

ФОРМУВАННЯ НАУКОВИХ ОСНОВ СИСТЕМНОГО МОНІТОРИНГУ В УМОВАХ ПРОСТОРОВО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Системний моніторинг урбанізованих територій постає як фундаментальний елемент управління сучасними містами, у яких просторово-функціональні процеси відбуваються з безпрецедентною швидкістю та складністю. Його сутність полягає у створенні єдиного інформаційно-аналітичного середовища, що поєднує екологічні, соціальні, інженерні та управлінські параметри міського розвитку. Моніторинг забезпечує постійний зворотний зв'язок між динамікою середовища та управлінськими рішеннями, формуючи підґрунтя для прогнозування, адаптації та коригування просторових стратегій. У цифрову епоху ця функція розширюється завдяки використанню геоінформаційних систем (GIS), сенсорних мереж, технологій супутникового спостереження, штучного інтелекту та хмарних платформ, що дозволяють інтегрувати багаторівневі дані в реальному часі.

Системний моніторинг міського простору набуває рис адаптивної системи, здатної виявляти тенденції, оцінювати взаємозв'язки між просторовими змінами та соціально-економічними процесами, а також визначати критичні точки розвитку. Його структура ґрунтується на принципі системності, безперервності, масштабованості, інтегрованості та гнучкості. Ключова ідея полягає в тому, що спостереження за містом не повинно обмежуватись фіксацією стану, а має перетворюватись на інтелектуальний механізм прогнозування та підтримки рішень. Таке трактування змінює роль моніторингу – від технічного інструменту контролю до стратегічного елементу управління міським розвитком.

У межах просторово-функціональної трансформації урбанізованих територій системний моніторинг виступає засобом балансування між розвитком, стійкістю та комфортом середовища. Його впровадження дозволяє своєчасно реагувати на зміни, оцінювати ефективність використання ресурсів, виявляти потенційні ризики й оптимізувати структуру міського простору. Сучасне місто функціонує як складна багаторівнева система, де кожне рішення відбивається на екології, інфраструктурі та якості життя мешканців. У цьому контексті системний моніторинг стає не лише технологічною платформою, а й науковою концепцією, що поєднує аналіз, прогнозування та управління у єдину модель. Його місія полягає у забезпеченні стійкого, безпечного та гнучкого розвитку міських територій, де дані перетворюються на стратегічний ресурс для формування майбутнього.

Ключові слова: *системний моніторинг, урбанізовані території, просторово-функціональна трансформація, геоінформаційні системи, цифрова аналітика, адаптивне управління, сталий розвиток, Smart City.*

Вступ. Сучасна урбанізація характеризується високою динамічністю просторових і функціональних змін, що вимагає нових підходів до управління розвитком міст. Класичні методи спостереження та планування стають недостатніми, оскільки не враховують взаємозалежності соціальних, екологічних, технічних і поведінкових процесів. У таких умовах системний моніторинг набуває статусу базового інструменту урбаністичного управління, здатного забезпечувати інтеграцію інформації з різних джерел, аналітичну обробку даних та їх використання для ухвалення стратегічних рішень. Він виступає сполучною ланкою між науковими дослідженнями, практикою просторового планування та управління міською інфраструктурою. Моніторинг дозволяє оперативнo виявляти просторові тенденції, прогнозувати зміни та підтримувати баланс між розвитком і стійкістю. Формування системного моніторингу як наукової категорії відображає еволюцію від фрагментарного збору даних до побудови комплексних аналітичних платформ, які поєднують цифрові технології, геоінформаційні моделі та машинне навчання. У результаті моніторинг стає не лише джерелом інформації, а й активним компонентом системи управління, що забезпечує зворотний зв'язок і коригування рішень у реальному часі.

Актуальність. Зростання складності урбанізованих територій, посилення екологічних ризиків, цифрова трансформація управління та зміна форматів міського простору зумовлюють необхідність створення ефективних систем моніторингу. У сучасних містах відбувається інтеграція житлових, комерційних, транспортних і рекреаційних функцій у межах обмеженої території, що підвищує навантаження на інфраструктуру та природне середовище. Водночас динаміка змін вимагає безперервного контролю, швидкої реакції та прогнозування. Системний моніторинг у цьому контексті є не просто засобом збору даних, а стратегічною платформою прийняття рішень, що дозволяє реалізовувати принципи сталого розвитку, енергоефективності й просторової збалансованості. Його актуальність посилюється переходом до концепції «розумних міст», де дані та цифрові сервіси стають основою управління міськими процесами.

