Науковий вісник НЛТУ України
Scientific Bulletin of UNFU
https://doi.org/10.36930/40360305
Article received: 30.03.2026
Article accepted: 29.05.2026
Article published: 29.06.2026
Correspondence author: M. F. Salo mykola.salo@nltu.edu.ua
ISSN 1994-7836 (print)
ISSN 2519-2477 (online)

UDC 004.[02+03+42+451+47]

М. Ф. Сало[1], Ю. І. Грицюк[1,2]

[1] Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна
[2] Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

ВЕБЗАСТОСУНОК ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБ ВІЙСЬКОВИХ НА ПІДСТАВІ АНАЛІЗУ ТА МОНІТОРИНГУ ЇХНЬОГО ГУМАНІТАРНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Повномасштабне вторгнення Російської Федерації в Україну істотно посилило проблему системної координації гуманітарного забезпечення військових підрозділів. Використання месенджерів і соціальних мереж як основних каналів комунікації унеможливлює централізоване нагромадження, структурування та аналіз інформації про потреби військових, а відсутність інструментів їх прогнозування змушує волонтерів реагувати на запити постфактум, а не планувати наперед відповідне забезпечення. Запропоновано метод короткотермінового прогнозування потреб військових підрозділів на основі простого ковзного середнього з вікном $k = 3$ місяці та описано його інтеграцію у повностековий вебзастосунок NeedsInsight, розроблений на основі Next.js 14, TypeScript, PostgreSQL і Drizzle ORM. Застосунок підтримує три ролі користувачів – представник військових, волонтер та адміністратор – з рольовим розмежуванням доступу до функцій системи. Виконано порівняльний аналіз обраного методу прогнозування з альтернативними підходами – експоненційним згладжуванням, моделями ARIMA та рекурентними нейронними мережами типу LSTM – за п'ятьма критеріями: мінімальна кількість спостережень, потреба у підборі параметрів, обчислювальна складність, залежність від сторонніх бібліотек та придатність для системи на початковому етапі експлуатації. Встановлено, що метод простого ковзного середнього є єдиним із розглянутих, що задовольняє всі п'ять критеріїв одночасно. Розроблено клієнтський інтерфейс візуалізації результатів прогнозу, що містить панель аналітичних метрик із кольоровим кодуванням тренду, лінійний графік з розмежуванням реальних і прогнозованих значень, картку прогнозованого значення з текстовою інтерпретацією результату та повідомлення про недостатність даних. Коректність реалізації вебзастосунку підтверджено прикладом прогнозування потреб військових на підставі аналізу та моніторингу їхнього гуманітарного забезпечення. Підсистема прогнозування покриває всі п'ять функціональних вимог групи REQ-4, що підтверджено функціональним тестуванням застосунку. Підсистему розгорнуто у складі застосунку NeedsInsight, архітектура якого дає змогу замінити SMA на дещо складніший метод без зміни інтерфейсу після нагромадження достатнього обсягу інформації.

Ключові слова: військові підрозділи; волонтерська діяльність; координація гуманітарної допомоги; рольова модель доступу до інформації; візуалізація результатів прогнозу; часові ряди; просте ковзне середнє.

Вступ / Introduction

Від початку повномасштабного вторгнення Росії в Україну координація гуманітарного забезпечення військових підрозділів стала однією з найнагальніших організаційних проблем. Волонтери щодня опрацьовували сотні різнорідних запитів – від медикаментів до автотранспорту – переважно через Telegram-чати та сторінки у соцмережах. Така модель комунікації фактично унеможливлює будь-яке централізоване нагромадження даних: інформація розпорошена, не структурована, зазвичай волонтери змушені реагувати постфактум замість того, щоб планувати постачання наперед.

Водночас, координація гуманітарної допомоги ґрунтується на комбінації державних автоматизованих систем, міжнародних платформ та інструментів неурядових організацій, що об'єднують донорів, волонтерів, владу та постраждалих. З початку березня 2022 р. в Україні почали впроваджувати Державні та національні цифрові платформи, а саме [29]:

- автоматизована система реєстрації гуманітарної допомоги – це головний національний інструмент Мінсоцполітики, що забезпечує прозоре ввезення, облік вантажів та електронне декларування через портал good.gov.ua. Вона дає змогу відстежувати рух допомоги від донора до отримувача;
- портал гуманітарної допомоги – це спільна ініціатива Офісу Президента та Кабінету Міністрів (help.gov.ua) для залучення міжнародної підтримки населенню, бізнесу та державі;
- координаційна платформа з гуманітарного реагування, створена під головуванням Офісу Президента та ООН для забезпечення стратегічної взаємодії між державою, донорами та неурядовими організаціями;
- платформи волонтерів – це сервіси на кшталт волонтерської платформи СпівДія, які координують запити на продукти, ліки, одяг та адресну підтримку на місцях.

© Copyright 2026 by the author(s)

Сало Микола Федорович, ст. викладач, кафедра інженерії програмного забезпечення.
Email: mykola.salo@nltu.edu.ua; https://orcid.org/0009-0008-8327-5101
Грицюк Юрій Іванович, д-р техн. наук, професор, кафедра програмного забезпечення.
Email: yurii.i.hrytsiuk@lpnu.ua; https://orcid.org/0000-0001-8183-3466

Цитування за ДСТУ: Сало М. Ф., Грицюк Ю. І. Вебзастосунок для прогнозування потреб військових на підставі аналізу та моніторингу їхнього гуманітарного забезпечення. Науковий вісник НЛТУ України. 2026, т. 36, № 3. С. 45–61.
Citation APA: Salo, M. F., & Hrytsiuk, Yu. I. (2026). Web application for forecasting military needs based on analysis and monitoring of their humanitarian support. *Scientific Bulletin of UNFU*, 36(3), 45–61. https://doi.org/10.36930/40360305

Головними недоліками платформ волонтерів для координації військової гуманітарної допомоги є ризики витоку чутливої інформації, бюрократизація процесів, низький рівень верифікації користувачів та відсутність інтеграції з державними реєстрами. Організація такої допомоги через цифрові хаби та онлайн-платформи має низку специфічних технологічних, безпекових і юридичних вразливостей, а саме [22]:

- загроза шпигунства, коли публікація точних запитів від військових частин (наприклад, конкретних типів БПЛА, РЕБ чи медикаментів) дає можливість ворогу аналізувати забезпеченість та слабкі місця конкретних підрозділів на напрямках;
- перехоплення геоданих, коли під час координації логістики та точок передачі вантажів виникає ризик витоку координат складів і маршрутів волонтерів для ворожих ракетних ударів;
- кібератаки на сервери, де бази даних волонтерів, військових та донорів є пріоритетною ціллю для хакерів, що загрожує деанонімізацією бійців і координаторів.

Аналіз таких платформ, як "Люди для України", savelife.in.ua та Helplist.io, показав, що жодна з них не застрахована від зазначених вразливостей, а також не закриває повний ланцюжок від структурованої подачі запиту до аналітики та прогнозування. Ці сервіси добре вирішують завдання збирання пожертв або публікації потреб військових, але не дають відповіді на питання "скільки запитів на медикаменти очікувати наступного місяця". Саме ця прогностична функція і стала відправною точкою для реалізації цього дослідження.

Тому актуальним завданням є розроблення методу прогнозування потреб військових підрозділів та його інтеграція у вебзастосунок для аналізу і моніторингу гуманітарного забезпечення, щоб волонтери й адміністратори могли планувати постачання допомоги військовим на основі реальних даних, а не їхньої інтуїції.

Об'єкт дослідження – прогнозування потреб військових у системі гуманітарного їх забезпечення.

Предмет дослідження – методи і засоби прогнозування потреб військових на підставі аналізу та моніторингу їхнього гуманітарного забезпечення, робота яких базується на поєднанні аналізу історичних даних, відстеження поточного стану в реальному часі, поданих запитів/заявок на надання допомоги та математичного моделювання.

Мета роботи – розробити вебзастосунок для аналізу та моніторингу нагальних потреб військових і координації їх гуманітарного забезпечення, який міститиме модуль збирання та моніторингу даних, модуль прогнозування (AI/ML), а також модуль взаємодії з постачальниками та волонтерами, що дасть змогу комплексно оцінювати очікувану кількість запитів на наступний місяць у розрізі категорій їхніх потреб.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати наявні програмні рішення у сфері координації гуманітарної допомоги, що дасть змогу обґрунтувати потребу створення більш адаптивної, інтегрованої та децентралізованої системи управління процесами;
- обґрунтувати вибір методу простого ковзного середнього для прогнозування потреб військових, який дасть змогу врахувати обмежений обсяг нагромаджених історичних даних завдяки своїй математичній простоті, мінімальним вимогам до вибірки та високій адаптивності;
- реалізувати алгоритм прогнозування потреб військових на серверній частині вебзастосунку, робота якого базується на моделі ковзного середнього, що забезпечить високу швидкість оброблення запитів, мінімальне обчислювальне навантаження на сервер та дасть змогу уникнути залучення сторонніх бібліотек, використовуючи тільки базові математичні операції;
- розробити інтерфейс візуалізації результатів прогнозування – лінійний графік із розмежуванням реальних і прогнозованих значень, який забезпечить інтуїтивно зрозумілий, інтерактивний та гнучкий аналіз потреб військових у системі їхнього гуманітарного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Прогнозування потреб військових на підставі моніторингу їхнього гуманітарного забезпечення – це стратегічний процес, який мінімізує дефіцит ресурсів, оптимізує логістику та підвищує боєздатність підрозділів. Сучасні дослідження у цій сфері зосереджені на переході від реактивних моделей постачання допомоги ("запит – очікування – доставка") до проактивних систем, які передбачають нагальні потреби військових підрозділів до моменту їхнього виникнення.

У роботі [12] подано результати оцінювання ефективності ланцюга постачання гуманітарної допомоги, зокрема – його структуру та підходи до валідації. Автори відзначають зростання зацікавленості цією тематикою серед науковців і практиків, що зумовлено збільшенням кількості природних і техногенних катастроф. Гуманітарні організації здійснюють ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій шляхом планування, закупівлі, постачання, транспортування та розподілу потрібних ресурсів, формуючи ланцюг постачання гуманітарної допомоги. У дослідженні запропоновано використання баєсівської мережі довіри для прогнозування ефективності такого ланцюга за умов кризових ситуацій. На підставі факторного аналізу визначено ключові показники ефективності, що впливають на діяльність організацій. Із застосуванням баєсівської мережі побудовано ймовірнісну графічну модель, яка відображає взаємозалежності між показниками та дає змогу прогнозувати ефективність ланцюга постачання з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків. Адекватність моделі підтверджено шляхом проведення числових експериментів, сценарного аналізу, аналізу чутливості системи та її тестування за екстремальних умов, що засвідчило її надійність і стабільність. Встановлено, що фінансові показники та рівень грошової підтримки є визначальними чинниками ефективності ланцюга постачання гуманітарної допомоги.

У роботі [23] подано результати аналізу перешкод, що впливають на ефективність гуманітарної логістики та розподілу допомоги за докризових і посткризових умов. Автори вказують на те, що оцінювання значущості таких перешкод є важливим для прийняття обґрунтованих управлінських рішень і формування політик, спрямованих на зниження суспільної вразливості та забезпечення ефективного розподілу ресурсів у надзвичайних ситуаціях. Дослідження базується на результатах експертного опитування представників сфери гуманітарної логістики, а також на застосуванні інтегрованого підходу до прийняття рішень, що поєднує методи Grey-Delphi та Grey-DEMATEL. Перелік потенційних перешкод сформовано на підставі аналізу наукової літератури та додатково верифіковано із залученням практиків і фахівців за допомогою методу Grey-Delphi. Причинно-наслідкові зв'язки між виявленими перешкодами визначено із використанням методу Grey-DEMATEL.

За результатами дослідження встановлено, що до ключових факторів, які ускладнюють ефективне функціонування гуманітарної логістики, належать застаріла IT-інфраструктура, непослідовність процедур моніторингяк гуманітарної допомоги, складні та невизначені географічні умови, збої в роботі систем раннього попередження, труднощі доставки "останньої милі", а також недостатній рівень координації між зацікавленими сторонами.

У роботі [16] досліджено цифровий гуманітаризм як динамічну організаційну спроможність, здатну волонтерським організаціям швидко створювати, адаптувати та переконфігурувати свої цифрові ресурси та процеси для ефективного реагування на кризи. Концепція динамічних спроможностей (англ. *Dynamic Capabilities*) походить із менеджменту та пояснює, як волонтери виживають у мінливому середовищі. У контексті гуманітарної діяльності для аналізу та моніторингу потреб військових означає трансформацію із традиційної лінійної структури на гнучку цифрову екосистему. Цифровий гуманітаризм, як динамічна організаційна спроможність, встановлює, що впровадження цифрових платформ для управління кризовими ситуаціями безпосередньо впливає на зниження ризиків і підвищення ефективності реагування волонтерських організацій.

