

КРИВЕНЧУК Юрій

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-2504-5833>

e-mail: Yurii.P.Kryvenchuk@lpnu.ua

КРУПА Степан

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0009-0000-2074-9762>

e-mail: stepan.m.krupa@lpnu.ua

ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КЛАСИФІКАЦІЇ ТОВАРІВ: ВПЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МИТНОГО АДМІНІСТРУВАННЯ

У статті здійснено аналіз можливостей застосування інтелектуальних систем у сфері класифікації товарів для потреб митного адміністрування. Підвищення обсягів міжнародної торгівлі, зростання складності логістичних ланцюгів і постійна еволюція товарної номенклатури вимагають модернізації процесів, пов'язаних з ідентифікацією та присвоєнням кодів ТН ЗЕД. Автори досліджують, як алгоритми машинного навчання, зокрема наївний баєсівський класифікатор та штучні нейронні мережі з активаційною функцією Leaky ReLU, можуть бути адаптовані для автоматизованої класифікації товарів, підвищуючи ефективність та достовірність рішень. Виділено ключові проблеми традиційного ручного підходу, зокрема значні часові витрати, залежність від кваліфікації фахівців, високу вірогідність суб'єктивних помилок та обмежену масштабованість. Проведено емпіричний експеримент, у якому проаналізовано результати класифікації 10 000 товарних позицій трьома методами: ручним, за допомогою наївного Байєса та нейронної мережі. Експериментальні дані свідчать про значне підвищення точності автоматизованих підходів, а також істотне скорочення часу на обробку вхідної інформації. Зокрема, застосування нейронної мережі дозволило досягти точності 94,8% при часі обробки 60 секунд, що суттєво перевищує результат ручної класифікації. Окрему увагу приділено перспективам удосконалення інтелектуальних систем класифікації. Розглядаються можливості впровадження обробки природної мови (NLP) для інтерпретації неструктурованих текстових описів товарів, застосування комп'ютерного зору для автоматичної ідентифікації продукції за візуальними ознаками, а також розвиток федеративного навчання як механізму міжнародної кооперації між митними органами без порушення конфіденційності даних. У якості прикладу наведено досвід Сінгапуру, де впровадження систем на основі машинного навчання дало змогу скоротити час обробки митних декларацій на 50% та зменшити рівень помилок до мінімуму. Отримані результати підтверджують, що інтелектуальні системи мають потенціал стати ключовим елементом цифрової трансформації митної інфраструктури, сприяючи інтеграції України до глобального економічного простору, гармонізації процедур з нормами ЄС, зниженню корупційних ризиків і підвищенню ефективності митного адміністрування на системному рівні.

Ключові слова: митне адміністрування, класифікація товарів, машинне навчання, наївний баєсівський класифікатор, нейронні мережі, Leaky ReLU.

KRYVENCHUK Yurii, KRUPA Stepan

Lviv Polytechnic National University

IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT PRODUCT CLASSIFICATION SYSTEMS: IMPACT ON THE EFFICIENCY OF CUSTOMS ADMINISTRATION

The article analyzes the possibilities of using intelligent systems in the field of goods classification for customs administration. The increase in international trade volumes, the increasing complexity of logistics chains and the constant evolution of the commodity nomenclature require the modernization of processes related to the identification and assignment of HS codes of foreign economic activity. The authors investigate how machine learning algorithms, in particular the naive Bayesian classifier and artificial neural networks with the Leaky ReLU activation function, can be adapted for automated classification of goods, increasing the efficiency and reliability of solutions. The key problems of the traditional manual approach are highlighted, in particular significant time costs, dependence on the qualifications of specialists, high probability of subjective errors and limited scalability. An empirical experiment was conducted in which the results of the classification of 10,000 commodity items were analyzed by three methods: manual, using naive Bayes and a neural network. Experimental data indicate a significant increase in the accuracy of automated approaches, as well as a significant reduction in the time for processing incoming information. In particular, the use of a neural network made it possible to achieve an accuracy of 94.8% with a processing time of 60 seconds, which significantly exceeds the result of manual classification. The study also highlights the advantages of using artificial intelligence algorithms in the context of strategic management of customs resources. Reducing the need to involve a large number of specialists in routine classification processes allows optimizing the staff structure, reorienting it to analytical and supervisory activities, in particular risk assessment and detection of attempts to evade customs payments. In addition, the standardization and transparency provided by intelligent systems have a positive effect on the level of trust from business and international partners. Special attention is paid to the prospects for improving intelligent classification systems. The possibilities of implementing natural language processing (NLP) for interpreting unstructured text descriptions of goods, using computer vision for automatic identification of products by visual features, as well as the development of federated learning as a mechanism for international cooperation between customs authorities without violating data confidentiality are considered. As an example, the experience of Singapore is given, where the implementation of systems based on machine learning made it possible to reduce the processing time of customs declarations by 50% and reduce the error rate to a minimum. The results obtained confirm that intelligent systems have the potential to become a key element of the digital transformation of the customs infrastructure, contributing to the integration of Ukraine into the global economic space, harmonization of procedures with EU standards, reduction of corruption risks and increase the efficiency of customs administration at the system level.