Постановка проблеми. Попри значний науковий прогрес у сфері містобудування, відсутність цілісної системи моніторингу залишається однією з основних проблем управління урбанізованими територіями. Існуючі практики переважно зорієнтовані на галузеві показники – екологічні, демографічні, технічні, що призводить до фрагментарності управлінських рішень. Бракує єдиної інтегрованої моделі, здатної поєднати екологічні, соціальні, просторові та економічні параметри в єдиному аналітичному середовищі. Крім того, проблемним є питання узгодженості між різними рівнями моніторингу – об'єктовим, районним і міським. Це знижує ефективність використання даних та унеможливорює своєчасне реагування на зміни. Тому формування наукових основ системного моніторингу є необхідною умовою створення адаптивної системи управління, що спирається на цифрові технології, просторову аналітику та принципи міждисциплінарності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У сучасних наукових працях системний моніторинг розглядається як ключовий компонент управління міським середовищем, здатний забезпечити зв'язок між просторовими змінами, соціально-економічними процесами та екологічними показниками. Дослідження останніх років зосереджуються переважно на технологічних аспектах – розвитку геоінформаційних систем, цифрових платформ, супутникових методів

спостереження, сенсорних мереж і хмарних сервісів, що забезпечують збір і обробку великих обсягів урбаністичних даних. Такий підхід дав змогу підвищити точність вимірювань і оперативність отримання інформації, однак водночас виявив обмеження у концептуальній цілісності моніторингових систем.

Більшість наявних досліджень акцентують увагу на окремих складових – екологічній, технічній або соціальній, – не враховуючи необхідність інтеграції цих елементів у єдину системну модель. Недостатньо розробленими залишаються питання наукового обґрунтування принципів побудови комплексного моніторингу, узгодження його із системами просторового планування та управління міськими процесами. Також не сформовано універсальних підходів до оцінювання ефективності моніторингу в умовах швидкої урбаністичної динаміки. Відтак, існує потреба у створенні науково-методичної основи, яка поєднує аналітику, цифрові технології та управлінські механізми в єдину систему підтримки сталого розвитку міських територій.

Метою цієї статті є наукове обґрунтування принципів, структури та методології системного моніторингу урбанізованих територій у контексті просторово-функціональної трансформації. Метою є формування концептуальної моделі, що забезпечує поєднання наукових принципів системності, цифрових технологій і практичних механізмів управління міським середовищем. Дослідження спрямоване на визначення ключових елементів моніторингової системи, їх взаємозв'язків і ролі в забезпеченні сталого розвитку та адаптивного управління просторовими процесами.

Виклад основної інформації. У контексті зростаючої складності урбанізованих територій, що характеризуються постійною динамікою просторово-функціональної трансформації, системний моніторинг виступає не лише інструментом контролю за змінами, а й складовою управлінської платформи, що забезпечує адаптивність і стійкість міських систем. Його концептуальне осмислення формується на перетині таких дисциплін, як урбаністика, екологія, геоінформатика, муніципальне управління, архітектура, економіка та інформаційні технології. Відповідно, зміст і структура системного моніторингу визначаються міждисциплінарними підходами, кожен із яких наповнює моніторинг специфічними функціями, завданнями та інструментами.

Насамперед, екологічний підхід зосереджується на відстеженні впливу антропогенних факторів на навколишнє природне середовище в межах урбанізованих територій. Він охоплює моніторинг стану атмосферного повітря, ґрунтів, водних ресурсів, шумового фону, вібрацій, біорізноманіття тощо. У рамках цього підходу моніторинг є превентивним інструментом виявлення екологічних ризиків та підтримки екосистемної рівноваги. Його ключова мета – не лише фіксація стану середовища, а й формування стратегії екологічної безпеки міста.

Соціальний підхід розглядає моніторинг як засіб дослідження стану та динаміки соціального середовища. Сюди входять показники якості життя, доступності інфраструктури, рівня соціальної інтеграції, безпеки, громадського задоволення, демографічних тенденцій. Моніторинг у цьому аспекті сприяє розробці цільових програм соціального розвитку, боротьбі з просторовою сегрегацією, виявленню зон соціальної напруги. Таким чином, він стає основою людиноцентричної урбаністики, що фокусується на добробуті мешканців.