У роботі [20] у систематичному аналізі літератури обґрунтовано, що цифрові технології трансформують гуманітарні ланцюги постачання допомоги, зокрема – шляхом забезпечення прозорості інформаційних потоків, автоматизації відстеження допомоги та підтримки прийняття рішень на підставі аналізу та моніторингу нагальних потреб постраждалих. Автори використали методи Grey-Delphi та Grey-DEMATEL, тобто сучасні гібридні інструменти з класу методів прийняття багатокритеріальних рішень (MCDM). Вони поєднують класичні експертні підходи з теорією сірих систем (англ. *Grey Systems Theory*) для моделювання умов прийняття рішень, коли інформація є неповною, суб'єктивною або дефіцитною ("сіра зона" між повним знанням – білим та абсолютною невідомістю – чорним). Дослідники пропонують ці два методи застосовувати у зв'язці: спочатку за допомогою Grey-Delphi відсіювати другорядні чинники, а потім за допомогою Grey-DEMATEL аналізувати причинно-наслідкові зв'язки між залишеними ключовими чинниками.

У роботі [24] показано наслідки для теорії цифровізації гуманітарної допомоги. Автори надали структуру можливостей цифрової трансформації для гуманітарних організацій. Вони вважають, що гуманітарні зусилля набули значного поштовху, і не можна заперечувати, що цифрові технології відіграли ключову роль в успіху зусиль з ліквідації наслідків стихійних лих, природних катаклізмів, військової агресії до населення. Незважаючи на ці успіхи, гуманітарні організації скептично ставляться до використання цифрових технологій. Зрозуміло, що цей скептицизм частково пов'язаний з природою їхньої діяльності. Гуманітарні організації, які часто створені тимчасово у відповідь на кризи, стикаються з управлінськими проблемами через добровільний характер роботи, що вони виконують. Як результат, учені прагнули запропонувати альтернативні теорії, щоб краще зрозуміти та пояснити складну природу гуманітарних операцій. Автори здійснюють поглиблене якісне дослідження для розроблення структури можливостей цифрової трансформації, використовуючи динамічний підхід до можливостей.

У звіті [29] задокументовано досвід цифрової трансформації державного управління в Україні у 2019–2024 рр., який засвідчив, що відсутність централізованих цифрових інструментів координації є системним бар'єром для ефективної організації допомоги за умов військового стану. Аналіз наявних програмних рішень у досліджуваній предметній області виявив значну кількість платформ для організації надання гуманітарної допомоги. Зокрема, платформа "Люди для України" [22], запущена за підтримки Міністерства оборони України, орієнтована на збір пожертв та волонтерську допомогу у широкому сенсі, проте не передбачає механізмів структурованої подачі запитів від військових підрозділів та не містить аналітичних інструментів. Організація "Повернись живим" [8] реалізує збір коштів на конкретні позиції спорядження, однак функціонує як краудфандингова платформа без можливості відстеження статусу виконання індивідуальних запитів. Сервіс Helplist.io [11] забезпечує публікацію оголошень про потреби військових і пошук відповідних волонтерів, але не підтримує рольову модель доступу до інформації, відсутні аналітичні дашборди та прогностичні функції. Спільним обмеженням усіх трьох платформ є відсутність інтегрованого ланцюжка – від структурованого запиту військового підрозділу до його аналітичного оброблення та прогнозування потреб військових.

У роботі [14] наведено особливості використання контролю доступу до інформації на основі ролей, керування випадками, безпекою та авторизацією. Автори вважають, що контроль доступу на основі ролей останнім часом є найпопулярнішою моделлю доступу до інформації. Традиційно існує проблема, що модель контролю доступу на основі ролей не повністю відповідає аналізу вимог системи. І вона не може гарантувати, що модель безпеки зможе задовольнити потреби користувачів. Наведено метод, який описує проєктування та визначення прав ролей у моделюванні системи на основі методу RBAC (англ. *Role-Based ACCESS Control*), керованого варіантами використання. Розглянуто концепцію доступу до інформації на основі характеристик RBAC, яка поєднує модель варіанта використання з моделлю RBAC шляхом розширення варіанта використання та формалізації карти сценаріїв. Порівняно із традиційними системами, які містять модель проєктування варіантів використання наприкінці проєктування системи, цей метод використовують з самого початку процесу проєктування безпеки, тому він може виявити проблеми безпеки на ранніх етапах проєктування системи, щоб запобігти прогалинам у системі безпеки та відповідати правилу найменших привілеїв.

У роботі [13] систематизовано методи прогнозування потреб військових від простих – ковзного середнього та експоненційного згладжування – до складних моделей ARIMA та нейронних мереж, наголошуючи, що вибір методу визначається насамперед обсягом наявних даних та горизонтом прогнозування. Метод експоненційного згладжування [9] є природним кандидатом для завдань короткотермінового прогнозування попиту завдяки підвищеній чутливості до останніх спостережень через механізм зважування. Однак його практичне застосування потребує підбору коефіцієнта згладжування $\alpha \in [0, 1]$, оптимальне значення якого залежить від статистичних характеристик конкретного часового ряду – зокрема від наявності тренду та сезонності. За умов

системи на початковому етапі експлуатації, коли тривалість спостережень не перевищує 6-12 місяців, достовірна оцінка α є статистично необґрунтованою, що унеможливлює автоматичне застосування методу без залучення фахівця з аналізу даних.

У роботі [3] наведено особливості використання простих ковзних середніх для ланцюгів поставок, де інформація не передається. Автори відзначають, що незважаючи на докази переваг обміну інформацією, існує багато ланцюгів поставок, які не можуть обмінюватися нею через такі обмеження, як сумісність інформаційних систем, якість інформації, довіра та конфіденційність. Окрім цього, постійний потік робіт досліджує явище, відоме як висновок про попит нижче за течією DDI (англ. *Downstream Demand Inference*), де учасник ланцюжка поставок вище за течією може зробити висновок про попит нижче за течією без потреби формального механізму обміну інформацією. Недавні дослідження [1, 2, 4] показали, що за практичніших умов, з менш обмежувальними припущеннями, DDI неможливий за допомогою методів оптимального прогнозування або одноекспоненціального згладжування, але можливий, коли ланцюги поставок використовують метод простої ковзної середньої SMA (англ. *Simple Moving Average*). Дослідники пропонують просту стратегію DDI на основі SMA для ланцюгів поставок, де інформацію не може бути обміняно. Ця стратегія дає змогу учаснику ланцюжка поставок вище за течією робити висновок про споживчий попит математично, а не обмінюватися нею. Вони порівняли стратегію DDI з наявною стратегією відсутності обміну інформацією NIS (англ. *No Information Sharing*). Порівняння проводиться аналітично, що дає змогу показати, що використання стратегії DDI зменшує середньоквадратичну похибку MSE (англ. *Mean Squared Error*) в ланцюгах поставок.

Моделі ARIMA (англ. *AutoRegressive Integrated Moving Average*) [6] – класичний та один із найефективніших методів аналізу та прогнозування часових рядів, який поєднує процеси авторегресії, інтегрування (взяття різниць) та ковзного середнього. Метод демонструє високу точність на довгих часових рядах, проте є непридатним для коротких рядів із менш ніж 20-30 спостереженнями, позаяк потребує статистично обґрунтованої ідентифікації порядку моделі. Методи машинного навчання, зокрема – рекурентні нейронні мережі [19], показують найвищу точність на великих вибірках, для чого потребують навчальних вибірок обсягом від кількох сотень спостережень, значних обчислювальних ресурсів для навчання та розгортання, а також спеціалізованої інфраструктури. Для системи аналізу та моніторингу потреб військових, яка перебуває на початковому етапі експлуатації з обмеженим обсягом нагромаджених даних (менше 12 місяців), метод простого ковзного середнього є обґрунтованим вибором. На відміну від моделі ARIMA та нейронних мереж, він не потребує великих навчальних вибірок і не вимагає підбору гіперпараметрів, що критично на етапі первинного нагромадження даних.

Унаслідок аналізу останніх досліджень та публікацій було виявлено, що попри технологічний прогрес, дослідники вказують на низку критичних проблем. Наявні системи аналізу та моніторингу потреб військових, а також логістики їхньої доставки є пріоритетною ціллю для ворожих РЕБ та хакерів. Втрата зв'язку унеможливлює передавання даних про потреби в реальному часі. Відомі комп'ютерні моделі можуть ідеально прогнозувати та розрахувати нагальну потребу військових, але доставка вантажу безпосередньо в окоп під ворожим вогнем залишається найслабшою ланкою. Навіть на п'ятий рік війни у багатьох оборонних відомствах країни інтеграція волонтерської та міжнародної гуманітарної допомоги в єдину державну систему обліку та аудиту досі відбувається повільно.

Матеріали та методи дослідження. Вебзастосунок NeedsInsight розроблено як повностековий монорепозиторій на основі Next.js 14 з App Router і TypeScript. Інтерфейс реалізовано засобами бібліотеки HeroUI та Tailwind CSS, управління формами і валідацію – через React Hook Form і Zod, серверний стан – через TanStack Query. Автентифікацію потенційного користувача забезпечено бібліотекою Better Auth із сесійними cookie; дані зберігаються у PostgreSQL через Drizzle ORM на хмарному сервісі Neon Postgres. Застосунок підтримує три ролі користувачів: представник військових, волонтер та адміністратор. Доступ до підсистеми прогнозування мають волонтери та адміністратори – як учасники, відповідальні за планування постачання. Розгортання здійснено на платформі Vercel.

Основним методом дослідження є метод простого ковзного середнього SMA (англ. *Simple Moving Average*) [3], обраний як математична основа підсистеми прогнозування потреб військових підрозділів. Цей метод є оптимальним за умов дефіциту історичних даних завдяки своїй математичній простоті, мінімальним вимогам до вибірки та високій адаптивності до наявних даних. Вхідними даними алгоритму є впорядкований за хронологією масив агрегованих значень кількості запитів категорією, згрупованих за місяцями $X = \{x_j, j = \overline{1,n}\}$, де: x_j – кількість запитів військових відповідної категорії у j-му місяці, n – загальна кількість місяців, за які згруповано наявні дані.

Перед початком обчислення прогнозованих даних здійснюють перевірку граничної умови, а саме: якщо кількість місяців із наявними даними $n<3$, то алгоритм повертає повідомлення про неможливість прогнозування. Ця умова відповідає функціональній вимозі системи REQ-4.4 та забезпечує статистичну обґрунтованість очікуваних результату.

За наявності достатньої кількості даних обчислюють значення простого ковзного середнього за останні $k = 3$ місяці незалежно від загальної кількості нагромаджених спостережень (запитів на потреби). Прогнозовану кількість запитів на наступний календарний місяць розраховують за формулою [13]

$$F_{t+1} = \frac{1}{k} \sum_{j=t-k+1}^{n} x_j, t \in T ,$$

де: F_{t+1} – прогнозована кількість запитів на наступний місяць, $k = 3$ – розмір вікна ковзного середнього; x_j – кількість запитів у j-му місяці; n – кількість місяців, що беруть для розрахунку (зазвичай це 3 або 5); зазвичай $t \geq n$ – передостанній місяць прогнозування. Вікно $k = 3$ обрано з міркувань чутливості до поточних тенденцій і мінімальних вимог до обсягу даних: на початковому етапі експлуатації трьох місяців спостережень достатньо для отримання статистично стійкого прогнозу. На відміну від експоненційного згладжування [9] та ARIMA [6], SMA не потребує підбору параметрів і мо-

же застосовуватися на малих вибірках, що відповідає умовам початкового етапу роботи системи.

Алгоритм реалізовано на серверній частині застосунку у вигляді окремої функції computeForecast, що не потребує під'єднання сторонніх статистичних бібліотек. API-маршрут отримує з бази даних усі записи запитів обраної категорії, агрегує їх за місяцями на рівні сервера та передає до функції прогнозування. Результатом є два масиви: історичні місячні значення та прогнозоване значення на наступний місяць, які передаються клієнтській частині для візуалізації. Прогноз відображається пунктирною лінією і з'єднується з останньою реальною точкою, забезпечуючи наочну неперервність часового ряду. Фільтр за роком обмежує видиму частину графіка, не впливаючи на розрахунок прогнозу – він виконується на основі повного масиву нагромаджених даних.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Постановка завдання щодо розроблення вебзастосунку. Вебзастосунок для аналізу та моніторингу потреб військових і координації їх гуманітарного забезпечення є цифровою платформою для волонтерських організацій, благодійних фондів та логістичних центрів, яка автоматизує збір запитів від військових підрозділів і координує постачання допомоги. Основна мета його функціонування – максимізувати швидкість і точність забезпечення військових підрозділів усім необхідним через мінімізацію бюрократії, вилучення дублювання запитів та оптимізацію логістичних маршрутів.

