

ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ РОЗУМНИХ МІСТ

Максимов В. В., Скиба В.В.

*Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: maksimov46@ukr.net, skyba.viktor@lil.kpi.ua*

EFFECTIVENESS INDICATORS OF THE APPLICATION OF CLOUD TECHNOLOGIES AND THE INTERNET OF THINGS FOR SMART CITIES

This paper analyzes the key performance indicators for smart sustainable cities, which are designed to assess the role and effectiveness of information and communication technologies in the economic dimension of the city.

Стрімке зростання урбанізації та концентрація населення в містах вимагають нових підходів до міського планування та управління. Ключову роль у вирішенні цих викликів відіграють цифрові технології, зокрема концепція "розумних міст", забезпечуючи сталий розвиток та покращення якості життя мешканців.

Розумні міста використовують дані з IoT-пристроїв для оптимізації ресурсів, зниження витрат та підвищення якості послуг. Для обробки великих обсягів даних, що генеруються в розумних містах, критично важливими є хмарні технології, забезпечуючи масштабованість, надійність та централізоване керування. Ефективність застосування хмарних технологій та IoT в розумних містах визначається як ступінь досягнення цілей з мінімальними ресурсами та максимальним позитивним впливом на якість життя, враховуючи економічні, соціальні та екологічні аспекти. Аналіз ефективності впровадження хмарних технологій в IoT в розумних містах є важливим для обґрунтування інвестицій, оптимізації ресурсів та покращення якості життя громадян.

Рекомендація ITU-T Y.4903 [1] містить ключові показники продуктивності (key performance indicators (KPIs)) для розумних сталих міст, які призначені для оцінки ролі та ефективності інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у трьох вимірах міста: економіка, навколишнє середовище, суспільство та культура. Серед життєво важких економічних категорій розумних міст слід виділити водопостачання (KPIs: розумні лічильники води, моніторинг водопостачання), електропостачання (KPIs: розумні лічильники електроенергії, ІКТ моніторинг електропостачання), транспорт (KPIs: динамічна інформація про громадський транспорт, моніторинг дорожнього руху, контроль перехресть) і державний сектор (KPIs: відкриті дані).

Показник «Розумні лічильники води» дозволяє у режимі реального часу контролювати обсяги споживання, виявляти несанкціоноване використання або витоки, а також оптимізувати розподіл водних ресурсів. Розраховується як відсоток встановлених розумних лічильників води від загальної кількості

встановлених лічильників води.

Показник «ІКТ моніторинг водопостачання» дозволяє у режимі реального часу швидко реагувати на аварійні ситуації, своєчасно проводити технічне обслуговування та мінімізувати втрати води. Розраховується як відсоток довжини системи диспетчерського контролю та збору даних (SCADA Supervisory Control and Data Acquisition) водопостачання, яка контролюється ІКТ (км) від загальної довжини системи водопостачання (км).

Використання цих показників надає можливість розумним містам досягти цілі сталого розвитку в категорії водопостачання, а саме: до 2030 року суттєво підвищити ефективність використання води в усіх секторах і забезпечити сталий забір і постачання прісної води для вирішення проблеми дефіциту води та суттєвого зменшення кількості людей, які страждають від нестачі води. Слід також відзначити, що впровадження хмарних IoT-технологій в сфері «розумного» водопостачання вже довело свою ефективність на прикладі Барселони, дозволивши зекономити 58 мільйонів євро на рік [2].

Показник «Розумні лічильники електроенергії» дозволяє в режимі реального часу вимірювати навантаження на електромережу, що забезпечує точний облік споживання, виявлення аномалій та оперативне реагування на збої чи аварійні ситуації. Розраховується як відсоток встановлених розумних лічильників електроенергії від загальної кількості встановлених лічильників електроенергії.