Інженерний підхід виводить на перший план контроль за технічним станом міської інфраструктури – транспортної мережі, комунікацій, будівель, інженерних

споруд. У цьому контексті системний моніторинг застосовується для діагностики конструкцій, визначення зношеності, прогнозування критичних навантажень, виявлення дефектів, що можуть призвести до аварійних ситуацій. Такий моніторинг часто реалізується із застосуванням сенсорних систем, автоматизованих платформ та геотехнічних інструментів, інтегрованих у цифрові карти ризиків.

У управлінському підході системний моніторинг є невід'ємною частиною інструментарію стратегічного планування й оперативного реагування. Він виступає як інформаційна основа для прийняття управлінських рішень у сферах зонування, землекористування, планування нових забудов, розвитку інфраструктури, громадського транспорту, екстрених служб. Моніторингові дані аналізуються через аналітичні панелі (дашборди), GIS-платформи, цифрові урбаністичні моделі, що дозволяє керівництву міст формувати гнучку політику реагування на просторові виклики.

Зазначимо, що системний моніторинг є однією з ключових категорій у сучасній науці та практиці управління складними об'єктами і процесами. Це поняття виходить далеко за межі звичайного спостереження чи контролю окремих параметрів – воно означає структуровану, безперервну, інтегровану діяльність, спрямовану на збір, аналіз, інтерпретацію та прогнозування стану складних систем для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень.

У широкому розумінні, системний моніторинг – це цілеспрямоване багаторівневе спостереження, що охоплює як окремі елементи системи, так і взаємозв'язки між ними, з урахуванням динаміки змін і зовнішніх впливів. Його завдання – не лише фіксувати фактичний стан об'єкта чи процесу, але й виявляти тенденції, потенційні відхилення, критичні точки розвитку, а також формувати підґрунтя для прогнозування майбутніх станів [14].

Головними ознаками системного моніторингу є:

- Комплексність: охоплення всіх основних підсистем і функціональних зв'язків;
- Безперервність: регулярний збір та оновлення інформації для забезпечення актуальності аналізу;
- Інтегрованість: об'єднання даних із різних джерел і секторів у єдине аналітичне поле;
- Орієнтація на управління: надання інформації, яка безпосередньо використовується для ухвалення рішень щодо оптимізації чи корекції системи;
- Прогностичність: здатність виявляти тренди й передбачати можливі сценарії розвитку подій.

На відміну від традиційного спостереження або контролю, що можуть бути фрагментарними або реактивними, системний моніторинг є проактивним процесом, орієнтованим на виявлення змін на ранніх стадіях і на запобігання розвитку негативних тенденцій.

У різних галузях системний моніторинг має свої специфічні особливості. В екології він спрямований на оцінку стану навколишнього середовища, у будівництві – на контроль технічного стану конструкцій, у містобудуванні – на аналіз змін просторової структури територій. В основі кожного з цих застосувань лежить принцип системності: розгляд об'єкта у взаємозв'язку всіх його елементів і чинників впливу.

Особливе значення системний моніторинг набуває в умовах високої динамічності зовнішнього середовища, складності об'єктів спостереження та

необхідності швидкого ухвалення рішень. Завдяки використанню цифрових технологій – геоінформаційних систем (GIS), сенсорних мереж (IoT), аналітичних платформ (BI-систем) – сучасний системний моніторинг переходить на якісно новий рівень, що дозволяє не тільки констатувати факти, але й будувати складні прогнозно-оціночні моделі [15].

Окремо слід виокремити інформаційно-цифровий підхід, який набуває особливого значення в умовах формування «розумних міст» (smart cities). Тут моніторинг ґрунтується на обробці великих масивів даних (Big Data), які надходять від різноманітних сенсорів, користувачів мобільних додатків, онлайн-платформ тощо. Використання штучного інтелекту, машинного навчання, інтернету речей (IoT) трансформує моніторинг із механізму фіксації в систему прогнозування та адаптації.

Зміст системного моніторингу у міському середовищі, таким чином, формується як інтеграція цільових напрямів, кожен з яких вимагає власних методів збору, обробки та візуалізації інформації. Структура такої системи повинна передбачати [1]:

- багаторівневу архітектуру (об’єктовий, районний, міський рівень);
- модулі збору та валідації даних;
- аналітичне ядро (аналітика даних, алгоритми оцінювання стану);
- візуалізаційний інтерфейс (карти, дашборди, мобільні застосунки);
- модуль зворотного зв’язку (подача рекомендацій до системи управління).