Загалом вебзастосунок має мати такий ключовий функціонал:

- верифікація та безпека (2FA), тобто двофакторна автентифікація потенційного користувача, а також розмежування прав доступу (військовий / волонтер / адмін), зокрема й шифрування даних про дислокацію військового підрозділу;
- модуль запитів (CRM), де відбувається створення інтерактивних заявок військових за категоріями (медицина, амуніція, техніка, провізія) із вказанням пріоритетності їх виконання;
- складський облік (WMS), де відбувається відображення актуальних залишків гуманітарної допомоги на балансі різних волонтерських хабів у реальному часі;
- логістичний конструктор статусів (LSB), що містить трекінг статусів доставки товарів за запитами (зібрано, в дорозі, доставлено), а також відбувається формування оптимальних маршрутів для волонтерських екіпажів;
- підсистема прогнозування потреб військових FMR має бути доступна користувачам з розмежуванням прав доступу (волонтер / адмін), де доступ військових до сторінки прогнозування навмисно обмежено;
- аналітична панель (дашборд), де відбувається візуалізація закритих потреб військових у вигляді графіка дефіцитних позицій, звітів для донорів про цільове використання коштів тощо.

Двофакторна автентифікація (2FA) потенційного користувача вебзастосунку та розмежування прав доступу до інформаційних ресурсів є базовими компонентами сучасної системи контролю доступу (IAM). Разом вони забезпечують ідентифікацію особи (хто заходить) та обмеження її дій у системі (що їй дозволено робити). Для нових користувачів, які тільки проходять реєстрацію або перший вхід, 2FA критично важлива. Вона захищає систему від ботів, фейкових акаунтів та автоматизованих атак. Під час першої реєстрації система повинна примусово перенаправити користувача на екран налаштування 2FA. Доки він не згенерує резервні коди або не прив'яже додаток-автентифікатор, доступ до основних функцій системи має бути заблоковано.

Модуль CRM (англ. *Customer Relationship Management* або управління відносинами з клієнтами) – це підсистема для автоматизації бізнес-процесів, контролю продажів, збирання та зберігання всієї інформації про клієнтів в одному місці. Ключові функції CRM-системи розробленого вебзастосунку є такими: єдина база клієнтів, де відбувається збереження контактів, детальна історія дзвінків, чатів та купівель; воронка продажів/доставки, де наочно відбувається відстеження шляху клієнта від першого кліку до успішної оплати/отримання; автоматизація рутинних операцій, коли створюють автоматичні нагадування, здійснюють формування рахунків та відправку SMS; аналітика й звіти, за якими здійснюють контроль ефективності менеджерів, підрахунок чистого прибутку та ROI; інтеграція каналів зв'язку, де об'єднано в один інтерфейс сайтів, телефонії, Instagram, Viber та Telegram.

Модуль WMS (англ. *Warehouse Management System*) – це система управління складом, яка автоматизує та оптимізує всі логістичні процеси волонтерської організації. Вебзастосунок контролює рух товарів від моменту їхнього надходження на склад до фінального відвантаження клієнту. Основні функції WMS розробленого вебзастосунку є такими: приймання товарів, де проходить швидке їх оформлення, маркування штрих-кодами та перевірка відповідності накладним/запитам; розміщення товарів, де проходить автоматичний підбір оптимального місця їх зберігання на основі габаритів та умов їх зберігання; інвентаризація матеріальних цінностей, де проходить постійний контроль залишків у режимі реального часу без зупинки роботи всього складу; комплектація товарів за запитами та їх пакування, де проходить формування маршрутів для збірників, що мінімізує час на пошук позицій; відвантаження товарів за запитами, де проходить контроль завантаження у транспорт і їхньої черги на складах.

Логістичний конструктор статусів LSB (англ. *Logistics Status Builder*) – це архітектура бази даних вебзастосунку та логіки, яка дає змогу динамічно відстежувати рух товарів за трьома основними етапами: зібрано, в дорозі та доставлено. Логістичний конструктор для волонтерських екіпажів – це спеціалізована цифрова система (TMS), яка автоматизує планування маршрутів для доставки гуманітарної допомоги, евакуації або транспортування поранених. Вона мінімізує витрати пального та тривалість перебування волонтерів у дорозі.

Прогнозування потреб військових FMR (англ. *Forecasting Military Requirements*) – це стратегічний процес визначення вебзастосунком потрібних обсягів матеріально-технічних, фінансових, людських та медичних ресурсів, необхідних для підтримання боєздатності армії, ведення бойових дій та ліквідації потенційних загроз. Від точності цього процесу залежить національна безпека та ефективність логістики сил оборони.

Аналітична панель Dashboard (або інформаційна панель) – це інструмент вебзастосунку для візуалізації даних, який збирає ключові показники KPI (англ. *Key Performance Indicators*), графіки та звіти на одному екрані для швидкого аналізу. Він допомагає відстежувати ефективність процесів, відзначати тенденції та оперативно

приймати рішення. Головні функції дашбордів є такими: візуалізація даних, де система перетворює складні таблиці на прості діаграми та графіки; консолідація, де система збирає дані з різних джерел (CRM, бази даних, Excel) в одне місце; інтерактивність, де система дає змогу фільтрувати інформацію за датами, регіонами чи категоріями; оновлення інформації в реальному часі, коли система відображає актуальні зміни даних без ручного перерахунку. Ключові показники ефективності KPI відображають фінансову або нефінансову систему оцінювання діяльності волонтерської організації, зазвичай допомагає її підрозділам чи окремим працівникам виміряти ступінь досягнення стратегічних і оперативних цілей.

Загальні архітектурні рішення системи аналізу та моніторингу потреб військових. Під час проєктування програмної архітектури вебзастосунку було обрано концепцію модульного моноліту. Цей підхід передбачає існування єдиної кодової бази, поділеної на функціональні модулі з чітким розмежуванням відповідальності. Як альтернативи розглянуто традиційний моноліт та мікросервісну архітектуру. Хоча традиційний моноліт і має низьку складність розроблення та доволі просте розгортання, його обмежена масштабованість ускладнила б підтримку коду в майбутньому. Мікросервісна архітектура ж є надлишковою, адже вона передбачає поділ системи на незалежні сервіси, подальше їх оновлення, розгортання та масштабування яких проводиться окремо. Для системи із всього трьома ролями та п'ятьма функціональними модулями це є зайвим ускладненням, тому саме модульний моноліт став оптимальним вибором програмної архітектури вебзастосунку.

Архітектуру системи аналізу та моніторингу потреб військових розділено на три логічні шари (рис. 1) відповідно до принципу розділення відповідальностей SoC (англ. *Separation of Concerns*), тобто фундаментального правила проєктування ПЗ, за яким кожна частина коду повинна відповідати тільки за одне чітко визначене завдання. Шар подання складається з React-компонент, тобто ізольованих, незалежних фрагментів коду, які слугують будівельними блоками для створення інтерфейсу користувача (UI) на базі HeroUI. Вибір сучасної та швидкої бібліотеки компонент HeroUI (раніше відома як NextUI) пов'язаний з інструментами розроблення інтерфейсів GitHub, тобто хмарної платформи для спільного розроблення ПЗ та хостингу вихідного коду. Вона поєднує доступність елементів від React Aria та гнучкість стилізації за допомогою Tailwind CSS v4. Валідацію форм реалізовано з використанням React Hook Form і Zod. TanStack Query задіяно для кешування серверного стану, TanStack Table – для табличного подання. Для аналітичних діаграм та інтерактивної карти залучено Recharts і Leaflet.js відповідно.

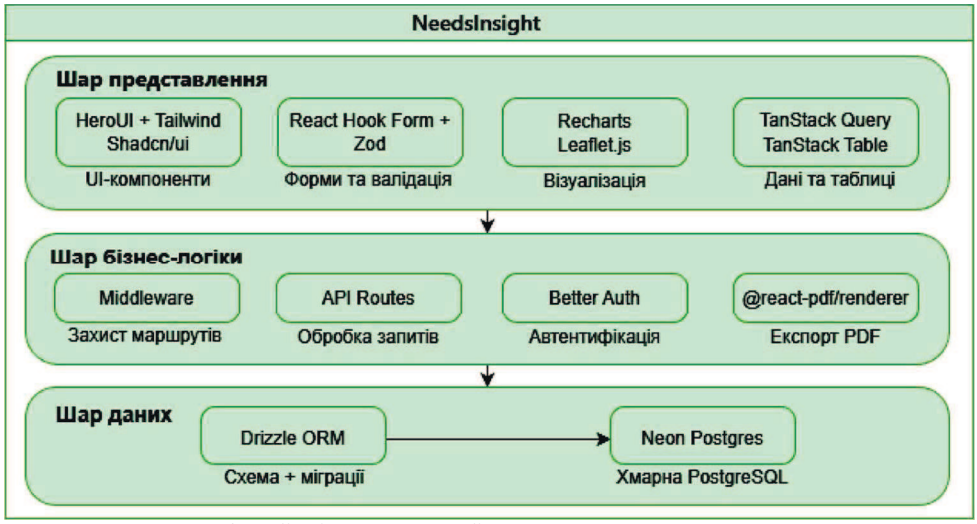

Рис. 1. Діаграма компонент застосунку / Application component diagram

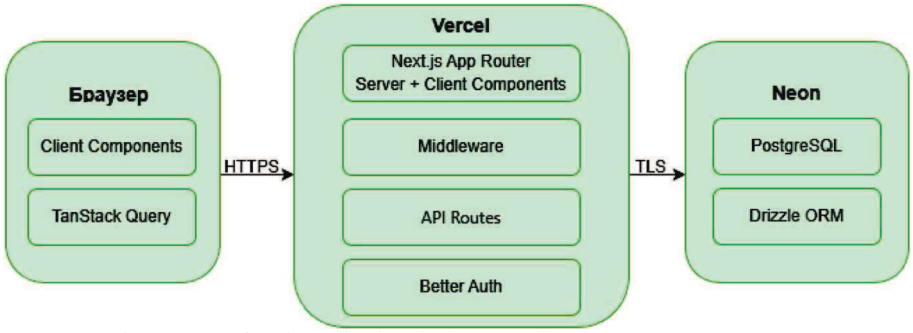

Рис. 2. Діаграма розгортання вебзастосунку / Web application deployment diagram

Шар бізнес-логіки містить Next.js компоненти та API Routes, тобто визначені URL-адреси (ендпоінти) у вебзастосунку або на сервері, які приймають HTTP-запити від клієнта та повертають дані (зазвичай у форматі JSON), замість рендерингу HTML-сторінок. Вони виступають посередником між інтерфейсом користувача (Frontend) та базою даних або сторонніми сервісами. Усі запити перехоплює middleware і проводить перевірку на наявність та валідність сесії. Для сесійної автентифікації користувача використано бібліотеку Better Auth, тобто сучасний інструмент, незалежний від фреймворків (framework-agnostic), для автентифікації та авторизації користувачів для TypeScript-стеку. Для формування PDF-файлів залучено бібліотеку @react-pdf/renderer, яка дає змогу створювати PDF-документи безпосередньо у React-застосунках як на боці клієнта (у

браузері), так і на боі сервера (Node.js). Шар даних містить Drizzle ORM, яка дає можливість здійснювати типобезпечні маніпуляції з даними та забезпечує автоматизацію процесу генерування SQL-запитів, а також хмарний PostgreSQL сервіс Neon Postgres.

Фізична архітектура вебзастосунку охоплює три вузли (див. рис. 2):

1) Клієнтський вузол, де браузер користувача не потребує встановлення додаткового ПЗ та взаємодіє через HTTPS із серверним вузлом.
2) Серверний вузол розгорнутий на хмарній платформі Vercel, призначеній для розгортання, хостингу та швидкого розроблення сучасних вебзастосунків і статичних сайтів. Виконання middleware відбувається на рівні Edge Runtime, а також здійснюється перевірка автентифікації користувача ще до оброблення запиту. Горизонтальне масштабування вебзастосунку без змін у коді забезпечено тим, що Server Components та API Routes функціонують як serverless-функції, тобто запускаються на вимогу без постійно активного сервера.
3) Вузол бази даних, де через захищене TLS з'єднання здійснюється обмін інформацією з серверним вузлом. Бібліотека Drizzle ORM уникає потреби у підтримці постійного пулу з'єднань між викликами функцій, а це неабияк важливо мати в serverless-середовищі Vercel, де виклики є окремими функціями без спільного стану.

Завдяки даному архітектурному рішенню вдалося досягнути горизонтальної масштабованості системи аналізу та моніторингу потреб військових без внесення змін у код, а також зробити надалі легшою підтримку модулів.

Проєктування бази даних системи аналізу та моніторингу потреб військових. Базу даних вебзастосунку спроєктовано для підтримки OLTP-навантаження, здебільшого коротких транзакційних операцій запису та зчитування записів, а це, водночас, відповідає сценаріям подання запитів, перегляду аналітики та зміни статусів. Аналітичні запити є другорядними у системі й не потребують колонкового зберігання, а тому OLTP-модель є достатньою для актуальних вимог.