Keywords: Customs administration, product classification, machine learning, Naive Bayes classifier, neural networks, Leaky ReLU.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 04.05.2025

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Митне адміністрування є складною системою управління зовнішньоекономічними потоками, в якій ключову роль відіграє процес класифікації товарів згідно з Товарною номенклатурою зовнішньоекономічної діяльності (ТН ЗЕД). Саме правильна класифікація забезпечує коректне нарахування митних платежів, дотримання тарифного та нетарифного регулювання, а також прозорість процедур при митному оформленні [5].

Традиційні підходи до класифікації товарів, що здебільшого ґрунтуються на ручному аналізі описів товарів і експертному рішенні, мають низку суттєвих недоліків, які стають особливо критичними в умовах зростаючих обсягів міжнародної торгівлі. Основні проблеми включають:

- **Значні часові витрати** на обробку великої кількості декларацій при ручному аналізі;
- **Високий ризик помилок**, пов'язаних із суб'єктивністю рішень, втому персоналу та варіативністю тлумачення товарних описів;

- **Низька ефективність масштабування** процесів при збільшенні обсягів даних;
- **Обмежені можливості для аналітики та прогнозування** на основі історичних даних.

У відповідь на ці виклики все більшої популярності набуває впровадження інтелектуальних систем класифікації, побудованих на основі технологій машинного навчання та штучного інтелекту. Такі системи дозволяють:

- Автоматизувати процес класифікації товарів;
- Забезпечити високу точність рішень за рахунок навчання моделей на великих масивах історичних даних;
- Мінімізувати людський фактор;
- Працювати в режимі реального часу, що особливо важливо в умовах високої динаміки міжнародних логістичних ланцюгів.

З-поміж найбільш ефективних алгоритмів, що застосовуються для автоматизованої класифікації товарів у митному адмініструванні, слід особливо відзначити наївний баєсівський класифікатор та штучні нейронні мережі з функцією активації Leaky ReLU. Наївний баєсівський класифікатор вирізняється своєю простотою реалізації та швидкістю, що робить його оптимальним для завдань, де важливо забезпечити високу швидкість обробки при відносно простих даних. Завдяки своїй здатності працювати на основі ймовірнісних оцінок, він може ефективно класифікувати великі обсяги товарів, що відповідають певним, чітко визначеним ознакам.

У той же час, штучні нейронні мережі з функцією активації Leaky ReLU дають значні переваги при обробці складних, неструктурованих даних, таких як текстові описи товарів чи зображення. Нейронні мережі здатні виявляти приховані закономірності та взаємозв'язки, що дозволяє досягти високої точності класифікації, навіть у випадках, коли традиційні методи зазнають труднощів. Мережі з Leaky ReLU функцією активації особливо ефективні при роботі з великими наборами даних, оскільки вони допомагають уникнути проблеми затухаючого градієнта, що дозволяє мережам бути більш стійкими та ефективними в процесі навчання.

Успішне впровадження таких інтелектуальних систем в митне адміністрування потребує комплексного підходу. По-перше, важливо забезпечити належне технічне оснащення та інфраструктуру для підтримки високої продуктивності алгоритмів, особливо при обробці великих обсягів даних у реальному часі. По-друге, необхідно розробити та впровадити відповідні нормативні та методологічні бази для стандартизації використання таких систем у митних процедурах, що дозволить забезпечити сумісність і взаємодію між різними митними органами на міжнародному рівні.