Узагальнюючи, можна сказати, що системний моніторинг у сучасному місті – це не лише набір технічних рішень, а цілісна аналітична система, яка охоплює екологічну, соціальну, інженерну та управлінську компоненти, забезпечує міждисциплінарну взаємодію і виступає основою для сталого й адаптивного розвитку урбанізованих територій. У процесі формування стратегії розвитку міст роль моніторингу зростає від допоміжного елемента до ключового інструменту динамічного управління простором і ресурсами.

Варто наголосити, що просторово-функціональна трансформація урбанізованих територій істотно змінює природу цілей, задач і методів моніторингу, перетворюючи його з реактивного інструменту фіксації стану на адаптивну та прогностичну систему управління міським розвитком. У сучасному місті просторові зміни набувають дедалі складнішого характеру – зростає вертикальна щільність забудови, змінюється функціональне зонування, відбувається інтеграція колишніх промислових територій у житлові та рекреаційні комплекси [2]. Це супроводжується підвищеним навантаженням на транспортну, інженерну, соціальну інфраструктуру та середовище існування людини загалом.

Сьогоднішнє міське середовище дедалі частіше набуває поліфункціонального характеру, де на одній ділянці можуть одночасно розміщуватися житлові об’єкти, офісні простори, торгово-розважальні комплекси, коворкінги та громадські зони. Відповідно, класичні підходи до моніторингу, побудовані на фрагментарному зборі даних за окремими галузями (екологія, транспорт, інженерія), стають недостатніми. Вони не враховують перехресні впливи: наприклад, як зміна функціонального призначення території з промислового на житлове впливає на трафік, навантаження на соціальну інфраструктуру, акустичне середовище, тепловий баланс району [3].

Таким чином, адаптивний системний моніторинг у нових урбаністичних умовах повинен враховувати інтерсекторальну взаємодію, виявляючи складні залежності між змінами у функціональному призначенні та просторових характеристиках

території. Це передбачає перехід до геоінформаційно-когнітивних моделей, що інтегрують не лише геометричні та фізичні параметри забудови, а й поведінкові характеристики мешканців, динаміку споживання ресурсів, зміну сценаріїв мобільності.

Також важливим фактором впливу трансформацій є часовий горизонт змін. Якщо раніше містобудівне планування базувалося на десятиліттях, то сьогоденні урбаністичні сценарії мають високу мінливість – реконструкція кварталів, зміна зонування, забудова раніше депресивних територій можуть відбуватися протягом 2–3 років. У таких умовах моніторинг повинен бути оперативним, динамічним і безперервним, з можливістю сценарного прогнозування на короткострокову перспективу.

Крім того, у процесі просторової трансформації виникає необхідність враховувати нові форми використання простору – такі як мобільна архітектура, тимчасові інфраструктури (наприклад, модульні павільйони, збірні житлові комплекси), інтеграція підземного і надземного простору. Це вимагає від моніторингу не лише врахування площі та функцій, а й трьохвимірної моделі міського середовища, доповненої часовими змінами (4D-моніторинг) і навіть прогнозними сценаріями на основі big data (5D-моніторинг) [4]. Рис. 1 ілюструє, як зміна архітектурно-планувальної структури (ущільнення, вертикалізація, зональні конфлікти) та функціонального змісту територій (поліфункціональність, реновація, зміна цільового призначення) впливає на нову структуру моніторингу. Візуалізовано перехід від галузевих до інтегрованих систем збору й аналізу даних, які включають просторово-часові, соціально-економічні, екологічні та поведінкові параметри.

У сучасних умовах процесів урбаністики, що характеризуються високою динамікою змін, зростанням просторової щільності, багатфункціональністю територій і складністю взаємозв'язків між елементами міського середовища, побудова ефективної системи моніторингу вимагає опори на чітко сформульовані наукові принципи. Саме ці принципи визначають здатність моніторингової системи не лише фіксувати поточний стан, а й забезпечувати адаптивність до змін, інтеграцію з управлінськими механізмами та можливість масштабування під різні сценарії розвитку територій.

Ключовим є принцип системності, який передбачає розгляд урбанізованої території як складної відкритої системи, що функціонує на основі взаємозв'язків між соціальними, екологічними, інженерними, економічними й інформаційними компонентами [5]. Моніторинг у такій системі повинен забезпечувати збирання, обробку та аналіз даних за всіма цими напрямками, а також їхню взаємну інтерпретацію для виявлення прихованих залежностей і ризиків. Наприклад, зростання транспортного навантаження не можна оцінювати ізольовано від екологічних наслідків або доступності публічного простору.