Логічна модель бази даних вебзастосунку має чотири сутності (рис. 3), а саме:

1) User – представляє зареєстрованого користувача системи аналізу та моніторингу потреб військових.
2) Session – сесія автентифікованого користувача, містить токен сесії, метадані пристрою, а також термін дії. Бібліотека Better Auth створює її автоматично під час входу користувача.
3) Account – запис облікового провайдера, зберігає дані автентифікації користувача. За керування також відповідає бібліотека Better Auth.
4) Request – зберігає всю інформацію запиту на гуманітарне забезпечення.

ER-діаграма (англ. *Entity-Relationship Diagram* або діаграма "сутність-зв'язок") – це візуальна модель бази даних вебзастосунку, яка відображає основні об'єкти (сутності) бізнес-логіки та показує, як саме вони взаємодіють між собою всередині системи. Вона є головним інструментом для проєктування реляційних баз даних на концептуальному та логічному рівнях.

Встановлені зв'язки між сутностями: user і session та user і account – один до багатьох. User і request через userId – один до багатьох, визначає автора запиту, а user і request через updatedBy (укр. оновлено ким) – фіксує автора, який останнім вніс зміни до статусу запиту. Є окремим від userId, тому що статус змінює не автор запиту, а волонтер або адміністратор.

Засобами бібліотеки Drizzle ORM реалізовано фізичну схему, у якій таблиці session і account є автоматично згенерованими. Таблиця user розширена полем role з доступними значеннями admin, volunteer, military. Таблиця request містить поля найменування, категорії, кількості, одиниці виміру, пріоритету, статусу, адреси доставки, географічних координат місця доставки, бажаної дати доставки, коментаря, ідентифікатора призначеного волонтера та полів відстеження зміни статусу. Автоматично створена таблиця verification, не додана до логічної моделі.

Також не створено окремої таблиці ролей, а безпосередньо в таблиці user додано поле role, тому що передбачено тільки три ролі без внесення динамічних змін. Додавання окремої таблиці ролей призвело б до зайвих запитів, що не має практичної користі.

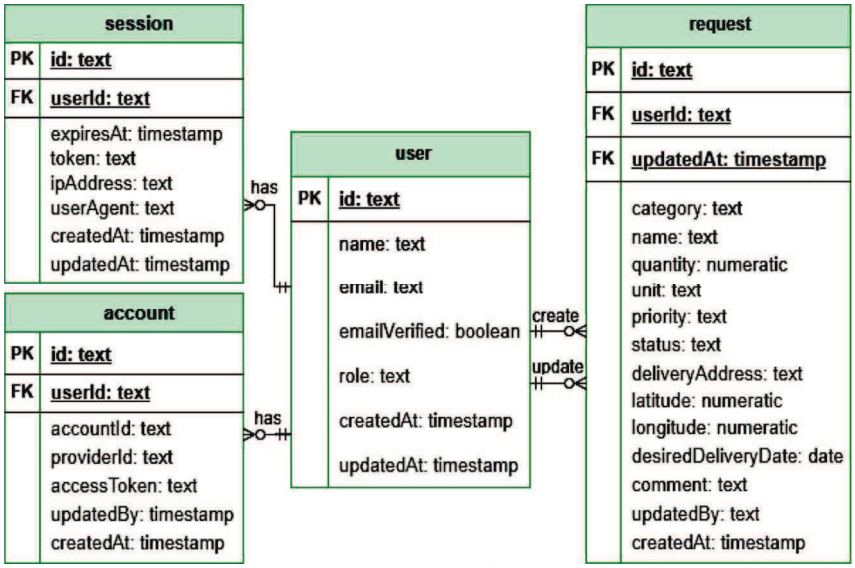

Рис. 3. ER-діаграма бази даних системи аналізу та моніторингу потреб військових / ER diagram of the database for the military requirements analysis and monitoring system

Моделювання поведінки системи аналізу та моніторингу потреб військових та її об'єктна модель. Об'єктну модель системи побудовано на основі схем бібліотеки Drizzle ORM. Класи відповідають таблицям бази даних і типам TypeScript, тобто строгої типізованої мови програмування. Вона додає можливість явного

опису типів даних, що дає змогу виявляти помилки ще на етапі написання коду. Весь код TypeScript унаслідок цього транспілюється (перетворюється) у чистий JavaScript, який здатний виконувати будь-який сучасний веббраузер або серверна платформа на кшталт Node.js, Deno чи Bun.

На створеній діаграмі класів (рис. 4) показано основні класи системи та переліки, які задають допустимі значення ключових полів. На діаграмі зображено чотири класи: User, Account, Session, Request. Зв'язки між класами відповідають певним зв'язкам та додатково специфікують типи даних через переліки. Для ролі створено перелік Role з такими значеннями: admin, volunteer, military. Для категорії створено перелік Category з перерахованими доступними категоріями: медикаменти, продукти харчування, спорядження, техніка, інше. Для пріоритету створено Priority із значеннями: критичний, високий, середній, низький, та для статусу – Status із значеннями: відкритий, у процесі збирання, в дорозі, доставлено.

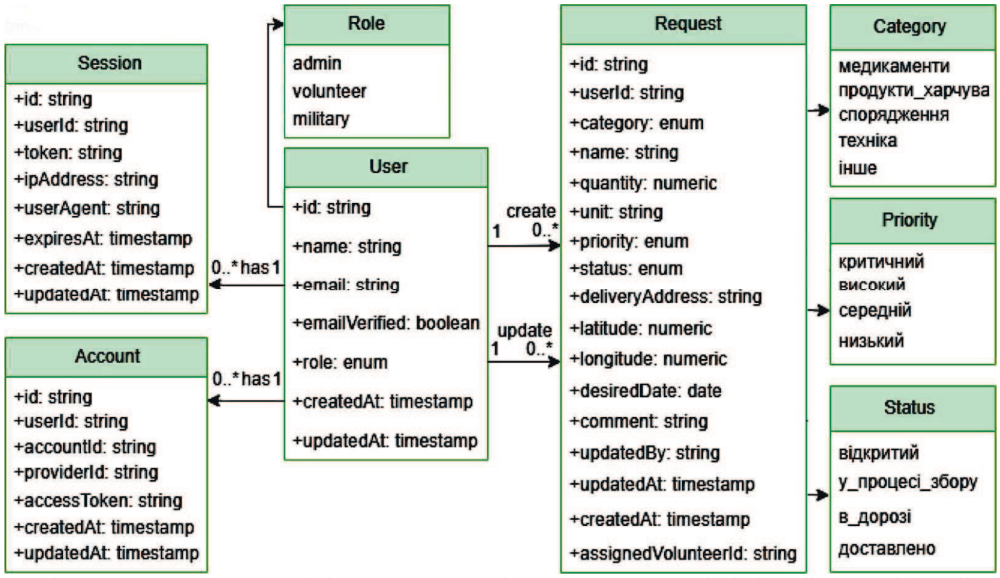

Рис. 4. Діаграма класів системи аналізу потреб військових з переліками ключових полів / Class diagram of the military requirements analysis system, including lists of key fields

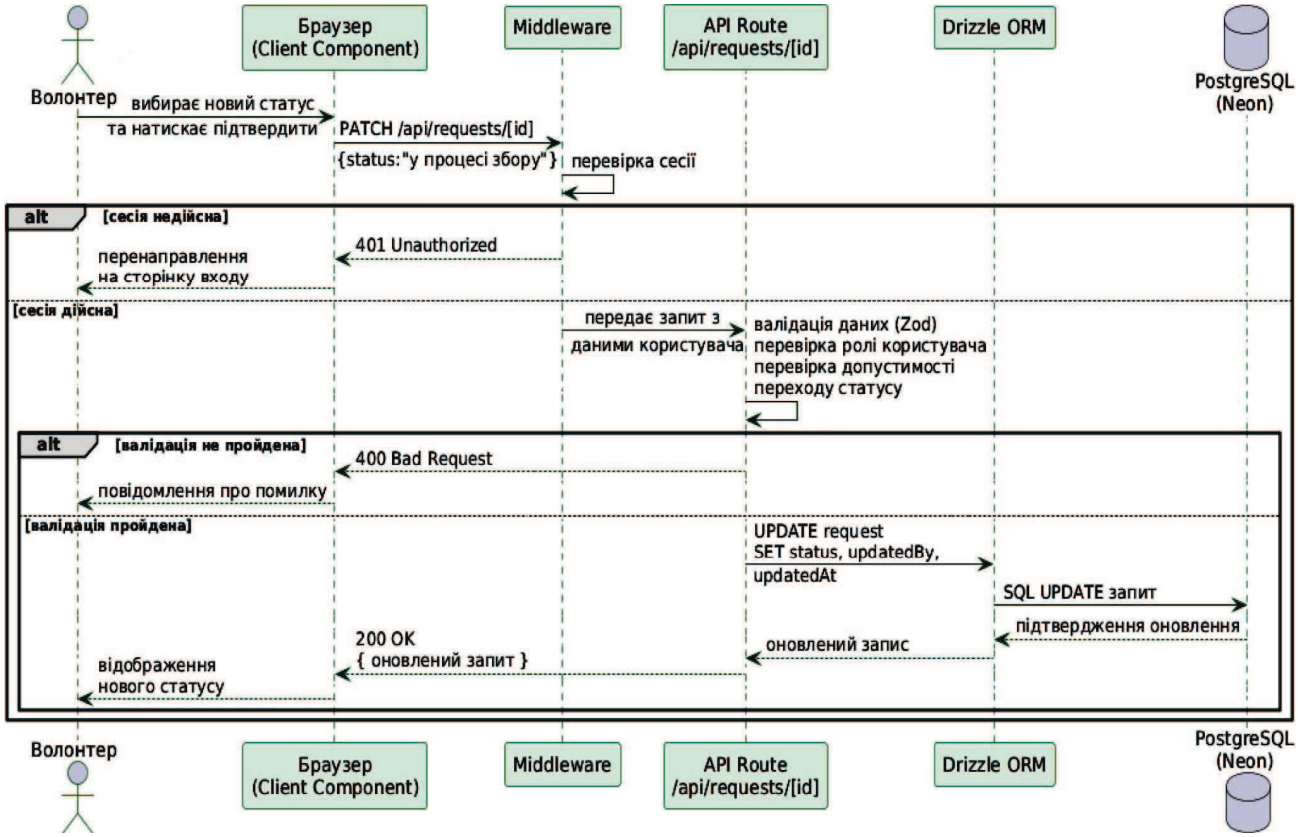

Рис. 5. Діаграма послідовностей зміни статусу запиту волонтера / Flowchart showing the sequence of changes in a volunteer's application status

Діаграма послідовностей (англ. *Sequence Diagram*) – ідеальний інструмент для опису будь-якого сценарію, оскільки вона чітко показує хронологічний порядок взаємодії між користувачем, інтерфейсом та сервером. Щоб продемонструвати динамічну взаємодію між компонентами вебзастосунку розроблено діаграму послідовностей для сценарію зміни статусу запиту волонтера (рис. 5). Було обрано саме цей сценарій, адже він охоп-

лює повний цикл оброблення запиту, від дії користувача на клієнті до внесення змін у базу даних.

Спочатку волонтер вибирає новий статус та підтверджує дії у браузері. Далі клієнтська частина надсилає запит до API-маршруту, який перехоплює middleware. Якщо сесія користувача відсутня або недійсна, то запит відхиляється з кодом 401 і користувача перенаправляє на сторінку входу. Якщо з сесією все добре, то запит надходить до API Route, де відбувається валідація вхідних даних, перевірка ролі користувача та допустимість переходу між статусами. У разі невідповідності повертається помилка 400. Далі у разі успішної валідації формується SQL-запит, на оновлення, до бази даних і оновлюються відповідні поля. Після підтвердження оновлення в базі даних API повертає клієнту код 200 з оновленим записом й інтерфейс відображає оновлений статус запиту.

Діаграма станів (англ. *Statechart Diagram*) описує динамічну поведінку системи шляхом відображення всіх можливих станів конкретного об'єкта та переходів між ними внаслідок певних подій. Діаграму станів створено для того, щоб показати повний життєвий цикл запиту волонтера на гуманітарне забезпечення військових від початку його створення до остаточного стану (рис. 6).

