

Стоцький І.В.

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Устинов Д.А.

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Налісний Г.І.

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Костенко В.П.

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПОТРЕБ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ

Стаття присвячена дослідженню актуальної проблематики застосування нейромережеских моделей для прогнозування логістичних потреб в умовах бойових дій. Військовий конфлікт в Україні, що триває з 2014 року та особливо загострився після повномасштабного вторгнення 2022 року, актуалізував потребу у модернізації підходів до військової логістики. Динамічність змін на лінії фронту, руйнування інфраструктури та ускладнені умови постачання зумовили необхідність переходу від традиційних централізованих схем забезпечення до гнучких, децентралізованих і технологічно підтриманих систем. Стаття розглядає ключові напрями змін у військовій логістиці України, включаючи впровадження цифрових платформ, мобільних складів, безпілотних технологій доставки та використання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Основну увагу зосереджено на можливостях використання штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж різних архітектур, для прогнозування логістичних потреб військових підрозділів. Автори аналізують переваги рекурентних нейронних мереж (RNN) і моделей довготривалої короткочасної пам'яті (LSTM) для обробки часових рядів даних про витрати ресурсів, переміщення військ та інтенсивність бойових дій. Окремо розглядаються трансформерні архітектури, здатні ефективно моделювати взаємозв'язки між різними типами логістичних потреб, що дозволяє створювати більш точні й комплексні прогнози.

У статті окреслено процес побудови моделей: від збору гетерогенних даних – оперативних звітів, інформації з розвідувальних джерел, супутникових знімків, погодних умов – до обробки та навчання моделей із застосуванням методів нормалізації, фільтрації та боротьби з аномаліями. Також звертається увага на складнощі роботи з неповними або спотвореними даними, характерними для умов війни, та пропонуються способи їх подолання шляхом використання гібридних моделей, що поєднують нейромережі й класичні математичні підходи.

Особливий акцент зроблено на прикладних аспектах впровадження таких рішень у структури військового управління. Розглядаються питання інтеграції прогнозних моделей у системи командування і контролю, створення модульних інформаційних платформ, що автоматично оновлюють дані у режимі реального часу, а також необхідність розвитку користувацьких інтерфейсів для командирів підрозділів. Показано, що впровадження таких технологій може суттєво підвищити швидкість і точність ухвалення рішень у логістиці навіть в умовах високої невизначеності.

Стаття також висвітлює практичні результати застосування нейромережеских підходів під час реальних операцій на території України. Наводяться приклади успішного використання RNN-моделей для прогнозування сплесків потреб у медичному забезпеченні та трансформерів для передбачення змін у витраті пального внаслідок погодних умов. Аналізуються результати впровадження децентралізованих логістичних хабів і мобільних систем доставки як відповідь на виклики руйнування основної інфраструктури.

У підсумку наголошується на потенціалі подальшого розвитку технологічної бази військової логістики шляхом активного використання автоматизації, безпілотних технологій, штучного інтелекту та цифрових платформ. Окреслено перспективи побудови повністю інтегрованих, самонавчальних логістичних систем, здатних оперативно реагувати на зміни ситуації у бойових умовах та мінімізувати людські втрати.

Таким чином, стаття робить вагомий внесок у наукове обґрунтування необхідності застосування нейромережових технологій у військовій логістиці, пропонуючи комплексний підхід до прогнозування потреб, що має велике практичне значення для забезпечення стійкості та ефективності військових операцій у сучасних збройних конфліктах.

Ключові слова: нейромережові моделі, військова логістика, рекурентні мережі, моделі трансформери, генетичні алгоритми, оборонні технології, прогнозування логістичних потреб.

Постановка проблеми. Сучасний стан бойових дій, особливо в умовах гібридних воєн і високотехнологічного збройного протистояння, потребує принципово нового підходу до планування, організації та забезпечення логістичних процесів. Надзвичайна динаміка змін на фоні воєнних дій, необхідність швидкого переміщення ресурсів, реагування на непередбачувані ситуації та обмеженість у часі вимагають від логістичних структур гнучкості, точності та здатності адаптуватися в режимі реального часу. Традиційні методи логістичного планування, побудовані на заздалегідь заданих маршрутах, нормативних обсягах і шаблонних сценаріях, виявляються недостатніми, коли бойові дії ведуться у складних географічних, погодних та інформаційних умовах, а противник активно впливає на логістичну інфраструктуру [1].