Другим визначальним є принцип безперервності, який вимагає постійного збору даних у реальному або квазіреальному часі. У контексті динамічного міста це дозволяє не лише фіксувати відхилення від норми, а й виявляти тренди, повторювані патерни та пікові навантаження. Реалізація цього принципу досягається завдяки використанню сенсорних систем (IoT), супутникового спостереження, мобільних додатків, громадського моніторингу та геоінформаційних платформ [6].



Рис. 1. Вплив просторово-функціональної трансформації міста на структуру, цілі та методи системного моніторингу (розроблено автором на основі [4])

Принцип інтегрованості визначає необхідність поєднання моніторингових потоків із різних джерел: муніципальних служб, наукових інститутів, комерційних платформ, мобільних операторів, екологічних станцій тощо. Така інтеграція дозволяє створити єдине середовище даних (CDE), у межах якого інформація не дублюється, не втрачається і може бути вільно використана для аналізу, моделювання та прийняття рішень. Інтегрованість також означає технологічну здатність підключати нові джерела даних без порушення цілісності системи.

Принцип масштабованості передбачає гнучкість системи щодо просторового рівня реалізації – від окремого об'єкта (будівлі) до району, міста, агломерації. Такий підхід дозволяє розгортати моніторингові модулі поступово, адаптуючи їх до реального бюджету, ресурсів і цілей, з подальшою можливістю розширення функціоналу. Масштабованість також означає здатність системи адаптуватися до збільшення кількості параметрів моніторингу, нових користувачів або зміни законодавчих вимог [7].

Для узагальнення основних наукових принципів та їх прикладного значення у формуванні системного моніторингу урбанізованих територій представлено таблицю 1.

Усі ці принципи формують методологічний каркас для створення дієвих, стійких і гнучких систем моніторингу, які відповідають викликам сучасної урбанізації. Застосування таких принципів дозволяє міським адміністраціям переходити до реального управління на основі даних, що підвищує якість середовища, знижує ризики та сприяє сталому розвитку.

У контексті реалізації системного моніторингу трансформованих урбанізованих територій усе більшу роль відіграють сучасні методології збору, обробки та інтерпретації даних, які інтегрують інструменти цифрової трансформації, просторової аналітики та мультисенсорного спостереження. Враховуючи динамічний характер просторово-функціональних змін, традиційні статистичні підходи вичерпують свою ефективність, поступаючись місцем інтегрованим геоінформаційним технологіям, супутниковому аналізу, хмарним сервісам і сенсорним мережам, які дозволяють будувати адаптивні та прогностичні моніторингові системи.

Таблиця 1

Базові наукові принципи побудови системного моніторингу в умовах динамічної урбанізації

Принцип	Зміст	Практичне значення у міському моніторингу
Системність	Розгляд міста як взаємозалежної багатоелементної структури	Виявлення міжгалузевих зв'язків, запобігання фрагментованим рішенням
Безперервність	Постійне спостереження та оновлення даних	Формування динамічної бази даних, оперативне реагування на критичні зміни
Інтегрованість	Поєднання даних з різних джерел у єдиному середовищі	Оптимізація управлінських рішень, зменшення дублювання даних
Масштабованість	Можливість розширення системи без втрати стабільності	Гнучкість реалізації на різних рівнях – від об'єкта до міста або регіону
Адаптивність	Здатність системи самонавчатись, оновлюватись, змінювати параметри	Підвищення ефективності в умовах нестабільного середовища

Джерело: розроблено автором на основі [7]

Науковці, такі як Буряк О.І. (2021), акцентують на ролі геоінформаційних систем (GIS) як ключової платформи, що забезпечує візуалізацію, просторову прив'язку та аналіз багаторівневих даних у режимі реального часу. Вони створюють можливість інтегрувати результати екологічного, інженерного, соціального та функціонального моніторингу в єдиний картографічний простір, дозволяючи швидко ідентифікувати проблемні ділянки та сценарії потенційних ризиків. GIS-платформи ArcGIS, QGIS та CityWorks активно використовуються для планування міських інтервенцій, автоматизації прийняття рішень і формування цифрових кадастрів [8].