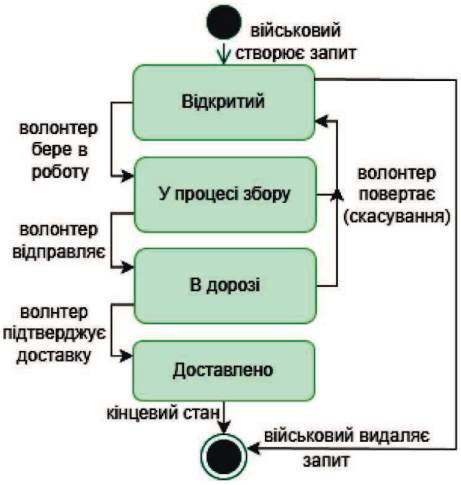

Рис. 6. Діаграма станів запиту волонтера / State diagram for a volunteer request

Початковий стан "Відкритий" встановлюється автоматично під час створення військовим запиту. Далі або військовий видаляє запит і життєвий цикл завершується, або волонтер бере у роботу запит і стан переходить у "У процесі збирання". Військовий має право на редагування запиту тільки коли той у стані "Відкритий". Зі стану "У процесі збирання" волонтер може або перевести запит у стан "В дорозі", або повернути запит у стан "Відкритий", якщо існує неможливість його виконання. Аналогічно така можливість повернення передбачена у стані "В дорозі". Остаточний стан "Доставлено" волонтер встановлює після підтвердження доставки і він є незворотним.

Діаграма діяльності (англ. *Activity Diagram*) візуалізує динамічну поведінку системи у вигляді графічного опису алгоритмів, бізнес-процесів або потоків робіт (workflows). Вона є розширеним та стандартизованим аналогом звичайної блок-схеми, оскільки підтримує паралельне виконання дій та складну їх синхронізацію. Діаграму діяльностей створено для опису процесу прогнозування потреб військових, реалізованого у системі аналізу та моніторингу їхніх потреб (рис. 7). Процес ініціює волонтер або адміністратор, які відкривають сторінку прогнозування та обирають категорію для аналізу. Далі система робить запит до бази даних задля отримання історії запитів та групує запити за місяцями. Після цього здійснюється перевірка на наявність даних щонайменше за останні три місяці. Якщо даних недостатньо, то виводиться на екран відповідне повідомлення і процес завершується. За наявності даних, обчислюється ковзне середнє, на основі нього розраховується прогноз на наступний місяць і сформований масив даних передається відповідній компоненті для відображення графіка. Після аналізу графіка користувач може обрати іншу категорію і повторити процес.

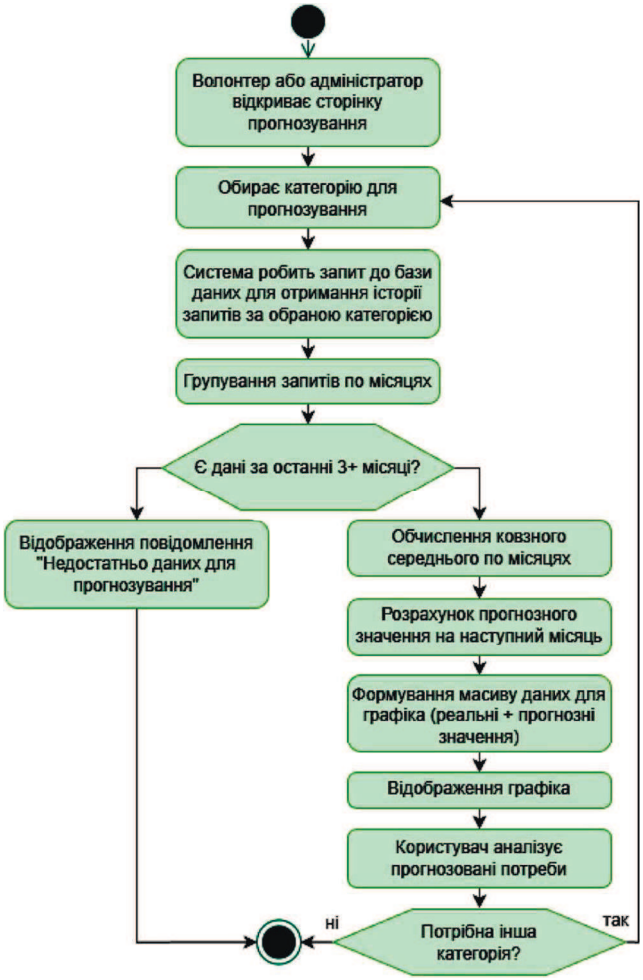

Рис. 7. Діаграма діяльності для опису процесу прогнозування потреб військових / Activity diagram for describing the process of forecasting military requirements

Проєктування інтерфейсу користувача системи – це комплексний процес створення логіки, структури та візуального вигляду вебзастосунку для забезпечення максимально зручної, інтуїтивної та ефективної взаємодії людини з комп'ютерною системою. Головна мета проєктування – знизити когнітивне навантаження на користувача і допомогти йому вирішувати свої завдання з мінімальною кількістю помилок.

Згідно з вимогами до вебзастосунку, було спроєктовано інтерфейс користувача на підставі таких основних принципів:

1) Орієнтація на користувача (User-Centric Design), коли інтерфейс створюється під конкретні потреби (військових і волонтерів), звички та рівень комп'ютерної грамотності цільової аудиторії.
2) Простота та мінімалізм, коли на екрані мають бути тільки ті елементи, які потрібні для поточного кроку роботи. Надлишок інформації перевантажує увагу.

3) Послідовність (консистентність) використання, коли кнопки, шрифти, кольори та логіка поведінки елементів інтерфейсу користувача мають бути однаковими в усіх частинах системи.
4) Зворотний зв'язок (Feedback), де система повинна миттєво реагувати на дії користувача (наприклад, змінювати колір кнопки при натисканні, показувати індикатор завантаження або сповіщення).
5) Профілактика помилок, коли інтерфейс має бути спроєктований так, щоб користувач не міг зробити критичну помилку (наприклад, неактивна кнопка "Надіслати", поки не заповнені обов'язкові поля).

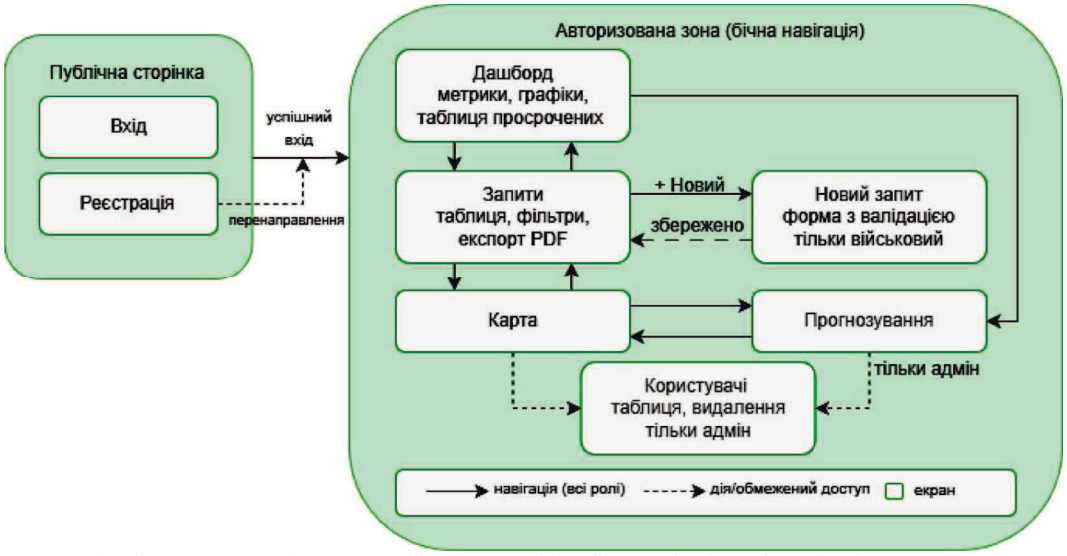

Рис. 8. Схема переходів між екранами вебзастосунку / Screen transition diagram for the web application

Під час проєктування інтерфейсу користувача було враховано рольові моделі їхнього доступу та принцип мінімального когнітивного навантаження для безпосередніх користувачів, адже серед них можуть бути особи без технічної підготовки. Організовано інтерфейс користувача за принципом єдиної бічної панелі навігації, яка є спільною для всіх ролей, але залежно від ролі на ній відображатимуться різні пункти меню. Цей підхід унеможливлює доступ користувача з обмеженою роллю до функціоналу вебзастосунку, який для нього повинен бути закритий, а також покриває вимогу аутентифікації та ідентифікації.

Щодо розподілу видимості пунктів інтерфейсу користувача, то адміністратору видно всі пункти меню, волонтеру всі, окрім пункту "Користувачі", військовому ж видно тільки пункти: "Дашборд" та "Запити".

Створено схему переходів (англ. *User Flow / Wireflow*) між екранами вебзастосунку (рис. 8), тобто візуальний план навігації в системі, який відображає всі сторінки (екрани) та зв'язки між ними. Схема демонструє, як користувач переміщується між інтерфейсами від моменту входу до виконання цільової дії.

Публічна зона схеми переходів складається з однієї сторінки входу та реєстрації потенційного користувача. Після успішного входу він перенаправляється до авторизованої зони, де має доступ до навігації між екранами залежно від його ролі.

Макети (англ. *Wireframes / Mockups*) *основних вікон* вебзастосунку визначають структуру його інтерфейсу, розташування елементів керування та логіку взаємодії користувача із системою. Незалежно від специфіки використання вебзастосунку, більшість з них містять стандартний набір ключових екранів. Макети основних вікон системи аналізу та моніторингу потреб військових створено у вигляді вайрфрейму середньої точності. Вайрфрейм (англ. *Wireframe*) – це базовий двовимірний начерк або скелетна структура цифрового інтерфейсу (вебсайту чи мобільного застосунку). Він фокусується винятково на розташуванні елементів та інформаційній архітектурі вікна, ігноруючи кольори, шрифти та графічний декор. Його головна мета – швидко узгодити логіку та шлях користувача (UX) до початку етапу візуального дизайну (UI). Макети вікон мають функціональні елементи управління без відображення фінального візуального дизайну.

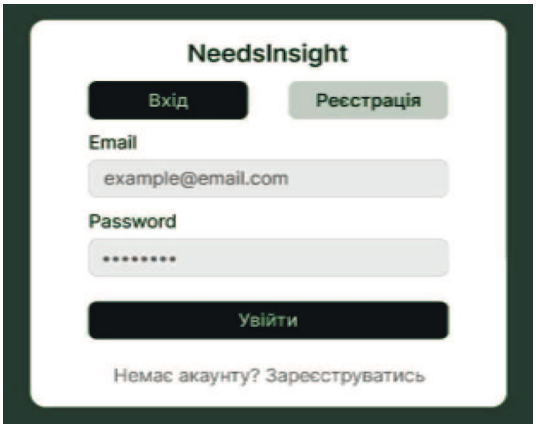

Рис. 9. Макет вікна для входу та реєстрації потенційного користувача / A mock-up of the login and registration page for potential users

Екран 1. Вхід та реєстрація (рис. 9). Доступ до публічної сторінки вебзастосунку не вимагає автентифікації. Сторінка має перемикач між режимами входу та реєстрації. У режимі входу вона має поля для вводу пошти та пароля, а у режимі реєстрації – додатковий елемент вибору ролі між "Волонтер" та "Військовий". Після успішного входу система перенаправляє користувача на сторінку дашборда (інформаційна панель), тобто функціональний екран інтерфейсу вебзастосунку, який збирає, аналізує та візуально відображає ключові показники (KPI), графіки та дані в реальному часі на одному моніторі.

Екран 2. Дашборд (рис. 10). Головна аналітична сторінка вебзастосунку, має 4 картки підсумованих метрик, нижче розміщено 3 аналітичні діаграми та в самому низу розміщена таблиця з протермінованою датою

доставки. Для представника військових все це автоматично відфільтровано тільки за його запитами.

Екран 3. Запити (рис. 11). Складається з рядка пошуку та трьох фільтрів, а також таблиці запитів. Військовий на цій сторінці бачить тільки власні запити, а волонтер та адміністратор – всі. Також для потенційного військового на цьому екрані передбачено кнопку "+ Новий запит", а для можливих волонтерів та безпосередньо адміністратора – кнопку "Експорт PDF".

Екран 4. Створення запиту (рис. 12). Доступний тільки для представників військових. Форма складається з полів, визначених у вимозі REQ-2.1. Обов'язкові поля позначені зірочкою. Кнопки "Подати запит" і "Скасувати" завершують форму.

