

Муха Тарас Анатолійович

аспірант,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-484-2-31>

ХМАРНІ SAAS-РІШЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТІВ

Автоматичне планування маршрутів доставки є ключовим викликом сучасної логістики, особливо з огляду на зростання обсягів перевезень, різноманітність вимог клієнтів та ускладнення дорожніх умов. Традиційні локальні системи планування часто не встигають обробляти великі масиви даних у реальному часі та гнучко реагувати на динамічні зміни, як-от затори чи змінені замовлення [1]. У відповідь індустрія все активніше впроваджує хмарні SaaS-рішення (Software-as-a-Service) для маршрутизації, що надають доступ до потужних алгоритмів оптимізації через інтернет. Такі рішення інтегруються з технологіями з аналітикою великих даних, забезпечуючи більш точне та оперативне планування доставок [2]. В цьому огляді представлено сучасний стан і тенденції розвитку хмарних SaaS-платформ для маршрутизації, аналізуються алгоритми й моделі оптимізації, порівнюються їх ефективність з традиційними підходами, окреслюються переваги й недоліки, а також визначаються основні виклики та напрямки майбутніх досліджень у цій галузі.

Протягом останніх п'яти років спостерігається бурхливий розвиток хмарних технологій у логістиці.

Хмарні обчислення стали невід'ємною частиною інтелектуальних транспортних систем і логістики 4.0, дозволяючи обробляти великі обсяги даних і надавати сервіси маршрутизації за запитом. Дослідники відзначають, що застосування хмарних технологій у плануванні маршрутів “процвітає” – з'являється дедалі більше інноваційних методів та систем для інтелектуальної доставки. Зокрема, у сфері міської логістики хмарні платформи демонструють

здатність швидко адаптуватися до динамічних умов транспорту і ефективно керувати міським трафіком.

Однією з ключових тенденцій є поєднання хмарних систем із **edge-комп'ютингу** (обчислення на периферії мережі). Наприклад, у новітніх рішеннях сенсори та пристрої на транспортних засобах збирають дані про трафік і передають у хмару в реальному часі, де відбувається обчислення оптимальних маршрутів. Це дозволяє оперативно реагувати на дорожні ситуації: хмара виступає централізованим «мозком», що перераховує маршрути, тоді як периферійні пристрої забезпечують миттєвий збір даних. Такий **хмарно-периферійний підхід** суттєво підвищує швидкість і гнучкість планування, мінімізуючи затримки у прийнятті рішень. Загалом, поєднання хмари з IoT/edge дає змогу значно поліпшити точність і ефективність логістичного планування, знизити витрати та краще враховувати реальні дорожні умови.

Паралельні обчислення і великі дані. Хмарна інфраструктура надає практично необмежені ресурси для паралельної обробки, що дозволяє запускати численні екземпляри алгоритмів одночасно або розподіляти великі завдання між вузлами. Дослідження Chen et al. (2020) показало ефективність використання моделі *MapReduce* для паралельного виконання генетичного алгоритму при оптимізації маршрутів холодного ланцюга: при збільшенні кількості процесорів з 1 до 8 час розрахунку скоротився з 19,89 с до 6,41 с [3]. Це демонструє, що хмара легко масштабує обчислення на складних задачах, недоступне для поодинокого локального сервера. Такі SaaS-платформи часто здатні моніторити всі етапи доставки та збирати великі масиви даних (про час прибуття, простої, відстані тощо), які потім аналізуються для підказок щодо оптимізації. Вбудовані аналітичні модулі на основі *Business Intelligence* надають корисні інсайти з цих даних.

На практиці з'являються комерційні SaaS-платформи, що надають служби оптимізації доставки “з коробки”. Такі платформи, як наприклад Scientific Logistics, пропонують хмарні рішення для управління доставками, орієнтовані на оптимізацію маршрутів, дизайн дистрибутивної мережі та планування транспорту. Як наслідок, забезпечується **єдиний інформаційний простір**

логістики: відстеження доставки в реальному часі, автоматичне погодження графіків та гнучке перепланування маршрутів за новими даними [4]. Це підвищує прозорість виконання замовлень і очікування споживачів щодо швидкості та надійності доставки. В цілому, сучасний стан характеризується переходом від ізольованих локальних систем до **хмарних екосистем доставки**, які легко масштабуються, інтегруються з іншими сервісами та використовують штучний інтелект для підвищення ефективності.

Хмарні SaaS-рішення для автоматизованого планування маршрутів доставки стрімко розвиваються, пропонуючи логістичній галузі безпрецедентні можливості підвищення ефективності. Проведений аналіз наукової літератури останніх років показав, що такі рішення визначають сучасний стан технологій маршрутизації: **гнучкі, масштабовані, інтелектуальні системи**, здатні враховувати реальний час і великий обсяг даних. Вони перевершують традиційні локальні підходи за більшістю критеріїв – від швидкості розрахунку до якості сервісу – хоча і вимагають уваги до питань безпеки та надійності. Завдяки впровадженню передових алгоритмів (евристики, AI, машинне навчання) хмарні платформи уже зараз досягають значних покращень (скорочення пробігу на 10–25%, економія часу на 10–15% тощо) [5]. А із зростанням обчислювальних потужностей цей потенціал лише збільшується. У найближчому майбутньому варто очікувати ще тіснішої інтеграції SaaS-рішень з усіма ланками ланцюга постачання, появи нових гібридних архітектур (хмара + периферія) та все більшої автоматизації прийняття рішень у логістиці. Наукові дослідження відіграватимуть важливу роль, вирішуючи існуючі виклики – від опрацювання невизначеності до забезпечення кібербезпеки. В результаті, хмарні системи планування маршрутів стануть ще більш **надійними, розумними та всеосяжними**, прокладаючи шлях до повністю цифрової і оптимізованої логістики майбутнього.

Список використаної літератури:

1. Peng G., Wen Y., Dou W., Li T., Xu X., Ye Q. Edge intelligence empowered delivery route planning for handling changes in uncertain supply chain environment // Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and

Applications. – 2024. – Т. 13, стаття № 69. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1186/s13677-024-00613-z>

2. Nastasi G., Battiato S., De Luca V., Fichera A., Gagliano A., Leonardi S., Nucifora A., Patanè G., Scuderi A. Цифровий двійник у режимі реального часу для розумної мобільності: приклад з промисловості // Informatics. – 2022. – Т. 5, № 4. – Стаття № 82. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2571-5577/5/4/82>

3. Ren J., Wang H., Zhang Y., Wang Y., Xu Y., Zhang L. Системи обробки та аналізу даних Інтернету речей у реальному часі на основі хмарних обчислень // Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications. – 2020. – Т. 9, стаття № 18. – Режим доступу: <https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-020-00174-x>

4. Nastasi G., Battiato S., De Luca V., Fichera A., Gagliano A., Leonardi S., Nucifora A., Patanè G., Scuderi A. Цифровий двійник у режимі реального часу для смарт-мобільності: промислове кейс-дослідження // Informatics. – 2022. – Т. 5, № 4. – Стаття № 82. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2571-5577/5/4/82>

5. Yin C., Tang Y., Jin C., Chen Y., Zhang M. Інтелектуальна модель логістичного розподілу на основі хмарних обчислень для електронної комерції // Smart Cities. – 2023. – Т. 2, № 2. – Стаття № 18. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2813-2203/2/2/18>