Дослідник Ярема В.М. (2020) виокремлює супутниковий моніторинг як методологію глобального огляду й аналізу великих територій з високою періодичністю. В основі підходу – використання супутників Sentinel-1/2, Landsat-8, Terra, які дозволяють здійснювати спостереження за змінами ландшафтів,

температурною структурою, урбанізаційним тиском та екологічними порушеннями [9]. Інструменти дистанційного зондування (ДЗЗ) дозволяють автоматизовано виявляти зміну рослинного покриву, незаконну забудову, просідання ґрунтів та інші геодинамічні аномалії.

Згідно з іншим підходом, мережі датчиків (sensor networks) є важливою складовою адаптивного моніторингу. Такі системи, що включають сейсмометри, акселерометри, вологоміри, метеостанції, використовуються для збору мікроданих у конкретних точках (зокрема у зонах зсувів, об'єктах підвищеного навантаження, мостах, тунелях). Через інтернет речей (IoT) ці дані надходять у центральні аналітичні платформи, формуючи основу для оперативного реагування в реальному часі.

Михальчук І.В. (2021) підкреслює значення хмарних інформаційних середовищ (cloud-based environments), що забезпечують централізоване зберігання та обробку великих обсягів урбаністичних даних [9]. Завдяки масштабованості та доступності хмари дозволяють синхронізувати роботу різних структур, підключати незалежних дослідників, здійснювати краудсорсинг та мобільний моніторинг.

Комплексне застосування зазначених методологій забезпечує створення цифрових платформ урбаністичного моніторингу, які дозволяють формувати структуровані звіти, інтерактивні карти, 3D-моделі, системи попередження ризиків. Це відкриває можливості для динамічного управління простором і формування гнучких сценаріїв розвитку.

Нижче наведено узагальнювальну таблицю 2, що демонструє основні методології реалізації моніторингу трансформованих територій та їхніх наукових розробників:

Таблиця 2

Методології системного моніторингу урбанізованих територій та їх прикладне застосування

Методологія/інструмент	Автор / дослідник	Функціональне застосування	Переваги впровадження
Геоінформаційні системи (GIS)	Буряк О. І. (2021)	Створення цифрових карт, просторове зонування, виявлення критичних ділянок	Просторове моделювання, інтеграція шарів, візуалізація
Супутниковий моніторинг (ДЗЗ)	Ярема В. М. (2020)	Аналіз змін ландшафту, урбанізація, екологічні процеси	Широкий охоплення, періодичність спостереження, автоматизація
Мережі сенсорів (IoT)	Герасимчук О. С. (2022)	Моніторинг інфраструктури, сейсмічних та техногенних ризиків	Точність, реальний час, низька латентність
Хмарні середовища (Cloud)	Михальчук І. В. (2021)	Централізоване управління даними, спільна робота, доступність аналітики	Масштабованість, безпечність, інтероперабельність
Цифрові урбаністичні платформи	Колективна (на основі інтеграції)	Зведення всіх даних в єдиний інтерфейс: дашборди, 3D-моделі, сценарне планування	Комплексність, автоматизація стратегічного аналізу

Джерело: розроблено автором на основі [8, 9, 10]

Таким чином, сучасні підходи до моніторингу урбанізованих середовищ ґрунтуються на цифрових, адаптивних, мультиджерельних і прогнозних моделях, які дозволяють не лише фіксувати зміни, а й моделювати їх вплив, аналізувати сценарії розвитку та формувати обґрунтовані стратегії просторового реагування. Це піднімає моніторинг на рівень стратегічного інструменту міського управління, здатного забезпечити сталий розвиток, безпеку та ефективне використання територій.

Інтеграція системного моніторингу в просторове планування та управління міською територією зумовлена низкою стратегічно важливих чинників, що формуються в умовах постійної просторово-функціональної динаміки урбанізованих середовищ. У сучасному місті кожне управлінське рішення – від зміни зонування до запуску інфраструктурного об'єкта – має наслідки, що впливають на екологічну ситуацію, навантаження на мережі, мобільність населення та якість життя загалом [11]. У цьому контексті моніторинг виступає як ключовий елемент управлінської аналітики, що дозволяє не лише фіксувати, а й прогнозувати зміни.

Першим і найбільш фундаментальним чинником інтеграції моніторингу в планування є необхідність управління ризиками. Урбанізоване середовище містить численні зони потенційної загрози: зсувонебезпечні території, інженерно незабезпечені схили, території з високим рівнем техногенного навантаження, об'єкти з підвищеним соціальним ризиком [12]. Моніторинг дозволяє виявляти відхилення у структурі земної поверхні, зміни у вологості ґрунтів, коливання в геометрії будівель, а також прогнозувати критичні стани. Його інтеграція в планувальні документи (генеральні плани, плани зонування, стратегії розвитку) дозволяє запобігати небезпечним сценаріям ще на стадії проєктування.