Рис. 10. Макет вікна дашборда / Dashboard window mock-up

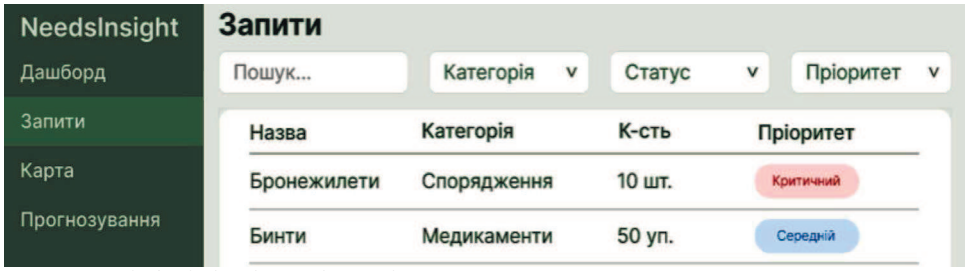

Рис. 11. Макет вікна для запитів / Window layout for queries

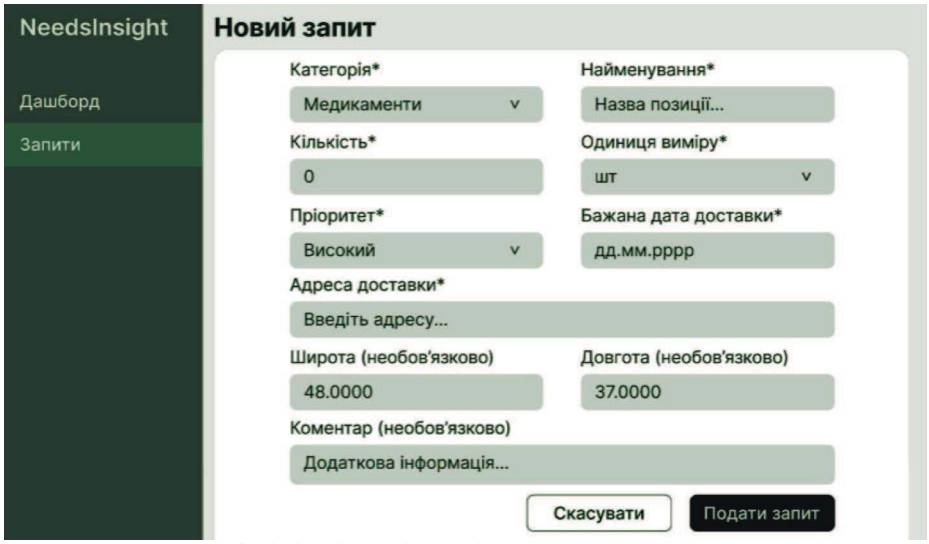

Рис. 12. Макет вікна для створення запиту / Window layout for creating a query

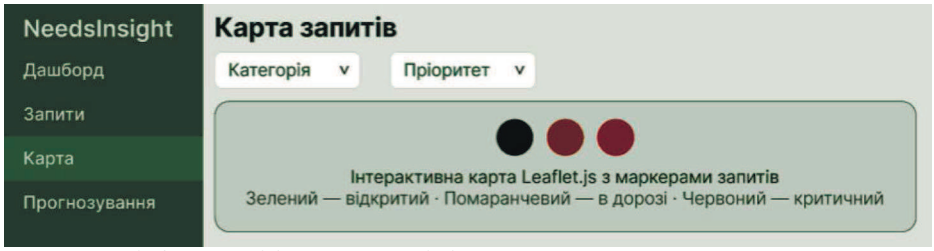

Рис. 13. Макет вікна карти запитів / Layout of the query map window

Екран 5. Карта запитів користувачів (рис. 13). Відображає тільки активні запити, у вигляді маркерів на карті за координатами адреси доставки. Запити, які мають статус "Доставлено", на карті не відображаються. Також є фільтри за категорією та пріоритетом.

Екран 6. Прогнозування (рис. 14) потреб військових. Має випадаючий список, із категоріями, лінійний графік з реальними та прогнозованими даними, а також окремо інформативний блок з числовим значенням прогнозу на наступний місяць.

Екран 7. Користувачі (рис. 15). Має поле для пошуку за поштою, фільтр за роллю, кнопку для додавання нового користувача, а також таблицю з користувачами.

Прогнозування потреб військових на підставі аналізу та моніторингу їх гуманітарного забезпечення. За результатами виконаної роботи розроблено та інтегровано у вебзастосунок NeedsInsight підсистему прогнозування потреб військових підрозділів. Підсистема доступна користувачам з роллю волонтера та адміністратора, водночас як представникам військових доступ до сторінки прогнозування навмисно обмежено, оскільки прогностичні дані призначені для підтримки рішень з планування їхнього постачання, а не для перегляду підрозділами, що відповідає вимозі REQ-4.5. Обмеження реалізовано на двох рівнях: серверний API-маршрут (перевірка ролі із поверненням коду 403), клієнтський маршрутизатор (автоматичне перенаправлення на головну сторінку). Також підсистема підтримує п'ять категорій запитів на забезпечення військових підрозділів: медикаменти, продукти харчування, спорядження, техніка та інше. Прогнозування потреб військових виконується незалежно для кожної їхньої категорії, що дає змогу волонтерам аналізувати динаміку їхніх нагальних потреб диференційовано за напрямами постачання. Вибір активної категорії військових здійснюється через випадаючий список, після чого система автоматично виконує запит до API та оновлює всі компоненти інтерфейсу користувача.

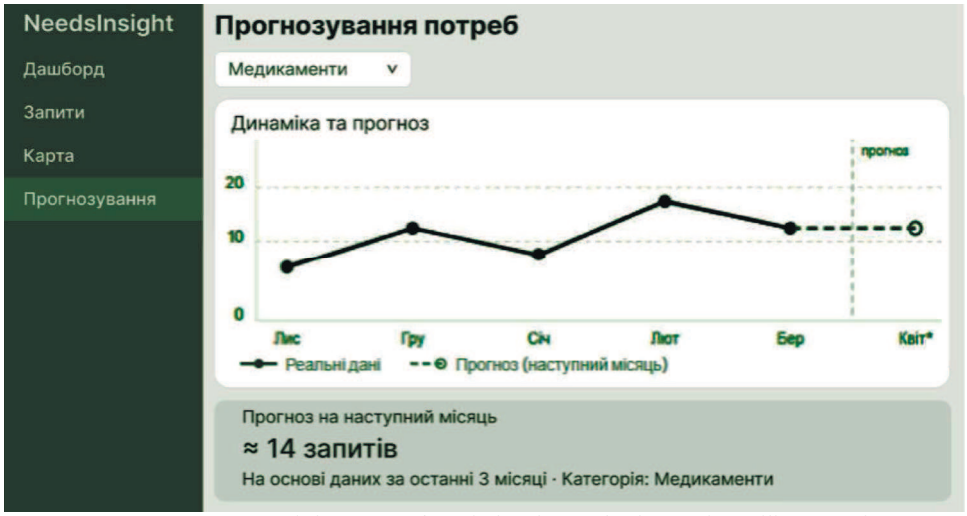

Рис. 14. Макет вікна для прогнозування потреб військових / A window layout for forecasting military requirements

Рис. 15. Макет вікна для потенційних користувачів / A window mock-up for potential users

Рис. 16. Інтерфейс підсистеми прогнозування потреб військових: панель метрик, лінійний графік та картка прогнозу / Interface for the military requirements forecasting subsystem: metrics panel, line chart and forecast card

Інтерфейс підсистеми прогнозування становитьться з чотирьох компонент (рис. 16). Перша компонента – панель аналітичних метрик – відображає 3 показники у вигляді окремих інформаційних плиток. Плитка "Тренд" показує різницю між прогнозованим значенням та передостаннім реальним місяцем із кольоровим кодуванням: зелений колір і символ "↑" – за очікуваного зростання, червоний і "↓" – за очікуваного зниження, сірий і

"→" – за стабільного прогнозу. Плитка "Середнє" відображає середнє арифметичне кількості запитів за видимий період із зазначенням кількості місяців, що увійшли до розрахунку. Плитка "Пік активності" показує максимальне місячне значення та відповідний місяць, що дає змогу ідентифікувати сезонні або ситуативні сплески потреб військових.

Друга компонента – лінійний графік динаміки та прогнозу – побудовано засобами бібліотеки Recharts. Реальні дані відображаються суцільною лінією, прогнозоване значення – пунктирною, з'єднаною з останньою реальною точкою для забезпечення наочної неперервності часового ряду, що відповідає вимозі REQ-4.2. Графік містить легенду, сітку, підказки при наведенні та підписи осей. Фільтр за роком звужує видиму частину графіка без впливу на розрахунок прогнозу: алгоритм завжди виконується на повному масиві нагромаджених даних, що гарантує коректність результату незалежно від обраного діапазону відображення.

Третя компонента – картка прогнозованого значення – розташована праворуч від графіка і відображає числове значення прогнозу на наступний календарний місяць, виділене великим шрифтом кольору інтерфейсу системи. Нижче картка містить текстову інтерпретацію прогнозу одним із трьох варіантів залежно від тренду: "Очікується зростання попиту. Рекомендується завчасно підготувати додаткові ресурси", "Очікується зниження попиту. Достатньо підтримувати поточний рівень забезпечення" або "Попит залишається стабільним. Істотних змін порівняно з попереднім місяцем не очікується". Логіка визначення тренду передбачає відхилення більше ніж на одну одиницю від останнього реального значення для уникнення хибної сигналізації за незначних коливань.

Четверта компонента – повідомлення про недостатність даних –відображається замість графіка та метрик у разі, якщо для обраної категорії нагромаджено менше трьох місяців спостережень. Це забезпечує коректну поведінку системи на початковому етапі експлуатації та відповідає вимозі REQ-4.4.

Серверну частину підсистеми прогнозування потреб выйськових реалізовано у вигляді окремого API-маршруту /api/forecast, що обробляє GET-запити з обов'язковим параметром category. Маршрут захищено на двох рівнях: перевірка наявності активної сесії із поверненням коду 401 – за її відсутності та перевірка ролі користувача із поверненням коду 403 – для представників військових. Вхідні дані валідуються засобами бібліотеки Zod – параметр category перевіряється на відповідність переліку допустимих значень enum схеми бази даних, що унеможливлює передачу довільних рядків до SQL-запиту.

Після успішної валідації маршрут виконує єдиний SQL-запит до бази даних через Drizzle ORM, що отримує поля createdAt усіх записів запитів обраної категорії. Агрегація за місяцями виконується на рівні сервера засобами TypeScript: для кожного запису формується ключ у форматі YYYY-MM, після чого підраховується кількість записів для кожного ключа. Результуючий масив сортується хронологічно та передається до функції computeForecast, яка виконує перевірку граничної умови і обчислення ковзного середнього. Така архітектура забезпечує мінімальний обсяг даних, що передаються між сервером і клієнтом: замість повного масиву записів клієнт отримує тільки агрегований масив місячних значень та одне прогнозоване число.

Коректність реалізованого алгоритму підтверджено на конкретному прикладі, що відповідає даним, відображеним на рис. 1 для категорії "Техніка" за 2026 рік. Реальні місячні значення кількості запитів становлять: січень – 1, лютий – 3, березень – 1, квітень – 3, травень – 2. Відповідно до формули (1) прогнозоване значення на червень 2026 р. обчислюється як середнє арифметичне трьох останніх місяців: $F_6 = (x_3 + x_4 + x_5) / 3 = (1 + 3 + 2) / 3 = 2$, де x_3, x_4, x_5 – значення березня, квітня та травня відповідно. Отримане прогнозоване значення $F = 2$ збігається з результатом, відображеним у картці прогнозу на рис. 1. Тренд визначається як спадний (↓ -1), оскільки різниця між прогнозованим значенням (2) та передостаннім реальним місяцем – квітнем (3) – становить -1, що перевищує поріг нечутливості в одну одиницю за модулем і активує червоне кольорове кодування індикатора тренду. За результатами реалізації підсистема прогнозування покриває всі п'ять функціональних вимог групи REQ-4, що підтверджено функціональним тестуванням застосунку.

Обговорення результатів дослідження. Вибір методу прогнозування обґрунтовано порівняно з трьома альтернативами за п'ятьма критеріями (таблиця). Просте ковзне середнє – єдиний із розглянутих методів, що задовольняє всі п'ять критеріїв одночасно. Методи з вищою теоретичною точністю – ARIMA та LSTM – є непридатними через надмірні вимоги до обсягу навчальних даних та обчислювальних ресурсів. Експоненційне згладжування є перспективним для другого етапу розвитку системи після нагромадження достатнього обсягу спостережень.

Таблиця. Порівняльний аналіз методів прогнозування часових рядів / A comparative analysis of time series forecasting methods

Критерій прогнозування	Просте ковзне середнє	Експоненційне згладжування	ARIMA	LSTM
Мінімальна кількість спостережень	3	10-15	20-30	100+
Потреба у підборі параметрів	Ні	Так (α)	Так (p, d, q)	Так (архітектура)
Обчислювальна складність	Мінімальна	Низька	Середня	Висока
Сторонні бібліотеки	Не потрібні	Не потрібні	Потрібні	Потрібні
Придатність для системи на початковому етапі	Так	Обмежено	Ні	Ні

Порівняльний аналіз зазначених методів підтверджує, що метод простого ковзного середнього з вікном $k = 3$ відповідає вимогам системи на початковому етапі нагромадження даних. Метод запускається вже з трьох місяців спостережень, не потребує підбору параметрів, не залежить від сторонніх бібліотек і виконується на сервері за час, що не перевищує часу виконання SQL-запиту до бази даних. Водночас, просте ковзне середнє має деякі обмеження – метод не враховує сезонності і довготермінових трендів, а також рівномірно зважує всі три останні спостереження незалежно від їх хронологічної близькості. У разі нагромадження системою даних за 12 і більше місяців доцільним є перехід до мето-

ду експоненційного згладжування або моделей ARIMA з автоматичною ідентифікацією параметрів.