Таким чином, стає нагальною потреба у використанні інтелектуальних інформаційних систем, здатних не лише збирати та аналізувати великі обсяги даних у реальному часі, а й прогнозувати майбутні потреби в ресурсах, оптимізувати маршрути постачання, передбачати ризики та приймати рішення з урахуванням багатьох змінних. Одним із найперспективніших напрямів є застосування нейромережових моделей, які демонструють високу ефективність у складних, багатофакторних і непередбачуваних середовищах, таких як логістика в умовах бойових дій [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У контексті військового конфлікту, що розпочався в Україні у 2014 році і набув характеру повномасштабної війни з 2022 року, з'явилася велика кількість наукових праць, присвячених вивченню змін у системах військової логістики та пристосуванню логістичних процесів до реальних бойових дій. У своїх публікаціях дослідники підкреслюють критичну необхідність швидкого реагування логістичних структур на зміни ситуації на фронті, включно з динамікою бойових

ліній зокрема, це відзначає Бурба А.В. У роботах Петренка І.В., можна ознайомитися з інноваційними рішеннями, такими як використання дронів для доставки, розгортання мобільних складів та впровадження цифрових логістичних платформ, які дедалі ширше застосовуються для оптимізації процесів забезпечення та зменшення ризиків для персоналу. Особливу роль у новій логістичній архітектурі відіграють локальні хаби постачання, що стали незамінними в умовах руйнації традиційної інфраструктури, актуальність яких описує Жуков О.О.

Окрему увагу українські та міжнародні науковці приділяють вивченню впливу війни на економічні процеси в цілому. Цей аспект розглядали у своїх роботах Т. Богдан, О. Борзенко, В. Горбулін, а також зарубіжні економісти, серед яких Джон Мейнард Кейнс та Нуріель Рубіні. У свою чергу, формування ефективних логістичних ланцюгів і систем забезпечення вивчали Б.М. Андрушківа, А.В. Євдокимова, Є.В. Крикавський, Т.В. Косарева, Г.І. Михайліченко та багато інших науковців. Попри значну кількість досліджень, що накопичилися у даній галузі, нові умови вимагають перегляду існуючих моделей та розробки актуальних рішень, які враховують нестабільну ситуацію у країні та світі [3, 4].

У світовій науковій літературі останніх років спостерігається зростаючий інтерес до застосування штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж, у сфері логістики. У працях західних дослідників, таких як D. Simchi-Levi, M. Christopher, A. Tversky, розглядаються методи прогнозування попиту, оптимізації маршрутів, управління запасами за допомогою глибоких нейронних мереж, рекурентних нейромереж (RNN), моделей довготривалої короткочасної пам'яті (LSTM) та трансформерів. Зокрема, LSTM-моделі визнані ефективними при роботі з часовими рядами, що надзвичайно актуально для динамічного аналізу потреб у постачанні.

У межах військової логістики певні дослідження виконувались оборонними агенціями, зокрема DARPA, а також вченими з військових академій США, Великобританії, Ізраїлю. Їхні роботи зосереджені на інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, моделюванні логістичних потоків та симуляціях у реальному часі. Окремі публікації розкривають потенціал гібридних моделей, які поєднують нейромережі з класичними методами статистичного аналізу або алгоритмами оптимізації, такими як генетичні алгоритми.

В українському науковому просторі також почали з'являтися праці, присвячені цифровізації логістичних процесів в оборонній сфері. Публікації в журналах «Системи озброєння і військова техніка», «Наука і оборона» порушують питання кібербезпеки, інтелектуального аналізу даних та автоматизованих систем керування логістикою. Проте системні розробки, присвячені застосуванню нейромереж саме в контексті бойових дій, залишаються малочисельними, що створює наукову нішу для проведення детальних досліджень у цій галузі [5, 6].

Постановка завдання. Мета статті – дослідження можливостей застосування нейромережових моделей для прогнозування логістичних потреб в умовах бойових дій.

Виклад основного матеріалу. Необхідність запровадження новітніх логістичних підходів у Збройних силах України під час повномасштабної війни є критично важливим завданням для забезпечення військової ефективності на полі бою. Досліджуючи основні економічні показники бачимо, що до початку повномасштабного вторгнення більшість зовнішньоекономічних операцій України – приблизно дві третини обсягів експорту та імпорту – здійснювалися через морські порти. Проте блокада ключових морських артерій з боку росії практично паралізувала цей шлях транспортування. Наприклад, до 24 лютого 2022 року транспортування зерна з центральних областей до портів Одеси коштувало близько 30 доларів за тону. Нині ж вартість доставки через порти сусідніх держав подекуди сягає 180 доларів за тону, що становить близько двох третин від ринкової вартості самого продукту. Це різко знижує економічну доцільність його виробництва.