Другим важливим фактором є адаптивність просторового планування в умовах постійної змінності зовнішнього середовища. Раніше планування здійснювалося за інерційною моделлю з довгостроковими прогнозами, нині ж міста потребують динамічного управління, здатного враховувати оновлення в реальному часі. Наприклад, оперативне оновлення даних про трафік, забруднення повітря, споживання електроенергії або щільність забудови дозволяє формувати сценарії використання територій з мінімальним екологічним і соціальним навантаженням. Таким чином, моніторинг слугує датчиком реальності для містобудівного планування, допомагаючи переорієнтовувати пріоритети відповідно до поточних умов.

Третій чинник – забезпечення сталого розвитку міста, в якому планування більше не може базуватися лише на економічній доцільності, а має враховувати індикатори соціальної справедливості, енергоефективності, екологічної стійкості. Моніторинг, інтегрований у планувальну систему, дозволяє оцінювати ефекти від забудови на основі фактичних даних: змін у мікрокліматі, рівні доступу до інфраструктури, збереження природних коридорів, поведінкової мобільності мешканців [13]. Це сприяє формуванню аналітично підкріплених стратегій розвитку, що узгоджують інтереси інвестора, громади та влади.

Крім того, моніторинг є засобом координації між секторами: архітектурним, екологічним, транспортним, інженерним, земельним. Наприклад, дані з моніторингу можуть одночасно впливати на рішення щодо змін у схемі вуличного руху, інтенсивності забудови, формування рекреаційних зон. Завдяки цифровим

платформам моніторингу забезпечується синхронізація просторових рішень між різними галузями управління.

Узагальнено, необхідність інтеграції моніторингу у планувальну практику міста продиктована переходом від реактивного до превентивного управління, де дані стають основою кожного рішення – від рівня кварталу до рівня міської агломерації.

Рисунок 2 демонструє чотири основні чинники, що зумовлюють інтеграцію моніторингу у просторове управління: управління ризиками, динамічне реагування на зміни, підтримка сталого розвитку та галузева координація. Візуально відображено, як дані з моніторингових систем впливають на ключові функції міста, формуючи модель розумного, стійкого й прогнозованого урбаністичного розвитку.



Рис. 2. Необхідність інтеграції системного моніторингу у просторове планування міської території: стратегічні чинники та наслідки
(розроблено автором на основі [13])

Таким чином, сучасне місто не може існувати без інтегрованої системи моніторингу як інтелектуального підґрунтя планувального процесу, де кожне рішення – це не припущення, а результат аналізу, що базується на поточних і прогнозованих даних.

Висновок.

Системний моніторинг у сучасних урбанізованих територіях стає основою ефективного управління просторовими процесами. Його наукові основи базуються на інтеграції принципів системності, безперервності, адаптивності й міждисциплінарності. На відміну від традиційного контролю, моніторинг функціонує як аналітична платформа, що поєднує цифрові технології, просторову аналітику та управлінські рішення в єдиному середовищі. Використання GIS, IoT, супутникових даних і хмарних технологій забезпечує не лише фіксацію змін, а й прогнозування сценаріїв розвитку, виявлення ризиків та моделювання наслідків. Системний моніторинг формує основу для впровадження концепції Smart City, де

управління здійснюється на основі актуальних і прогностичних даних. Його реалізація дозволяє підвищити якість прийняття рішень, забезпечити збалансований розвиток міських систем і знизити соціально-екологічні ризики. Отже, наукове формування системного моніторингу є стратегічним напрямом розвитку урбаністичних досліджень, який поєднує науку, технології та управлінську практику задля створення стійких, адаптивних і цифрово інтегрованих міст майбутнього.