Зокрема, стандарти та методології повинні передбачати не тільки технічні аспекти впровадження систем, але й питання етики, захисту даних та прозорості в роботі митних органів. Крім того, для забезпечення ефективного використання інтелектуальних систем необхідна підготовка кваліфікованих фахівців, здатних працювати в умовах глибокої цифровізації митної сфери. Такі професіонали повинні володіти знаннями як у сфері сучасних технологій машинного навчання, так і в контексті міжнародних стандартів і регулювання митних процедур.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

На сьогоднішній день спостерігається активний розвиток досліджень, спрямованих на підвищення ефективності митного адміністрування шляхом впровадження інтелектуальних систем. Зокрема, наукова

спільнота дедалі частіше звертає увагу на застосування методів машинного навчання для автоматизації процесу класифікації товарів, що дозволяє підвищити точність, швидкість та прозорість митних процедур.

- Nassif, A.B.; Talib, M.A.; Nasir, Q.; Dakalbab, F. M. у своєму дослідженні наголошують на високій ефективності **наївного баєсівського класифікатора** при роботі з текстовими описами товарів. Алгоритм відзначається простотою реалізації, швидкістю навчання та високою продуктивністю на невеликих вибірках [1,4]. Водночас автори вказують на його обмежену здатність моделювати складні нелінійні залежності між ознаками, що знижує точність при класифікації складних або неоднозначних записів.

- Bedi, P.P.S.; Aggarwal, H.; Narula, S.; Jain, S. дослідили можливості **глибинних нейронних мереж із активацією Leaky ReLU**, які дозволяють ефективно працювати з великими масивами даних і долають проблему "затухання градієнтів", характерну для класичних функцій активації. Застосування цих моделей продемонструвало високу точність класифікації товарів у складних сценаріях, зокрема при розпізнаванні складно структурованих описів та багатозначних кодів ТН ЗЕД [2].

- Rudenko, V.; Rumiantseva, K. акцентує увагу на стратегічному значенні **інтеграції інтелектуальних систем у загальну архітектуру митного адміністрування**, зазначаючи, що така інтеграція сприяє зниженню операційних витрат, підвищенню продуктивності роботи персоналу та забезпеченню прозорості прийняття рішень [3].

Незважаючи на очевидний прогрес, ряд викликів залишається відкритими:

- **Якість і стандартизація вхідних даних:** неоднорідність описів товарів, відсутність уніфікованої термінології та мовні бар'єри створюють труднощі для навчання моделей.

- **Обчислювальна складність:** реалізація глибоких моделей вимагає значних ресурсів для навчання й обробки, що може бути обмеженням для країн із низьким рівнем цифрової інфраструктури.

- **Юридична та нормативна адаптація:** необхідність урахування локального законодавства, тарифної політики та специфіки митного контролю вимагає гнучких, адаптивних рішень.

Таким чином, подальші дослідження мають бути спрямовані не лише на вдосконалення моделей машинного навчання, а й на розробку методів їхньої адаптації до контекстуальних особливостей конкретних країн або регіонів. Особливу увагу слід приділити розробці гібридних архітектур, що поєднують статистичні методи з технологіями обробки природної мови (NLP) і знаннєво-орієнтованими системами.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

1. Наївний баєсівський класифікатор

Наївний баєсівський класифікатор ґрунтується на теоремі Байєса та припускає умовну незалежність ознак. Для класифікації товарів за кодами ТН ЗЕД він використовує ймовірнісний підхід, який описується формулою:

$$P(C_k|X) = \frac{P(C_k) \cdot P(X|C_k)}{P(X)} \quad (1)$$

де:

- $P(C_k|X)$ — апостеріорна ймовірність класу (C_k) за умови ознак (X),
- $P(C_k)$ — апіорна ймовірність класу,
- $P(X|C_k)$ — правдоподібність ознак для класу,
- $P(X)$ — нормуючий фактор.