Значну частину цих витрат формують внутрішні залізничні перевезення. Ціна логістики по залізниці складається з кількох компонентів: тарифів, вагонного парку, логістичного часу, маршрутного плеча, стану колій та інфраструктури. Саме

ці чинники стали вирішальними у зростанні вартості доставки в умовах обмеженого доступу до морських портів та нестачі альтернативних шляхів транспортування.

Ще однією проблемою стала вразливість стаціонарних логістичних баз, які раніше були зосереджені у центральній частині України. Зокрема, в Київській області в перші тижні повномасштабної агресії стрімке просування окупаційних військ призвело до ізоляції низки складів, багато з яких були зруйновані під час бойових дій. Це спровокувало докорінну перебудову системи логістичного забезпечення – перерозподілу складів, створення резервних маршрутів та запровадження децентралізованої моделі зберігання і доставки.

Основу сучасного підходу до прогнозування логістичних потреб в умовах бойових дій становить концепція адаптивної логістики, яка передбачає безперервне оновлення моделей постачання на основі зміни ситуації на полі бою. У цьому контексті нейромережові моделі стають ключовим інструментом, здатним перетворювати великі обсяги динамічної інформації на конкретні прогнози щодо кількості, складу, часу і маршруту доставки необхідних ресурсів. Загальний процес навчання нейронної мережі складається із трьох етапів: пряме поширення; розрахунок функції втрат; зворотне поширення. Графічна інтерпретація навчання нейронної мережі представлено на Рис. 1 [2, 4].

Першим кроком у побудові таких моделей є формування якісного набору даних. У військових умовах ці дані мають гетерогенну природу: з одного боку, це структурована інформація з логістичних баз даних про попередні операції, витрати пального, кількість залученої техніки, маршрути руху; з іншого – неструктуровані джерела, включаючи оперативні звіти, повідомлення розвідки, погодні умови, супутникові зображення та навіть текстові повідомлення польових командирів. Нейронні мережі, особливо глибокі моделі та трансформери, дозволяють об'єднувати ці джерела в єдину модель прогнозування.

Рекурентні нейронні мережі (RNN) і LSTM (Long Short-Term Memory) демонструють особливу ефективність у роботі з часовими рядами. Наприклад, на основі даних про споживання пального за останні 30 діб певного батальйону модель може передбачити майбутню динаміку споживання з урахуванням оперативних планів, географічного рельєфу, погодних умов та інтенсивності бойових дій. LSTM-моделі також дозволяють прогнозувати попит на медичне забезпечення, аналізуючи кількість поранених у попередні пері-