Обговорення результатів дослідження. Прогнозування потреб військових підрозділів у системі гуманітарного їх забезпечення є критично важливим для підтримки їхньої боєздатності, збереження життя особового складу та оптимізації логістичних ланцюгів. Тут важливим є зосередження уваги на аналізі особливостей управління ризиками під час постачання гуманітарної допомоги, зокрема – питання їх ідентифікації та оцінювання впливу непередбачених обставин, а також сучасні кіберзагрози, виклики та стратегії кібербезпеки в гуманітарних операціях. У розробленому ПЗ для аналізу та моніторингу гуманітарного забезпечення важливою є система контролю доступу до інформації на основі ролей з використанням шифрування даних і атрибутів (метаданих або властивостей), а також застосування самоадаптаційних моделей контролю доступу до інформаційних ресурсів у контексті хмарних обчислень. Також важливо охарактеризувати особливості короткотермінового прогнозування навантаження на основі методів ARIMA та LSTM, здійснити порівняння цих методів з моделями нейронних мереж, проаналізувати та окреслити перспективні напрями досліджень щодо застосування штучного інтелекту в гуманітарній сфері.

У роботі [17] проаналізовано особливості управління ризиками в ланцюгах постачання гуманітарної допомоги, зокрема питання їх ідентифікації та оцінювання впливу непередбачених обставин. Автори зазначають, що волонтерські організації функціонують за різноманітних і часто нестабільних умов, що зумовлює виникнення значних логістичних і управлінських викликів. З огляду на це, ефективне управління ризиками розглядають як ключову умову забезпечення результативного надання гуманітарної допомоги. Для цього здійснено ідентифікацію потенційних ризиків ланцюга постачання на основі аналізу наукової літератури. Подальше оцінювання передбачало використання експертного опитування для визначення рівнів імовірності виникнення ризиків та їхнього впливу на ланки ланцюга постачання допомоги з подальшою їх систематизацією у межах шести узагальнених категорій. Задля врахування впливу зовнішніх умов автори дослідили значення десяти контекстуальних факторів на рівні країни, волонтерської організації та конкретної кризової ситуації, що дало змогу встановити залежності між умовами функціонування та значущістю окремих ризиків. На цій основі сформульовано п'ять узагальнених положень щодо критичності ризиків, їх контекстної чутливості, впливу непередбачених обставин та підходів до управління ними. Встановлено, що ідентифікація та оцінювання ризиків сприяють підвищенню обґрунтованості управлінських рішень у межах окремих гуманітарних місій, а також вони підтримують процес організаційного навчання. Водночас диференційований підхід до класифікації ризиків створює передумови для посилення міжорганізаційної взаємодії як у межах гуманітарного сектору, так і за його межами.

У роботі [5] проаналізовано сучасні кіберзагрози, виклики та стратегії кібербезпеки в гуманітарних операціях. Автори вказують на те, що гуманітарні організації дедалі більше покладаються на цифрові інструменти та дані, обіцяючи швидше та ефективніше надання допомоги. Але цифровізація має критичний недолік: підвищений ризик кіберзагроз. Витік даних, з яким зіткнувся Міжнародний комітет Червоного Хреста у 2022 р., є яскравим прикладом цього ризику, але не поодиноким. Інциденти, зафіксовані під час конфліктів в Україні та Газі, показують, що кібератаки на гуманітарні організації стали тривожною реальністю сучасного конфлікту. Кіберінцидент проти гуманітарної організації шкодить захисту особистості та позицій вразливих груп. Тому існує нагальна потреба визнати кібербезпеку основним стовпом гуманітарної допомоги. Цей аналіз PRISMA-ScR відображає кіберзагрози, виклики та стратегії в гуманітарній допомозі. Він визначає низку кіберзагроз для гуманітарних організацій, враховуючи кібератаки, стеження та проблеми з дезінформацією. Однак, він виявляє помітні недоліки в плані кіберготовності та реагування, а також повну відсутність знань про стратегії кризової комунікації. Незважаючи на важливість визнання важливості зміцнення кібербезпеки, висновки підкреслюють, що гуманітарні організації стикаються з унікальними викликами, які часто перешкоджають ефективному впровадженню кіберстратегій. З огляду на виявлені прогалини як у наявних дослідженнях, так і в практиці, цей аналіз наголошує на важливості розроблення рішень, адаптованих до особливостей та потреб гуманітарного сектору.

У роботі [31] охарактеризовано систему контролю доступу до інформації на основі ролей з використанням шифрування даних і атрибутів – метаданих або властивостей для запобігання несанкціонованому доступу та витоку конфіденційної інформації. Автори вважають, що такі програми та сервіси, як хмарне сховище та обмін даними, призводять до того, що власники даних не можуть контролювати доступ до них. У такому відкритому середовищі сторонні постачальники послуг стають виконавцями, що означає, що традиційний централізований контроль доступу стає ненадійним. Основного контролю доступу на основі ролей недостатньо у відкритому середовищі, тоді як реалізація контролю доступу на основі криптографії значною мірою залежить від розподілу ключів, тому вони розробили та впровадили систему контролю доступу на основі ролей, що базується на атрибутивному шифруванні. Процес призначення ролей користувачам та дозволів ролей реалізується за допомогою атрибутивного шифрування, завдяки чому рішення щодо доступу більше не залежить від конкретних точок прийняття рішень відповідно до політик інформаційної безпеки, що забезпечує надійне виконання політик доступу. Водночас, їхній підхід додає атрибути до моделі контролю доступу на основі ролей, реалізує призначення ролей користувачам та дозволів ролей на основі атрибутів, що робить процес контролю доступу гнучкішим. Перевірка валідації та тестування продуктивності прототипу доводять доцільність їхньої схеми реалізації.

У роботі [28] наведено результати дослідження самоадаптації моделей контролю доступу до інформаційних ресурсів у контексті хмарних обчислень. Автори зазначають, що моделі контролю доступу до інформації є широко застосовуваними в IT-індустрії, оскільки забезпечують обмеження доступу до цифрових даних і ресурсів. Незважаючи на різноманіття моделей контролю доступу, представлених у науковій літературі, актуальною залишається недостатньо досліджена проблема – необхідність забезпечення їх самоадаптації за умов

розподіленого обчислювального середовища. У роботі наведено ґрунтовний аналіз, який демонструє, що наявні традиційні та нетрадиційні моделі контролю доступу не здатні ефективно протидіяти викликам динамічної адаптації систем. Це зумовлено, зокрема, наявністю непередбачуваних змін, які не враховуються на етапі формування вимог до системи. Унаслідок змін, що виникають під час виконання системи, в її операційному середовищі або у вимогах користувачів виникає потреба динамічної модифікації поведінки системи. Отже, для систем, розгорнутих у хмарних обчислювальних середовищах, де вимоги користувачів є динамічними, доцільним є застосування моделей контролю доступу, здатних обробляти запити авторизації з урахуванням змін, що відбуваються під час виконання системи. Автори також здійснили аналіз різних моделей і фреймворків контролю доступу до інформації, що дало змогу обґрунтувати необхідність впровадження механізмів самоадаптації, особливо в контексті хмарних обчислень.

У роботі [7] проаналізовано особливості короткотермінового прогнозування навантаження на основі методів ARIMA та LSTM. Автори зазначають, що класичні алгоритми прогнозування, такі як модель авторегресивного інтегрованого ковзного середнього (ARIMA) та нейронна мережа з довгою короткочасною пам'яттю (LSTM) мають як свої переваги, так і недоліки. Поєднання переваг обох методів сприяло появі моделі короткотермінового прогнозування ARIMA-LSTM, яка обчислює остаточне прогнозоване значення, застосовуючи лінійну корекцію до помилки моделі LSTM. Використовуючи ARIMA та LSTM як алгоритм порівняння, шляхом навчання можна прогнозувати навантаження на наступний день за допомогою ARIMA-LSTM. Для оцінювання продуктивності запропонованого алгоритму використовувалися середньоквадратична помилка (RMSE), середня абсолютна відсоткова помилка (MAPE) та найгірша відносна помилка (WRE). Після тестування RMSE запропонованої моделі становить 0,433, тоді як ARIMA та LSTM – 0,461 та 0,445 відповідно. ARIMA-LSTM також має кращі результати та добре працює з різними типами наборів даних про потужність.

У роботі [30] наведено результати порівняння моделей нейронних мереж та аналіз методів прогнозування з використанням моделей ARIMA та LSTM. Автори вважають, що використовуючи відповідні дані основного ф'ючерсного контракту на кукурудзу Китайської Далянської товарної біржі з 2018 по 2021 р., було створено відповідно модель ARIMA та модель нейронної мережі з довготерміновою пам'яттю LSTM. Дві моделі були використані для прогнозування щоденної ціни закриття ф'ючерсів на кукурудзу та порівняні з фактичною ціною. Результати прогнозування двох моделей оцінювалися за допомогою середньоквадратичної помилки (RMSE), середньої абсолютної помилки (MAE) та середнього відсотка помилки (MAPE), а також порівнювалися можливості прогнозування двох моделей. Дослідження показало, що прогностична здатність моделі LSTM краща, ніж у моделі ARIMA.

У роботі [18] наведено результати аналізу та окреслено перспективні напрями досліджень щодо застосування штучного інтелекту в гуманітарній сфері. Автори відзначають, що зростання частоти та складності природних, техногенних і військових криз зумовлює підвищення потреби в ефективному та своєчасному гуманітарному реагуванні. Штучний інтелект розглядають як трансформаційний інструмент, здатний підвищити ефективність гуманітарної допомоги на всіх етапах циклу управління кризами. Водночас наявні дослідження залишаються фрагментарними та недостатньо узагальненими. Задля подолання цієї проблеми автори застосували систематичний підхід до аналізу 60 наукових праць. Результати дослідження свідчать, що застосування ШІ на докризовій фазі охоплює такі напрями, як вибір місця розміщення ресурсів, підвищення якості медичних послуг, системи раннього попередження та управління інформаційними потоками. Післякризове використання ШІ містить оптимізацію розподілу й доставки допомоги, оцінювання збитків, аналіз текстових і онлайнових даних, а також оптимізацію маршрутів. Проведений аналіз підтверджує значний потенціал штучного інтелекту для підвищення ефективності гуманітарної діяльності та надає практичні орієнтири для організацій щодо його впровадження.

Обговорення результатів дослідження підтвердило доцільність проведення саме цієї роботи. Аналіз наявної літератури засвідчив, що попередні дослідження розглядали або окремі особливості прогнозування потреб військових на підставі відстеження їхніх запитів, а відомі сервіси добре вирішують завдання збирання пожертв доброзичливців або публікують потреби військових, але не дають відповіді на питання "скільки запитів очікувати наступного місяця". Також ці сервіси не застраховані від різних вразливостей, особливо витоку інформації про місце розташування військових, а також не закривають повний ланцюжок від структурованої подачі запиту до аналітики та прогнозування. Саме ця прогностична функція і стала відправною точкою для реалізації цього дослідження. Тому завдання розроблення методу прогнозування потреб військових підрозділів та його інтеграція у вебзастосунок для аналізу і моніторингу їхнього гуманітарного забезпечення було вирішено, внаслідок чого волонтери й адміністратори можуть планувати постачання допомоги військовим на основі реальних даних, а не їхньої інтуїції.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів – розроблено та програмно реалізовано метод короткотермінового прогнозування потреб військових підрозділів на основі простого ковзного середнього, інтегрованого у повностековий вебзастосунок з рольовою моделлю доступу. На відміну від наявних платформ гуманітарної допомоги, що функціонують винятково у реактивному режимі збирання запитів, запропонований підхід уможливлює проактивне планування постачання на основі нагромаджених даних. Мінімальний поріг – три місяці спостережень; зовнішні статистичні бібліотеки та підбір параметрів не потрібні.