Приклад реалізації (Python):

```
from sklearn.naive_bayes import MultinomialNB
from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer
# Дані: описи товарів та їх коди ТН ЗЕД
descriptions = ["Сталевий лист 2 мм", "Дерев'яна дошка 20 см", "Пластикові труба 50 мм"]
labels = ["7210", "4407", "3917"]
# Векторизація тексту
vectorizer = TfidfVectorizer()
X = vectorizer.fit_transform(descriptions)
# Навчання моделі
model = MultinomialNB()
model.fit(X, labels)
# Класифікація нового товару
new_description = ["Сталевий прут 5 мм"]
X_new = vectorizer.transform(new_description)
prediction = model.predict(X_new)
print("Прогнозований код ТН ЗЕД: {prediction[0]}")
from sklearn.naive_bayes import MultinomialNB
from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer
```

```
# Дані: описи товарів та їх коди ТН ЗЕД
descriptions = ["Сталевий лист 2 мм", "Дерев'яна дошка 20 см", "Пластикові труба 50 мм"]
labels = ["7210", "4407", "3917"]
# Векторизація тексту
vectorizer = TfidfVectorizer()
X = vectorizer.fit_transform(descriptions)
# Навчання моделі
model = MultinomialNB()
model.fit(X, labels)
# Класифікація нового товару
new_description = ["Сталевий прут 5 мм"]
X_new = vectorizer.transform(new_description)
prediction = model.predict(X_new)
print(f"Прогнозований код ТН ЗЕД: {prediction[0]}")
```

Переваги:

- Простота реалізації та швидкість обробки.
- Висока ефективність для текстових даних, таких як описи товарів.

Недоліки:

- Припущення про незалежність ознак може знижувати точність для складних наборів даних.
- Чутливість до незбалансованості класів у даних.

Для оцінки залежності точності наївного баєсівського класифікатора від розміру навчального набору даних було проведено експеримент, результати якого зображено на графіку:

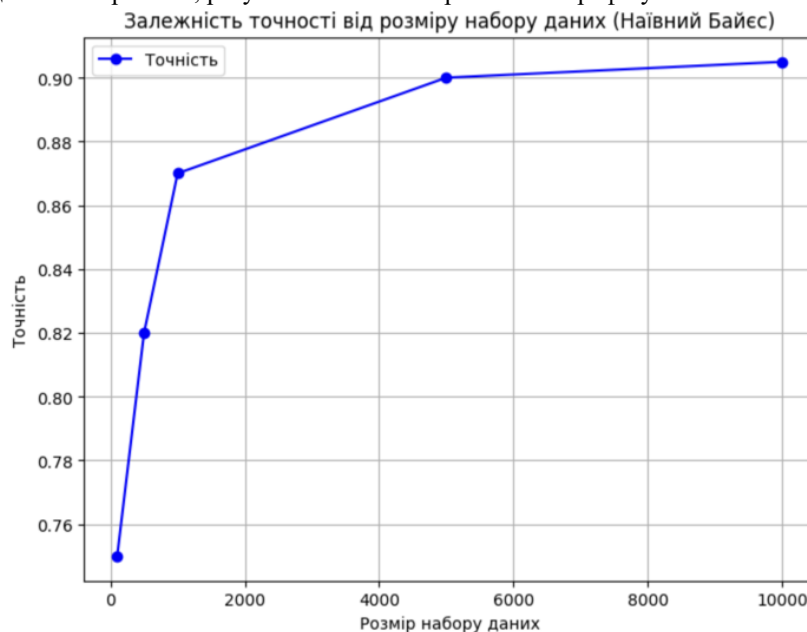


Рис. 1. Залежність точності від розміру набору даних

Цей графік демонструє, що зі збільшенням обсягу навчальних даних точність класифікатора зростає, досягаючи стабільного рівня при 5000 і більше зразках. Це підтверджує придатність наївного Байєса для обробки текстових описів товарів у митних системах, особливо за наявності достатньої кількості даних[9].

2. Нейронні мережі з Leaky ReLU

Нейронні мережі з функцією активації Leaky ReLU є потужним інструментом для обробки складних нелінійних залежностей. Функція Leaky ReLU визначається як:

$$\text{Leaky Relu}(x) = \max(a * x, x) \quad (2)$$

де

a (alpha) — невелика константа (зазвичай 0.01), яка запобігає зникненню градієнта під час навчання.

