

УДК 004.4

*Білотіл Я.О., магістрант,
Чижмотря О.В., ст. викладач
Державний університет «Житомирська політехніка»*

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕАКТИВНОЇ DATA-АРХІТЕКТУРИ ТА ВИБІР ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО СТЕКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ЛОҐІСТИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ

Технологічна реалізація інтелектуальної системи прогнозування вимагає побудови архітектури, здатної обробляти масивні потоки подій (Event Streaming) у режимі реального часу. В основі інструментального вибору лежить мікросервісний підхід, який дозволяє відокремити важкі обчислювальні процеси машинного навчання від інтерфейсних модулів та сервісів збору даних [1]. Як базову мову програмування обрано Python, що обумовлено наявністю найбільш розвинутої екосистеми бібліотек (Pandas, Scikit-learn, TensorFlow) для аналізу даних та інтеграції готових моделей прогнозування в промислові рішення [3]. Використання Python дозволяє значно скоротити цикл розробки (Time-to-Market) завдяки високому рівню абстракції та широкій підтримці науковою спільнотою [1].

Для забезпечення масштабованості та низької затримки (low latency) при обробці GPS-координат від тисяч транспортних одиниць доцільно використовувати брокер повідомлень Apache Kafka. Це дозволяє реалізувати реактивний конвеєр даних, де кожна зміна статусу вантажу ініціює миттєвий перерахунок прогнозних значень [1]. Kafka виступає як центральна нервова система платформи, забезпечуючи гарантовану доставку повідомлень та можливість повторної обробки історичних потоків для донавчання нейромереж [3]. Такий підхід нівелює ризики втрати даних при пікових навантаженнях, що є критичним для систем моніторингу критичної інфраструктури [2].

Для зберігання динамічних структур маршрутів та телематичної історії обґрунтовано використання NoSQL-рішення, зокрема MongoDB [2]. На відміну від реляційних моделей, ця база даних демонструє вищу продуктивність при виконанні геопросторових запитів (GeoJSON) та дозволяє гнучко масштабувати систему без зупинки сервісу [3]. Використання формату документів BSON дозволяє зберігати складні логістичні об'єкти з варіативним набором атрибутів, що часто зустрічається при роботі з різними типами датчиків та вантажів [2]. Це забезпечує високу швидкість доступу до даних при формуванні аналітичних звітів у реальному часі [1].

Важливим аспектом інструментального забезпечення є використання засобів контейнеризації на базі Docker, що гарантує ідентичність середовища розробки та експлуатації [1]. Для підтримки життєвого циклу предиктивних моделей у промислових умовах передбачено впровадження MLOps-конвеєрів. Це дозволяє автоматизувати процеси перенавчання моделей при виявленні "концептуального зсуву" (concept drift), коли точність прогнозів ETA починає знижуватися через зміну зовнішніх умов [3]. Використання інструментів типу MLflow забезпечує версіонування моделей та відстеження метрик їхньої ефективності, що мінімізує ризики деградації системи в довгостроковій перспективі [1]. Це дозволяє уніфікувати розгортання інтелектуальних модулів на хмарних платформах, забезпечуючи відмовостійкість системи при критичних збоях окремих компонентів [2].

Окрему увагу в інструментарії приділено розробці RESTful API для інтеграції з існуючими ERP та WMS системами підприємства [2]. Використання фреймворків типу FastAPI дозволяє забезпечити високу швидкість обробки зовнішніх запитів та автоматичну генерацію технічної документації [1]. Такий комплексний вибір технологій дозволяє створити надійну інструментальну базу, де навчання предиктивної моделі та видача прогнозів відбуваються паралельно. Це забезпечує високу доступність сервісу та стабільність роботи системи в умовах екстремальної інтенсивності інформаційних потоків [3].

Список використаних джерел:

1. Коваленко О. М. Проектування мікросервісних архітектур для систем реального часу. Сучасні інструменти програмування інтелектуальних систем: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 22-23 трав. 2023 р.). Київ: IT-Наука, 2023. С. 45–48. URL: <https://it-science.com.ua/conf2023/proceedings>

2. Бондаренко В. С., Мельник А. П. Порівняльний аналіз NoSQL баз даних для геоінформаційних систем. Науковий вісник НТУУ «КПІ». Серія: Інформатика. 2022. № 3. С. 88–97.

URL: <https://ev.fict.kpi.ua/article/view/265431>

3. Сидоров І. В. Архітектура потокової обробки даних у реальному часі для логістичних модулів. Системи управління, навігації та зв'язку. 2021. № 2 (64). С. 112–120.

URL: <http://journals.pntu.edu.ua/sunz/article/view/2412>