaissance and strike high-precision weapons, a significant increase in the vulnerability of weapons, equipment and military personnel, an increase in sanitary and psychogenic losses, an increase in the need for mobilization resources, a decrease in the professional and physical qualities of the mobilizer, and increased requirements for training to perform combat missions in real time.

The purpose of the paper is to create a technology for objective assessment and prediction of the functional state and stress resistance of individual servicemen and entire units, simple and suitable for use without special training near the front line, in training camps, etc.

Results. A functional state model based on 26,976 ECG from military and civilians is proposed. Based on 23 parameters and t-SNE/UMAP transformations, 2 clusters were identified. Members of the first one are significantly more likely to suffer from high stress and deterioration of functional state when the second cluster is related to higher stress resistance. The model provides a generalized express assessment and prediction of the functional state psycho-emotional and resource-energy components as well as a more accurate assessment calculated according to the presented algorithm.

The model implementation is based on using small portable ECG devices able to register 1-channel ECG signal from fingers without the need to undress and attach electrodes. Simplicity of use is important in the field and front conditions.

Conclusions. The developed technology for predicting stress and fatigue resistance based on simple, rapid objective measurement is already being used in practice and is receiving positive feedback in units of various specializations.

The ability to predict stress resistance based on objective measurements does not replace the need for a professional psychologist to treat stress. However, it can become an additional simple and powerful tool for better allocation of human resources and forecasting the future combat capabilities of units. It is important that the model can be used already in the training camp, that is, before the servicemen receive real combat experience.

Keywords: functional state of soldiers, combat stress, psychophysiological state of soldiers, objective assessment of condition, ECG analysis, machine learning, medical data analysis.