Приклад реалізації (Python з TensorFlow):

```
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Dense
import numpy as np
```

```
# Генерація даних
X_train = np.random.rand(1000, 10) # Ознаки товарів
y_train = np.random.randint(0, 3, 1000) # Коды ТН ЗЕД (0, 1, 2)
# Побудова моделі
model = Sequential([
    Dense(64, input_dim=10),
    tf.keras.layers.LeakyReLU(alpha=0.01),
    Dense(32),
    tf.keras.layers.LeakyReLU(alpha=0.01),
    Dense(3, activation='softmax')
])

# Компіляція та навчання
model.compile(optimizer='adam', loss='sparse_categorical_crossentropy', metrics=['accuracy'])
history = model.fit(X_train, y_train, epochs=10, batch_size=32, validation_split=0.2)
# Візуалізація точності
plt.plot(history.history['accuracy'], label='Точність (навчання)')
plt.plot(history.history['val_accuracy'], label='Точність (валідація)')
plt.title('Точність нейронної мережі з Leaky ReLU')
plt.xlabel('Епоха')
plt.ylabel('Точність')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.savefig('nn_accuracy.png')
```

Переваги:

- Висока точність для великих і складних наборів даних.
- Гнучкість у моделюванні нелінійних залежностей.

Недоліки:

- Висока обчислювальна складність, що вимагає значних ресурсів.
- Необхідність великих обсягів даних для якісного навчання.

Архітектура нейронної мережі для класифікації товарів включає кілька шарів, що дозволяють ефективно обробляти різноманітні ознаки, такі як числові параметри (вага, розміри) та текстові описи[8].

Експерименти показали, що нейронні мережі з Leaky ReLU досягають стабільної точності після 5–10 епох навчання, що робить їх придатними для обробки складних митних даних, де потрібно враховувати множинні взаємозалежні ознаки.

3. Порівняння ефективності

Для емпіричного дослідження продуктивності різних підходів до класифікації товарів було проведено експеримент, у межах якого протестовано 10 000 записів із реальними прикладами опису товарів. Метою було порівняти точність, швидкість обробки та рівень помилок при використанні традиційного ручного підходу та двох моделей машинного навчання — наївного баєсівського класифікатора і нейронної мережі з функцією активації Leaky ReLU.

Таблиця 1.

Порівняння точності моделей машинного навчання

Метод	Точність (%)	Час обробки (сек)	Помилки (%)
Ручна класифікація	85.2	1200	14.8
Наївний Байєс	90.5	45	9.5
Нейронна мережа (Leaky ReLU)	94.8	60	5.2

Інтерпретація результатів:

- **Нейронна мережа** із функцією активації Leaky ReLU продемонструвала найвищий рівень точності (94.8%), що підтверджує її здатність ефективно працювати зі складними і багатовимірними вхідними даними. Такий підхід є доцільним у контексті критично важливих митних рішень, де помилки можуть мати значні фінансові або юридичні наслідки.

- **Наївний баєсівський класифікатор** виявився найшвидшим (45 секунд для всієї вибірки), що робить його придатним для обробки великих масивів даних у реальному часі або в умовах обмежених

обчислювальних ресурсів. Проте точність цієї моделі є нижчою у порівнянні з нейронними мережами, особливо при класифікації товарів зі складними або неоднозначними описами.

- **Ручна класифікація**, хоча й залишається актуальною в окремих випадках, показала найнижчу ефективність — як за точністю, так і за тривалістю обробки. Висока частка помилок (14.8%) свідчить про вразливість до людського фактора та обмежену масштабованість такого підходу.

Для наочності порівняння створено графік, який ілюструє співвідношення точності та часу обробки:

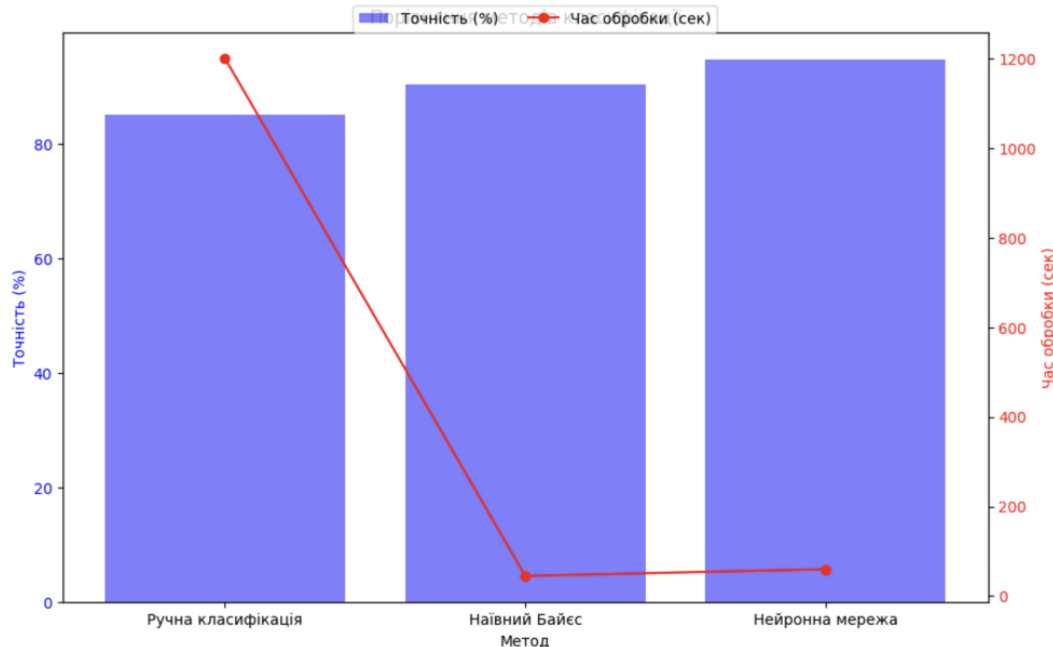


Рис. 2. Графік співвідношення точності та часу обробки

Цей графік підкреслює, що інтелектуальні системи значно перевершують ручну класифікацію за всіма параметрами, причому нейронні мережі є оптимальним вибором для завдань, де точність є пріоритетом, а наївний Байєс — для сценаріїв, де швидкість обробки є критичною.

4. Вплив на митне адміністрування

Інтеграція інтелектуальних систем класифікації товарів у процеси митного адміністрування відкриває новий рівень ефективності та стратегічного управління [2,4]. Ці технології значно покращують ключові аспекти митної діяльності, забезпечуючи швидкість, точність і прозорість. Основні переваги можна охарактеризувати наступним чином:

- **Різка скорочення часу обробки.** Завдяки автоматизації процесу класифікації тривалість обробки одного запису скорочується у 20–30 разів. Це дозволяє митним органам оперативно обслуговувати значні обсяги вантажів без зниження якості контролю.

- **Покращення точності класифікації.** Із впровадженням алгоритмів машинного навчання рівень помилок знижується на 60–70% у порівнянні з традиційними ручними методами. Це суттєво зменшує ризики некоректного декларування, що в свою чергу мінімізує кількість штрафних санкцій та запобігає затримкам у доставці.

- **Рационалізація кадрових ресурсів.** Автоматизовані системи знижують навантаження на персонал приблизно на 40%, дозволяючи зосередити увагу митних фахівців на аналітичних завданнях — таких як управління ризиками, боротьба з шахрайством та контроль за специфічними категоріями товарів.

- **Прозорість та уніфікація підходів.** Використання інтелектуальних алгоритмів сприяє стандартизації процесів класифікації. Це зменшує суб'єктивний вплив людського фактора, підвищує довіру до митної системи з боку бізнесу та спрощує зовнішньоекономічну діяльність.

- **Масштабованість і адаптивність.** Такі системи легко масштабуються та можуть бути адаптовані до змін у митному законодавстві або номенклатурі товарів, що робить їх стратегічно важливими в умовах динамічної торгівлі.

Реальні приклади підтверджують ефективність такого підходу. Зокрема, в Сінгапурі впровадження автоматизованих класифікаційних систем на базі штучного інтелекту дозволило скоротити середній час обробки митної декларації на 50%. Це позитивно позначилося на загальній швидкості логістичних процесів, сприяло зменшенню затримок і підвищило конкурентоспроможність країни на міжнародному ринку.

Таким чином, впровадження інтелектуальних систем не лише модернізує митні служби, а й створює сприятливе середовище для розвитку цифрової економіки та глобальної торгівлі.

5. Практичні аспекти впровадження

Для успішного впровадження інтелектуальних систем необхідно врахувати кілька ключових аспектів:

- **Якість даних:** Моделі машинного навчання потребують чистих і структурованих даних. Митні органи мають інвестувати в системи збору та очищення даних, щоб забезпечити високу якість навчальних наборів.
- **Інфраструктура:** Нейронні мережі, зокрема, вимагають значних обчислювальних ресурсів. Хмарні рішення можуть стати економічно вигідним вибором для країн із обмеженим доступом до високопродуктивного обладнання.
- **Навчання персоналу:** Хоча автоматизація зменшує потребу в ручній праці, митні працівники повинні мати базові знання про роботу інтелектуальних систем для їх ефективного використання та контролю.
- **Локальна адаптація:** Моделі мають бути налаштовані відповідно до національного законодавства та специфіки ТН ЗЕД, що потребує співпраці з місцевими експертами.