Показник «ІКТ моніторинг електропостачання» визначає рівень використання систем моніторингу SCADA, IoT та хмарних технологій для централізованого збору, аналізу та обробки даних з електромереж в режимі реального часу. Такий моніторинг дає змогу отримати детальну інформацію про кількість енергії, необхідної для різних служб (громадське освітлення, транспорт, світлофори та камери відеоспостереження), прогнозувати потенційні аварійні ситуації та забезпечувати своєчасне технічне обслуговування. Розраховується як відсоток довжини системи диспетчерського контролю та збору даних (SCADA) електропостачання, яка контролюється ІКТ (км) від загальної довжини системи електропостачання (км).

Використання цих показників надає можливість розумним містам досягти цілі сталого розвитку в категорії електропостачання, а саме: до 2030 року подвоїти глобальні темпи підвищення енергоефективності. Слід також відзначити, що застосування розумних датчиків освітлення не тільки надає нову світлодіодну технологію для зменшення споживання, але й виявляти відсутність пішоходів, щоб зменшити інтенсивність світла. Для Барселони таке впровадження призвело до 30% економії електроенергії, або близько 37 мільйонів євро щороку [9]. На прикладі Единбургу це дозволило скоротити річні витрати на електроенергію на 1,6 мільйона фунтів стерлінгів або 50% на рік [3]. Проект Smartcity Malaga в перші 5 років досягнув 25% економії загального споживання електроенергії та скоротив викид CO₂ на 4500 тон на рік, що становило 20% скорочення викидів, завдяки впровадженню концепту «Smart Grid» розумних IoT-систем моніторингу електроспоживання [4].

Показник «Динамічна інформація про громадський транспорт» визначає

здатність міста надавати пасажиром актуальну інформацію про стан та рух громадського транспорту у режимі реального часу. Завдяки інтеграції IoT пристроїв, GPS трекінгу та хмарних технологій, динамічна інформація про стан системи, а також час прибуття та час у дорозі дозволяє не лише покращити досвід користувачів, але й допомагає операторам коригувати розклади, оптимізувати маршрути та управляти ресурсами більш ефективно. Розраховується як відсоток кількості зупинок і станцій з доступною динамічною інформацією від загальної кількості зупинок і станцій.

Показник «Моніторинг дорожнього руху» визначає здатність системи в режимі реального часу збирати та аналізувати дані про рух транспортних засобів на головних (основних) вулицях, які включатимуть лише магістралі та шосе (житлові вулиці не включаються). Цей показник охоплює вимірювання швидкості руху, інтенсивності трафіку, виявлення заторів та різних аварійних ситуацій. Завдяки інтеграції IoT-пристроїв, відеокамер, GPS-трекінгу та хмарних технологій, система дозволяє оперативно коригувати налаштування світлофорів, перенаправляти потоки транспорту та інформувати громадян про поточну ситуацію на дорогах. Розраховується як відсоток кількості довжини основних вулиць, які контролюються ІКТ (км) від загальної протяжності основних вулиць (км).

Показник «Контроль перехресть» вимірює ефективність адаптивного управління дорожнім рухом або визначення пріоритетів на перехрестях за допомогою світлофорів у розумних містах. За допомогою інтеграції IoT датчиків, камер відеоспостереження, GPS систем та хмарних технологій, система збирає дані в режимі реального часу про інтенсивність трафіку, середній час затримки, довжину автомобільних потоків та інші параметри роботи перехрестя. На основі цих даних адаптивні системи, такі як SCATS, SCOOT або ATSAC автоматично коригують тривалість зеленого, жовтого та червоного сигналів, оптимізують розподіл потоку транспортних засобів, що сприяє зниженню заторів, скороченню часу перебування автомобілів на перехрестях та підвищенню рівня безпеки. Розраховується як відсоток кількості перехресть з адаптивним регулюванням руху від загальної кількості регульованих перехресть.