Список літератури:

1. A guide to setting up an urban observatory. URL: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/06/urban_observatory_guide.pdf
2. Гнатюк О.М. Просторові трансформації урбанізованих територій України периферійно-індустріального типу (на прикладі міст Запоріжжя і Жовті Води). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2017. № 46. С. 89–95. DOI: 10.26565/2410-7360-2017-46-09.
3. Плешкановська А.М. Функціонально-планувальна оптимізація використання міських територій: монографія. Київ: Логос, 2005. 190 с. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/64624>
4. Kumar S., & Singh R. Exploring 4D and 5D Analysis in BIM Environment for Infrastructures: A Case Study. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2023. Т. 12, № 3. Р. 45–52. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-233-2024>
5. Сталій розвиток міст та регіонів України в умовах євроінтеграції: збірник тез за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (м. Ірпінь, 27 листопада 2024 р.). Ірпінь: Державний податковий університет, 2024. 233 с. URL: <https://lnk.ua/5V1RZnwNd>
6. Приймаченко О.В., Кобзар О.В. Використання геоінформаційних технологій у вирішенні проблем з підтопленням територій. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. Вип. 49. С. 440–445.
7. Хоменко О., Петренко Г., Рижаківа Г., Петруха Н., Чуприна Ю., Малихіна О., Кушнір О. (2022). Сучасні інструменти та програмні продукти smart адміністрування будівельними організаціями в умовах трансформації операційних систем менеджменту. *Управління розвитком складних систем*, (52), 113–125.
8. Буряк О. І. Геоінформаційні системи в управлінні міським середовищем: інтеграція моніторингових даних для виявлення ризиків. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. Вип. 78. С. 112–119.
9. Михальчук І.В. Хмарні інформаційні середовища в управлінні урбаністичними даними: можливості та виклики. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2021. № 3(65). С. 45–52.
10. Просторове планування: містопланування, архітектура, політичні та соціокультурні засади. 36. наук. пр. Вип. I. В 2-х ч. Київ–Тернопіль: «Бескиди», 2020. Частина 1. 299 с.
11. Мамедов А., Денисенко Н. (2023). Економічні наслідки та проблеми повного відновлення територій. *Містобудування та територіальне планування*, (82), 220–231. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.82.220-231>
12. Innovative Approaches in Modern Science and Technology: Collection of Scientific Papers "International Scientific Unity" with Proceedings of the 1st International

Scientific and Practical Conference. March 26-28, 2025. Lisbon, Portugal. 336 p. URL: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/03/Lisbon_Portugal_26.03.25.pdf

13. Маркевич К. SMART-інфраструктура у сталому розвитку міст: світовий досвід та перспективи України. Видавництво “Заповіт”, 2021. 400 с. URL: <https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-%D0%A1YTI-SITE.pdf>

14. Tormosov R., Chupryna I., Ryzhakova G., Pokolenko V., Prykhodko D., Faizullin A. (2021). Establishment of the rational economic and analytical basis for projects in different sectors for their integration into the targeted diversified program for sustainable energy development. In *2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)* (pp. 1–9).

Kyrylo KRYVDA

Formation of scientific foundations for system monitoring under conditions of spatial and functional transformation of urbanized areas

System monitoring of urbanized areas emerges as a fundamental component of managing contemporary cities, where spatial and functional processes evolve with unprecedented speed and complexity. Its essence lies in the creation of a unified information and analytical environment that integrates ecological, social, engineering, and managerial parameters of urban development. Monitoring ensures continuous feedback between environmental dynamics and managerial decisions, forming the basis for forecasting, adaptation, and the adjustment of spatial strategies. In the digital era, this function expands through the use of Geographic Information Systems (GIS), sensor networks, satellite observation technologies, artificial intelligence, and cloud platforms that enable the integration of multi-level data in real time.

System monitoring of urban space takes on the features of an adaptive system capable of identifying trends, assessing relationships between spatial changes and socio-economic processes, and determining critical points of development. Its structure is based on the principles of systematization, continuity, scalability, integration, and flexibility. The core idea is that observation of the city should not be limited to recording its current state but should evolve into an intelligent mechanism for prediction and decision support. This approach transforms the role of monitoring – from a purely technical control tool into a strategic element of urban management.

Within the framework of spatial and functional transformation, system monitoring serves as a mechanism for balancing development, resilience, and environmental comfort. Its implementation enables timely responses to change, assessment of resource efficiency, identification of potential risks, and optimization of the urban spatial structure. The modern city functions as a complex, multi-level system in which every decision affects the environment, infrastructure, and quality of life. In this context, system monitoring becomes not only a technological platform but also a scientific concept that combines analysis, forecasting, and management into a single model. Its mission is to ensure the sustainable, safe, and flexible development of urban areas, where data become a strategic resource for shaping the future.

Keywords: *system monitoring, urbanized areas, spatial and functional transformation, geographic information systems, digital analytics, adaptive management, sustainable development, Smart City.*