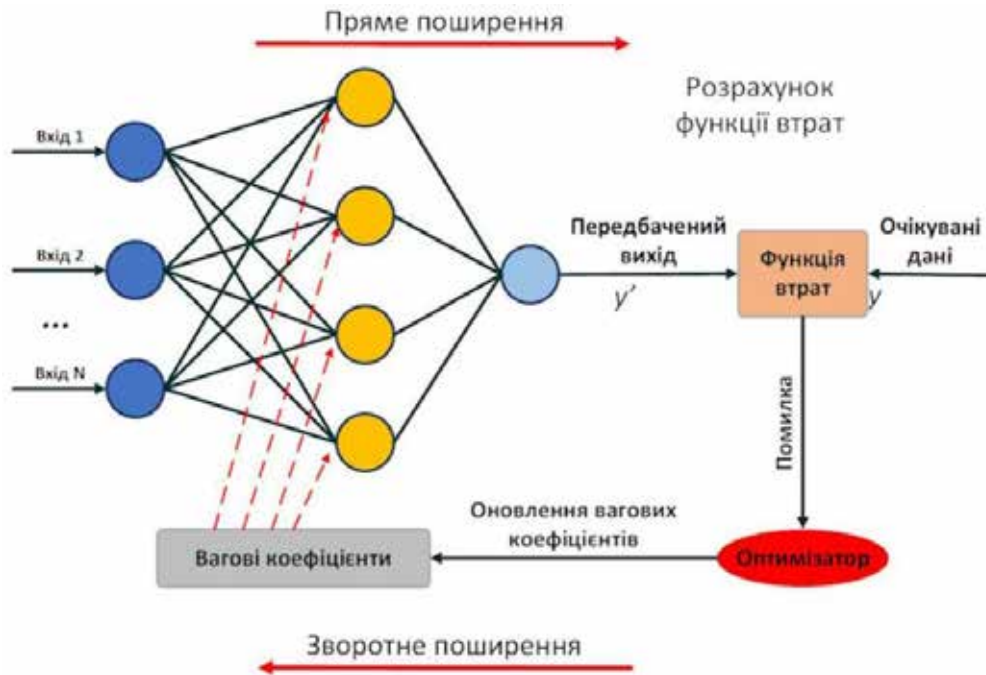


Рис. 1. Візуалізація навчання нейронної мережі

оди, типи застосованого озброєння противника та близькість до зони евакуації.

Трансформерні архітектури, що набули поширення завдяки моделям на кшталт BERT, GPT та їх адаптаціям, надають нові можливості для прогнозування, особливо в багатовимірних просторах. Вони здатні враховувати взаємозалежності між різними типами постачання: наприклад, збільшення потреб у пальному може корелювати зі зростанням потреб у запасних частинах, боеприпасах та харчуванні. Таким чином, замість ізольованого прогнозу окремих компонентів, модель буде синергетичну картину логістичних потреб.

Одним із викликів є адаптація моделей до обмежених і зашумлених даних, що типово для військових умов. Для цього використовуються методи попередньої обробки, включаючи нормалізацію, інтерполяцію, фільтрацію та автоматичне виявлення аномалій. Крім того, доцільно комбінувати нейромережі з класичними математичними моделями – наприклад, логістичними кривими, моделями витрат або імітаційними симуляціями, які служать додатковим джерелом інтерпретації та перевірки результатів.

Інтеграція таких систем у військову логістику можлива через створення модульних платформ, які підключаються до існуючих систем управління (наприклад, С2-систем) і автоматично оновлюються залежно від оперативних даних. Важливою є побудова інтерфейсів, що дозволяють командирам взаємодіяти з прогнозною системою

в режимі реального часу, задавати параметри та переглядати сценарії на різні часові горизонти.

Реальні приклади демонструють ефективність застосування таких підходів у прогнозуванні потреб для бойових бригад у зонах активного протистояння. Наприклад, завдяки використанню RNN-моделі однієї з військових частин вдалося уникнути затримки в доставці медичних препаратів, коли прогнозована модель виявила високий ризик зростання поранених на основі зміни оперативної обстановки. Аналогічно, трансформерна модель, що аналізувала погодні дані, зуміла передбачити зростання потреб у пальному для важкої техніки внаслідок погіршення прохідності доріг.

Загалом, практичні кроки України в оптимізації логістичних механізмів в умовах війни продемонстрували вирішальну роль технологічних інновацій, гнучкого підходу до організації постачання та ефективної взаємодії між різними відомствами і структурами. Введення модульних систем, автоматизація процесів, застосування безпілотних апаратів для доставки вантажів та мобільних станцій забезпечення, а також залучення цивільних логістичних потужностей стали ключовими нововведеннями, які істотно підвищили ефективність постачання в умовах бойових дій.

Накопичений Україною досвід може стати корисним орієнтиром для інших країн, що прагнуть модернізувати свої системи військового забезпечення, підвищити їх стійкість і оперативність у надзвичайних ситуаціях. Подальший

розвиток автоматизованих рішень, безпілотних логістичних технологій, широке впровадження штучного інтелекту та цифрових платформ відкривають перспективи для створення ще більш гнучких, швидких і ефективних логістичних систем. Це має важливе значення для підтримання безперервного постачання та забезпечення здатності до оперативного реагування в умовах швидкоплинних і нестабільних збройних конфліктів.

Висновки. Використання нейромережевих моделей у прогнозуванні логістичних потреб в умовах бойових дій відкриває нові горизонти для ефективного та адаптивного військового забезпечення. Ці моделі дозволяють значно підвищити точність і швидкість прийняття рішень, оптимізувати логістичні потоки та зменшити

ризик нестачі ресурсів у критичні моменти. Рекурентні мережі, LSTM та трансформери продемонстрували значний потенціал у моделюванні динамічних, багатофакторних процесів, притаманних умовам сучасної війни.

Проте успішна імплементація таких систем вимагає вирішення ряду викликів, серед яких – забезпечення якісних вхідних даних, адаптація моделей до специфіки військового середовища, інтеграція у наявні інформаційні системи та дотримання кібербезпеки. Подальші дослідження мають бути зосереджені на практичній апробації моделей у польових умовах, створенні прототипів інтелектуальних логістичних систем та розробці нормативної бази для їх застосування в оборонному секторі.