Використання цих показників надає можливість розумним містам досягти цілі сталого розвитку в категорії транспорту, а саме: до 2030 року забезпечити доступ до безпечних, недорогих, доступних і стійких транспортних систем для всіх, покращуючи безпеку дорожнього руху, зокрема шляхом розширення громадського транспорту, приділяючи особливу увагу потребам тих, хто перебуває в уразливих ситуаціях, жінок, дітей, людей з обмеженими можливостями та людей похилого віку. Слід відзначити, що впровадження технологій надання динамічної інформації про громадський транспорт в Гаазі дозволило скоротити час очікування на 20% та підвищити ефективність використання транспортної мережі [5]. Впровадження системи автоматичного контролю трафіку на перехрестях (ATSAC) в Лос-Анджелесі дозволило скоротити затримки трафіку на 32%, а також зменшити викиди шкідливих газів від транспортних засобів на 3% [6, 7].

Показник «Відкриті дані» вимірює рівень доступності, якості та

використання даних, що публікуються міською владою, в тому числі отриманих за допомогою IoT-пристроїв і оброблених хмарними технологіями. Високий рівень відкритих даних сприяє підвищенню прозорості роботи державних органів, залученню громадськості до аналізу та контролю за діяльністю влади, а також стимулює розвиток інноваційних додатків і послуг у громадському секторі. Розраховується як відсоток загальної кількості опублікованих наборів відкритих даних від загальної кількості наборів даних.

Використання цього показника надає можливість розумним містам досягти цілі сталого розвитку в категорії державний сектор, а саме: розвивати ефективні, підзвітні та прозорі установи на всіх рівнях та забезпечити репрезентативне, оперативне прийняття рішень на всіх рівнях. Лідером у використанні відкритих даних є місто Нью-Йорк завдяки порталу NYC Open Data, що налічує близько 2,6 тисяч наборів даних, та 6 мільярдів рядків даних. Завдяки цьому проекту розробники та громадські організації можуть створювати безліч інноваційних рішень, зокрема додатки для аналізу трафіку, оптимізації використання ресурсів та моніторингу ефективності міських послуг [8].

Висновок. Інтеграція хмарних технологій та IoT-пристроїв є основою розвитку розумних міст, забезпечуючи централізоване управління та підвищення ефективності послуг.

Література

1. International Telecommunication Union. (03/2022). Key performance indicators for smart sustainable cities to assess the achievement of sustainable development goals. ITU-T Recommendation Y.4903 <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=14173>.
2. Cisco. Розумне місто Барселона. (2014) https://www.cisco.com/c/dam/m/es_la/ie/public_sector/pdfs/Jurisdictions/Barcelona_Jurisdiction_Profile_final.pdf.
3. Dizon, E., & Pranggono, B. (2022). Smart streetlights in Smart City: a case study of Sheffield. https://www.researchgate.net/publication/263962649_Performance_Measures_for_Traffic_Signal_Systems_An_Outcome-Oriented_Approach#pf7f.
4. Felipe A. C., Susana C. G., Josep B., & F., Enrique A. (2009). Malaga Smart-City: A Smart Grid Project Demonstration. https://www.researchgate.net/publication/332471607_Title_Malaga_Smart-City_A_Smart_Grid_Project_Demonstration_2009.
5. Dziekan, K., & Kottenhoff, K. (2007). Dynamic at-stop real-time information displays for public transport: effects on customers. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965856406001431>.
6. Day, C. M., Bullock, D. M., Li, H., Remias, S. M., Hainen, A. M., Freije, R., Stevens, A., Sturdevant, J. R., & Brennan, T. M. (2014). Performance Measures for Traffic Signal Systems: An Outcome-Oriented Approach. https://www.researchgate.net/publication/263962649_Performance_Measures_for_Traffic_Signal_Systems_An_Outcome-Oriented_Approach#pf7f.
7. LADOT. ATSAC. (2020) <https://ladot.lacity.gov/projects/transportation-technology/atsac>.
8. NYC Open Data. (2025) <https://opendata.cityofnewyork.us/dashboard/>.
9. Maria G. Smart Cities in Action. Barcelona. <https://blog.bismart.com/en/why-barcelona-is-a-smart-city>.