Практична значущість отриманих результатів – можна визначити кількома аспектами. Підсистема переводить волонтерську діяльність з реактивної моделі до проактивної: замість реагування на вже подані запити волонтер отримує сигнал про очікуване зростання потреби завчасно. Текстова інтерпретація прогнозу з конкретними рекомендаціями знижує когнітивне навантаження і робить інструмент доступним без спеціальної підготовки. Окремий розрахунок для кожної з п'яти ка-

тегорій дає змогу виявляти напрями з найвищою динамікою і концентрувати ресурси там, де потреба є дещо нагальнішою. Розроблений програмний модуль може бути впроваджений як складова інформаційної системи будь-якої волонтерської організації або підрозділу Збройних Сил України, що веде структурований облік запитів на гуманітарне забезпечення. Після нагромадження 12+ місяців спостережень архітектура підсистеми дає змогу замінити SMA на експоненційне згладжування або ARIMA без зміни інтерфейсу – функцію computeForecast достатньо підмінити на рівні API-маршруту.

Висновки / Conclusions

Розроблено вебзастосунок для аналізу та моніторингу нагальних потреб військових і координації їх гуманітарного забезпечення, який містить модуль збирання та моніторинг даних, модуль прогнозування (AI/ML), а також модуль взаємодії з потенційними постачальниками та відповідними волонтерами, що дало змогу комплексно оцінювати очікувану кількість запитів на наступний місяць у розрізі категорій їхніх потреб. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Виконано аналіз наявних програмних рішень у сфері координації гуманітарної допомоги – платформ "Люди для України", "Повернись живим" та Helplist.io – та встановлено відсутність спеціалізованого інструменту, що охоплював би повний ланцюжок від структурованої подачі запиту до аналізу динаміки потреб військових і їх прогнозування в межах єдиної рольової системи.
2. Обґрунтовано вибір методу простого ковзного середнього з вікном $k = 3$ як математичної основи прогнозування на підставі порівняльного аналізу з методами експоненційного згладжування, ARIMA та рекурентними нейронними мережами LSTM за критеріями мінімальної кількості спостережень, потреби у параметризації, обчислювальної складності та залежності від сторонніх бібліотек. За сукупністю критеріїв SMA виявився єдиним придатним методом для системи на початковому етапі експлуатації.
3. Реалізовано алгоритм прогнозування на серверній частині вебзастосунку у вигляді захищеного API-маршруту без використання сторонніх статистичних бібліотек. Алгоритм виконує агрегацію даних за місяцями засобами TypeScript, перевірку граничної умови достатності даних та обчислення ковзного середнього за трьома останніми місяцями. Коректність реалізації вебзастосунку підтверджено числовим прикладом: розрахункове $F = 2$ збіглося з результатом, відображеним в інтерфейсі.
4. Розроблено клієнтський інтерфейс візуалізації результатів прогнозу потреб військових, що складаються з панелі аналітичних метрик, лінійного графіка з розмежуванням реальних та прогнозованих значень, картки прогнозованого значення з текстовою інтерпретацією та повідомлення про недостатність даних. Підсистема прогнозування покриває всі п'ять функціональних вимог групи REQ-4, що охоплює повний цикл – від вибору категорії до текстової інтерпретації прогнозу потреб військових для користувача без технічної підготовки.
5. У межах дослідження розроблено та інтегровано у вебзастосунок NeedsInsight підсистему прогнозування потреб військових підрозділів на основі простого ковзного середнього. Волонтери та адміністратори отримали інструмент проактивного планування постачання, що спирається на нагромаджені дані системи.

References

1. Ali, M. M., & Boylan, J. E. (2011). Feasibility principles for Downstream Demand Inference in supply chains. *Journal of the Operational Research Society*, *62*(3), 474–482. https://doi.org/10.1057/jors.2010.82
2. Ali, M. M., & Boylan, J. E. (2012, January). On the effect of non-optimal forecasting methods on supply chain downstream demand. *IMA Journal of Management Mathematics*, *23*(1), 81–98. https://doi.org/10.1093/imaman/dpr005
3. Ali, M. M., Babai, M. Z., Boylan, J. E., & Syntetos, A. A. (2015). On the use of Simple Moving Averages for supply chains where information is not shared. *IFAC-PapersOnLine*, *48*(3), 1756–1761. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.340
4. Ali, M. M., Boylan, J. E., & Syntetos, A. A. (2012). Forecast errors and inventory performance under forecast information sharing. *International Journal of Forecasting*, *28*(4), 830–841. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2010.08.003
5. Anfuso, C., Bartolucci, A., Del-Real, C., & Kuipers, S. (2026). Cybersecurity threats, challenges, and strategies in humanitarian operations: A scoping review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 137, article ID 106082. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2026.106082
6. Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control. 5th ed. Published by John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 712 p. https://doi.org/10.1111/jtsa.12194
7. Chen, S., Lin, R., & Zeng, W. (2022). Short-Term Load Forecasting Method Based on ARIMA and LSTM. 2022 IEEE 22nd *International Conference on Communication Technology* (ICCT), Nanjing, China, pp. 1913–1917. https://doi.org/10.1109/ICCT56141.2022.10073051
8. Come Back Alive: the organisations official website. URL: https://savelife.in.ua/ (Date of enquiry: 28.04.2026)
9. Gardner, E. S. (2006). Exponential smoothing: The state of the art – Part II. *International Journal of Forecasting*, *22*(4), 637–666. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.005
10. Grytsiuk, P. Y., Ivanyshyn, A. V., & Hrytsiuk, Y. I. (2023). Quality assurance of software products in accordance with IEEE 730-2014 standard within the project implementation lifecycle. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(2), 101-117. https://doi.org/10.36930/40330214
11. Helplist. A Ukrainian service that connects volunteers with those in need. URL: https://helplist.io (Date of enquiry: 28.04.2026)
12. Humaira, N. A., Zannatul, M., Sayem, A., & Syed, M. A. (2025). Humanitarian relief supply chain performance measurement: A framework and validation. *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 47, article ID 100898. https://doi.org/10.1016/j.jii.2025.100898
13. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). Forecasting: Principles and Practice. 3rd ed. Melbourne: OTexts. URL: https://otexts.com/fpp3/moving-averages.html (Date of enquiry: 02.05.2026)
14. Juan, L., Shengbing, R., Ping, J., & Mahammed, J. (2007). Use Case-Driven Role Based ACCESS Control Security Authorization. 2007 *Chinese Control Conference*, Zhangjiajie, China, pp. 392–394. https://doi.org/10.1109/CHICC.2006.4347306
15. Korbylo, R. Y., & Hrytsiuk, Y. I. (2025). System for assessing the psychological state of military personnel using natural language processing methods. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(6), 137–153. https://doi.org/10.36930/40350617
16. Kumar, A., Joshi, S., Sharma, M., & Vishvakarma, N. (2022). Digital humanitarianism and crisis management: an empirical study of antecedents and consequences. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, *12*(4), 570–593. https://doi.org/10.1108/JHLSCM-02-2022-0020
17. Löffel, M., Schmidt, C. G., & Wagner, S. M. (2024). Supply chain risk management for humanitarian aid delivery: risk identification and contingency analysis. *The International Journal of Logistics Management*, *36*(1), 225–258. https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2024-0041
18. Lythreatis, S., Acikgoz, F., & Yassine, N. (2026). Artificial intelligence in humanitarian aid: A review and future research agenda. *Technovation*, vol. 151, article ID 103415. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2025.103415

19. Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2018). Statistical and Machine Learning forecasting methods: Concerns and ways forward. *PLOS.One, 13*(3), article ID e0194889. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194889
20. Marić, J., Galera-Zarco, C., & Opazo-Basáez, M. (2022). The emergent role of digital technologies in the context of humanitarian supply chains: a systematic literature review. *Annals of Operations Research*, *319*(1), 1003–1044. URL: https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10137451/
21. Martin, R. C. (2017). Clean Architecture: A Craftsmans Guide to Software Structure and Design. Longman (Pearson Education), 368 p. [In Ukrainian]. URL: https://www.yakaboo.ua/ua/clean-architecture-a-craftsman-s-guide-to-software-structure-and-design.html?srsltid=AfmBOop-aDSr5nZ28aT-dhWy3FMdj_8sY9XMbYHHDJMFZo-KN3a9lQ62
22. Ministry of Defence: a platform has been launched to provide operational support to the Armed Forces of Ukraine. (2022). Cabinet of Ministers of Ukraine. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/minoboroni-zapustili-platformu-dlya-operativnoyi-dopomogi-zsu (Date of enquiry: 27.04.2026)
23. Pradeep, K. T., Kapil, M. G., Jayshree, P., & Rina, S. O. (2024). Analysing barriers to humanitarian logistics for distributing relief aid in pre- and post-disaster situations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 104, article ID 104388. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104388
24. Rameshwar, D. (2026). The digitalization of humanitarian relief efforts: Implications for theory, Editor (s): Tsan-Ming Choi. *Encyclopedia in Operations Management* (First Edition), Elsevier, 390–402. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-28993-4.00058-5
25. Rubel, Y. B., & Hrytsiuk, Y. I. (2026). Features of preparing a synthetic dataset for modelling the fire control process of artillery systems. *Scientific Bulletin of UNFU*, 36(2), 189–198. https://doi.org/10.36930/40360221
26. Rubel, Y. B., & Hrytsiuk, Y. I. (2026). Generation of a synthetic ballistic dataset based on numerical modelling and domain randomisation for an artillery fire control system. *Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, vol. 37 (76) № 2. Part 1, 278–288. https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.2.1/39
27. Rubel, Y., & Hrytsiuk, Y. (2026). Development of a hybrid artillery fire control system based on neural networks and uncertainty quantification methods. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(2(88), 98–105. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2026.357488
28. Sajjad, M., Anwar, H., & Shibli, M. A. (2015). Self adaptations in ACCESS control models in context of cloud computing. 2015 *Conference on Information Assurance and Cyber Security* (CIACS), Rawalpindi, Pakistan, pp. 69–74. https://doi.org/10.1109/CIACS.2015.7395569
29. State Digital Transformation in Ukraine: 2019–2024 Review. GGTC Kyiv, Vox Ukraine. 2025. URL: https://voxukraine.org/en/state-digital-transformation-in-ukraine-2019-2024-review (Date of enquiry: 10.05.2026)
30. Wan, H., & Zhou, Y. (2021). Neural Network Model Comparison and Analysis of Prediction Methods Using ARIMA and LSTM Models. 2021 IEEE *International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications* (AEECA), Dalian, China, pp. 640–643. https://doi.org/10.1109/AEECA52519.2021.9574427
31. Wang, Y., Ma, Y., Xiang, K., Liu, Z., & Li, M. (2018). A Role-Based ACCESS Control System Using Attribute-Based Encryption. 2018 *International Conference on Big Data and Artificial Intelligence* (BDAI), Beijing, China, pp. 128–133. https://doi.org/10.1109/BDAI.2018.8547200

***M. F. Salo*[1], *Yu. I. Hrytsiuk*[1,2]**

[1] *Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine*
[2] *Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

WEB APPLICATION FOR FORECASTING MILITARY NEEDS BASED ON ANALYSIS AND MONITORING OF THEIR HUMANITARIAN SUPPORT

The full-scale invasion of the Russian Federation into Ukraine has significantly exacerbated the problem of systemic coordination of humanitarian support for military units. The use of messengers and social networks as the main communication channels makes it impossible to centrally accumulate, structure and analyze information about the needs of units, and the lack of forecasting tools forces volunteers to respond to requests post-facto, rather than plan support in advance. An analysis of existing software solutions – the People for Ukraine platform, the Return Alive organization, and the Helplist.io service – revealed the lack of a specialized tool that would cover the full chain from digital submission of a structured request to analysis of needs dynamics and their forecasting within a single role system. The article proposes a method for short-term forecasting of military unit needs based on a simple moving average with a window of $k = 3$ months and describes its integration into the full-stack web application NeedsInsight, developed on the basis of Next.js 14, TypeScript, PostgreSQL, and Drizzle ORM. The application supports three user roles – military representative, volunteer, and administrator – with role-based ACCESS to system functions. The forecasting subsystem is implemented on the server side without the use of third-party statistical libraries; it provides forecasting from three months of accumulated data and is performed separately for each of the five categories of support requests. A comparative analysis of the selected method with alternative approaches – exponential smoothing, ARIMA models, and recurrent neural networks of the LSTM type – was performed according to five criteria: the minimum number of observations, the need for parameter selection, computational complexity, dependence on third-party libraries, and suitability for the system at the initial stage of operation. It was found that the simple moving average method is the only one considered that satisfies all five criteria simultaneously. A client interface for forecast visualization has been developed, consisting of a panel of analytical metrics with color coding of the trend, a line graph with a distinction between actual and forecast values, a forecast value card with a textual interpretation of the result, and a message about insufficient data. The correctness of the implementation is confirmed by a numerical example. The forecasting subsystem covers all five functional requirements of the REQ-4 group, which is confirmed by functional testing of the application. The subsystem is deployed as part of the NeedsInsight application; the architecture allows replacing SMA with a more complex method without changing the interface after accumulating a sufficient amount of data.

Keywords: military units; volunteer activities; humanitarian aid coordination; role model of ACCESS to information; visualization of forecast results; time series; simple moving average.