Список літератури:

1. Берестенко В.В. Як змінилася логістика за півроку війни та що буде з імпортом і експортом. Центр транспортних стратегій. URL: <https://surl.li/qkdmjq>
2. Ковальчук М., Бондаренко С. Моделювання функціонування логістичних процесів за допомогою математичних та комп'ютерних підходів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2024. № 4 (339). С. 165–168. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-339-4-27>
3. Орел А. М., Дяченко В. В. Етапи та роль цифрової трансформації у вдосконаленні управління інноваціями. *Економіка і суспільство*. 2023. № 56. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/issue/view/56>
4. Якушенко А., Шевчук Д. та Мединський Д. Нейромережева модель для прогнозування часу виконання транспортної задачі. 2021. *Науково обґрунтовані технології*, 49(1), 33–38.
5. Well Pack How the War in Ukraine Transforms European Logistics and Affects Prices. Wellpack.Org URL: <https://surl.li/ujvnng>
6. Zaverbnyj A., Pushak H. Theoretical and Applied Principles of Supply Chain Management under Crisis Economic Conditions: Strategic Aspect. *Economic Bulletin of Donbas*. 2022. № 4 (70). P. 57–62.

Stotskyi I.V., Ustynov D.A., Nalisnyi H.I., Kostenko V.P. NEURAL NETWORK MODELS FOR FORECASTING LOGISTICS NEEDS IN COMBAT CONDITIONS

The article is devoted to the study of the current issues of using neural network models to predict logistics needs in combat conditions. The military conflict in Ukraine, which has been ongoing since 2014 and especially intensified after the full-scale invasion of 2022, has highlighted the need to modernize approaches to military logistics. The dynamics of changes on the front line, the destruction of infrastructure and complicated supply conditions have necessitated the transition from traditional centralized supply schemes to flexible, decentralized and technologically supported systems. The article examines the key areas of change in military logistics in Ukraine, including the introduction of digital platforms, mobile warehouses, unmanned delivery technologies and the use of intelligent decision-making support systems. The main attention is focused on the possibilities of using artificial intelligence, in particular neural networks of various architectures, to predict the logistical needs of military units. The authors analyze the advantages of recurrent neural networks (RNN) and long-short-term memory (LSTM) models for processing time series data on resource consumption, troop movements, and combat intensity. Transformer architectures are separately considered, which are able to effectively model the relationships between different types of logistical needs, which allows creating more accurate and comprehensive forecasts.

The article outlines the process of building models: from collecting heterogeneous data – operational reports, information from intelligence sources, satellite images, weather conditions – to processing and training models using normalization, filtering, and anomaly detection methods. Attention is also drawn to the difficulties of working with incomplete or distorted data typical of war conditions, and ways to overcome them are proposed by using hybrid models that combine neural networks and classical mathematical approaches.

Special emphasis is placed on the applied aspects of implementing such solutions in military control structures. The issues of integrating predictive models into command and control systems, creating modular

information platforms that automatically update data in real time, as well as the need to develop user interfaces for unit commanders are considered. It is shown that the implementation of such technologies can significantly increase the speed and accuracy of decision-making in logistics even under conditions of high uncertainty.

The article also highlights the practical results of applying neural network approaches during real operations in Ukraine. Examples of the successful use of RNN models to predict surges in medical supply needs and transformers to predict changes in fuel consumption due to weather conditions are given. The results of the implementation of decentralized logistics hubs and mobile delivery systems as a response to the challenges of the destruction of basic infrastructure are analyzed.

In conclusion, the potential for further development of the technological base of military logistics through the active use of automation, unmanned technologies, artificial intelligence and digital platforms is emphasized. The prospects for building fully integrated, self-learning logistics systems capable of quickly responding to changes in the situation in combat conditions and minimizing human losses are outlined.

Thus, the article makes a significant contribution to the scientific justification of the need to use neural network technologies in military logistics, offering a comprehensive approach to forecasting needs, which is of great practical importance for ensuring the sustainability and effectiveness of military operations in modern armed conflicts.

Key words: *neural network models, military logistics, recurrent networks, transformer models, genetic algorithms, defense technologies, forecasting of logistics needs.*

Дата надходження статті: 27.07.2025

Дата прийняття статті: 06.08.2025

Опубліковано: 27.10.2025