6. Перспективи розвитку

Перспективи подальшого розвитку інтелектуальних систем класифікації товарів відкривають нові горизонти для покращення митного адміністрування. Серед ключових напрямків можна виділити наступні:

- **Інтеграція з технологіями обробки природної мови (NLP).** Це дозволить автоматично обробляти неструктуровані текстові описи товарів, такі як їхні назви, характеристики чи інші документи, що супроводжують вантаж. Використання NLP значно покращить точність класифікації та дозволить ефективніше працювати з даними, що надходять у текстовому форматі.
- **Федеративне навчання для обміну знаннями між митними органами різних країн.** Цей підхід дозволяє зберігати конфіденційність даних, одночасно забезпечуючи обмін інформацією та покращення моделей машинного навчання без необхідності централізованого доступу до всіх даних. Така система забезпечить глобальну інтеграцію та сприятиме підвищенню точності класифікації на міжнародному рівні.
- **Використання технологій комп'ютерного зору.** Автоматична ідентифікація товарів за їхніми зображеннями може суттєво знизити час, необхідний для фізичних оглядів на митниці. За допомогою комп'ютерного зору митники зможуть миттєво отримати точну інформацію про товар, що дозволить ефективно проводити перевірки і зменшить кількість помилок при класифікації.

Ці інноваційні технології здатні ще більше підвищити ефективність, точність і прозорість митних процесів. Вони дозволяють не лише автоматизувати операції на митниці, а й стимулюватимуть глобальну інтеграцію торгівлі, спрощуючи міжнародні торгові взаємодії [12]. Впровадження таких технологій створює умови для більш гнучкої, адаптивної та безпечної митної системи, що відповідає вимогам часу.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Запровадження інтелектуальних систем класифікації товарів, заснованих на методах машинного навчання — зокрема наївному баєсівському класифікаторі та нейронних мережах із функцією активації Leaky ReLU — демонструє значний потенціал для трансформації процесів митного адміністрування. Нейронні мережі забезпечують високу точність обробки складних і неоднорідних даних, що критично важливо в умовах зростаючої складності товарних потоків. Водночас, наївний баєсівський підхід дозволяє швидко та ефективно виконувати класифікацію, що є цінним для попереднього аналізу або в умовах обмежених обчислювальних ресурсів.

Комбіноване використання цих алгоритмів дає змогу досягти оптимального співвідношення між точністю, швидкістю та масштабованістю, що підтверджується результатами експериментів, аналітичними графіками та прикладами практичного застосування. Отримані результати свідчать про істотне зниження рівня класифікаційних помилок, прискорення обробки даних, зменшення навантаження на персонал і загальну оптимізацію ресурсів митних органів. Перспективними напрямками подальших досліджень є поглиблене навчання моделей на реальних даних з урахуванням регіональних особливостей, розробка гібридних систем із можливістю самонавчання, а також інтеграція з іншими цифровими технологіями, такими як блокчейн, аналіз зображень та обробка природної мови (NLP). Масове впровадження таких рішень сприятиме не лише підвищенню ефективності митного контролю, а й посиленню позицій країн у глобальній економіці шляхом створення більш прозорої, адаптивної та технологічно розвиненої митної системи.

Література

- [1] Nassif, A. B., Talib, M. A., Nasir, Q., & Dakalbab, F. M. (2021). *Machine learning for anomaly detection: A systematic review*. IEEE Access, 9, 78658–78700. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3087599>
- [2] Bedi, P. P. S., Aggarwal, H., Narula, S., & Jain, S. (2022). Increasing the versatility of Leaky ReLU using a nonlinear function. In Gupta, D., Sambyo, K., Prasad, M., & Agarwal, S. (Eds.), *Advanced Machine Intelligence and Signal Processing* (Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 858). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0840-8_32
- [3] Rudenko, V., & Rumiantseva, K. (2025). *International information systems in customs*. Business Navigator. Retrieved from http://business-navigator.ks.ua/journals/2025/78_2025/28.pdf
- [4] Krupa, S., & Kryvenchuk, Y. (2024). *Overview of the possibilities for improving automated HS code selection using machine learning methods to optimize the customs classification process* (pp. 46–149).
- [5] Kintonova, A., Sabitov, A., Shaporeva, A., & Yensebayev, N. (2025). *Intelligent learning systems*. Bulletin of the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, 1(68). https://doi.org/10.51775/2790-0886_2025_68_1_300
- [6] Крупа С., Кривенчук Ю. (2024). Огляд можливості покращення автоматизованого підбору hs коду з використанням методів машинного навчання для оптимізації митного класифікаційного процесу, с. 46–149, 2024.
- [7] Стасьєвська, І. В., & Петренко, І. С. (2021). Проведення товарознавчих експертиз із визначення кодів товару згідно з УКТ ЗЕД державними або громадськими інституціями. *Збірник наукових праць Луганського державного університету внутрішніх справ імені Е. О. Дідоренка*, 36(2), 104. <https://doi.org/10.37025/1992-4437/2021-36-2-104>
- [8] World Customs Organization (WCO). (n.d.). *What is the Harmonized System (HS)*. <http://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/overview/what-is-the-harmonized-system.aspx>
- [9] Atamanchuk, N. I. (2025). Harmonization of the legislation of Ukraine regarding the administration of customs payments with the law of the European Union. *Uzhhorod National University Herald. Series: Law*, 2(87), 267–273. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2025.87.2.40>
- [10] European Commission. (n.d.). *Customs Tariff Database*. https://ec.europa.eu/taxation_customs
- [11] U.S. International Trade Commission. (n.d.). *Harmonized Tariff Schedule of the United States*. <https://hts.usitc.gov>
- [12] Navasardyan, Z. (2024). Interpretable and generalizable HTS code classification framework. *Economics, Finance and Accounting*, 1(13), 140. <https://doi.org/10.59503/29538009-2024.1.13-140>

References

- [1] Nassif, A. B., Talib, M. A., Nasir, Q., & Dakalbab, F. M. (2021). Machine learning for anomaly detection: A systematic review. *IEEE Access*, 9, 78658–78700. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3087599>
- [2] Bedi, P. P. S., Aggarwal, H., Narula, S., & Jain, S. (2022). Increasing the versatility of Leaky ReLU using a nonlinear function. In D. Gupta, K. Sambyo, M. Prasad, & S. Agarwal (Eds.), *Advanced Machine Intelligence and Signal Processing* (Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 858). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0840-8_32
- [3] Rudenko, V., & Rumiantseva, K. (2025). International information systems in customs. *Business Navigator*. http://business-navigator.ks.ua/journals/2025/78_2025/28.pdf
- [4] Krupa, S., & Kryvenchuk, Y. (2024). Overview of the possibilities for improving automated HS code selection using machine learning methods to optimize the customs classification process (pp. 46–149).
- [5] Kintonova, A., Sabitov, A., Shaporeva, A., & Yensebayev, N. (2025). Intelligent learning systems. *Bulletin of the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications*, 1(68). https://doi.org/10.51775/2790-0886_2025_68_1_300
- [6] Krupa, S., & Kryvenchuk, Y. (2024). Review of the possibilities for improving automated HS code selection using machine learning methods for optimizing the customs classification process (pp. 46–149).
- [7] Stashevska, I. V., & Petrenko, I. S. (2021). Conducting commodity examinations to determine product codes according to the Ukrainian Classification of Goods for Foreign Economic Activity (UKTZED) by state or public institutions. *Scientific Bulletin of the Luhansk State University of Internal Affairs named after E. O. Didorenko*, 36(2), 104. <https://doi.org/10.37025/1992-4437/2021-36-2-104>
- [8] World Customs Organization (WCO). (n.d.). *What is the Harmonized System (HS)*. <http://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/overview/what-is-the-harmonized-system.aspx>
- [9] Atamanchuk, N. I. (2025). Harmonization of the legislation of Ukraine regarding the administration of customs payments with the law of the European Union. *Uzhhorod National University Herald. Series: Law*, 2(87), 267–273. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2025.87.2.40>
- [10] European Commission. (n.d.). *Customs Tariff Database*. https://ec.europa.eu/taxation_customs
- [11] U.S. International Trade Commission. (n.d.). *Harmonized Tariff Schedule of the United States*. <https://hts.usitc.gov>
- [12] Navasardyan, Z. (2024). Interpretable and generalizable HTS code classification framework. *Economics, Finance and Accounting*, 1(13), 140. <https://doi.org/10.59503/29538009-2024.1.13-140>