

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.69.252-269>

УДК 712;721

**Криворучко Наталя Іванівна,**

*кандидат архітектури, доцент, доцент кафедри архітектури будівель і споруд*

*Харківського національного університету міського господарства*

*імені О.М. Бекетова*

[natalia.kryvoruchko@kname.edu.ua](mailto:natalia.kryvoruchko@kname.edu.ua)

<https://orcid.org/0000-0002-9851-8793>

**Тіماشков Максим Петрович,**

*магістр архітектури, аспірант кафедри архітектури будівель і споруд*

*Харківського національного університету міського господарства*

*імені О.М. Бекетова*

[maksym.timashkov@kname.edu.ua](mailto:maksym.timashkov@kname.edu.ua)

<https://orcid.org/0009-0006-0399-1235>

## **ПРОГРАМА «SPONGE CITY» ЯК СИСТЕМА МЕТОДІВ АДАПТАЦІЇ ДО ЗМІН КЛІМАТУ У РЕФОРМУВАННІ І ФОРМУВАННІ АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА**

**Анотація:** у даній статті проводиться аналіз впровадження концепції «Sponge city» у формуванні і реформуванні міського і архітектурного середовища, як комплексного методу адаптації до глобальних змін клімату з акцентуванням на регулюванні водними ресурсами в аспектах повеней, заболочень і підтоплень. На прикладі декількох міст застосування даної концепції, систематизовано методи адаптації і комплексні підходи для реформування існуючого міського і формування нового архітектурного середовища. На їх основі вироблено алгоритм дій впровадження цих методів і технологій, як програми зв'язку всіх масштабних рівнів між собою. Застосовуючи цю програму, на рівнях від регіону до окремої будівлі і навпаки, складається самовідновлююча система – «sponge-city-region-ecosystem» як комплекс інноваційних методів боротьби з повенями, підтопленнями, заболоченнями, надлишковими опадами, що сприяє адаптації до кліматичних змін і забезпечує сталість, безпеку і гармонійність середовища.

**Ключові слова:** «Sponge city»; сталий розвиток; архітектурне середовище; міське середовище; глобальне потепління; зміна клімату.

**Актуальність і постановка проблеми.** Міське середовище охоплює всі аспекти життя в місті, включаючи транспортні системи, зелені зони, соціальну інфраструктуру, економічну діяльність та соціальну взаємодію. Це середовище формує і підтримує соціальні зв'язки між мешканцями міста, забезпечуючи

простори для комунікації та спільної діяльності. Міське середовище включає всі аспекти економічної діяльності, такі як бізнеси, торгівлю, ринки праці та фінансові установи. У ньому важливу роль відіграють екологічні фактори, такі як управління відходами, повітряне та водне забруднення, парки та рекреаційні зони.

Архітектурне середовище головним чином зосереджено на дизайні, будівництві та функціонуванні будівель і споруд. Воно включає в себе естетичні та функціональні аспекти окремих будівель, а також їхню інтеграцію в міську тканину. Технічні аспекти проектування та будівництва, такі як використання матеріалів, інженерні рішення, забезпечення безпеки та комфорту, також відіграють значну роль. Архітектурне середовище є складовою частиною міського середовища і безпосередньо впливає на його функціонування. Добре спроектовані будівлі сприяють покращенню якості життя в місті, створюють комфортні умови для проживання та роботи. Міське середовище впливає на архітектурні рішення через потреби населення та економічні умови.

Але викликами на сьогодні є кліматичні зміни, які вимагають адаптації як міського, так і архітектурного середовища до нових умов. Це включає стійкість до екстремальних погодних явищ, енергоефективність будівель та збереження екологічного балансу.

Глобальне потепління все дедалі гостріше постає, як одна з основних проблем сучасності. Так, за звітом Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО), 2023 рік виявився найтеплішим за всю історію спостереження. За даний період спостереження було зафіксовано три антирекорди, серед яких рекордно високий рівень парникових газів, рекордно висока середня температура планети, а також рекордно високий рівень води світового океану [1]. Важливе місце у звіті ВМО займає інформація про стан водних ресурсів, особливо це стосується питної води, яка є обмеженим і надзвичайно важливим елементом життя на планеті Земля. За даними Всесвітньої метеорологічної організації близько 3,6 мільярда людей стикаються з нестатком води, а з сьогоднішніми негативними тенденціями глобального потепління ця цифра може збільшитись до п'яти мільярдів у 2050 році [2].

Через настільки серйозну зміну температури і водних ресурсів починає виникати проблема в балансі екосистеми планети, що впливає в почастишанні різних видів стихійних катастроф. Екологічні труднощі варіюються в залежності від регіону їх проявлення, проте одними з основних і наймасштабніших є проблеми пов'язані з повеннями і підтопленнями, які спричиняють серйозні проблеми для антропогенного середовища. Ці виклики показують, що глобальне потепління викликає великий спектр проблем, які тісно пов'язані між собою і

створюють велику небезпеку для сфер життєдіяльності людства в різних країнах світу (Рис. 1).



Рис. 1. Схема: проблеми балансу екосистеми планети (Автор Тіماشков М.П.)

Україна не є виключенням. З почастишанням природних катастроф, а саме повеней і підтоплень, виплили і інші труднощі. Українські міста не відповідають сучасним змінам клімату. А у зв'язку зі знищенням інфраструктури України, внаслідок повномасштабного вторгнення, актуалізується діяльність архітекторів і підвищується значення комплексного підходу до формування архітектурного середовища на всіх рівнях, який потребує взаємодію з урбаністами, геодезистами, представницькими органами місцевого самоуправління і іншими фахівцями, як відповідальних за життєдіяльність регіонів. Також, з реалізацією Програми відновлення України, роль архітектора у формуванні архітектурного середовища на різних масштабних рівнях, стає ваговою і ключовою. Це потребує впровадження нових архітектурних рішень для забезпечення сталості та безпеки міської інфраструктури.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Наукові праці останніх років показують актуальність даної проблеми у вирішенні питань повеней. Вони пов'язані з архітектурою сталого розвитку і пошуку балансу екосистеми [3,4]. Інші праці присвячені збереженню культурної ідентичності і зв'язку з навколишнім середовищем [5], а також, з кліматичними змінами [6]. Ряд робіт присвячено методу «басейнового підходу» і програмам управління водними ресурсами на рівні регіону (Рис. 2) [7].

Проаналізовані роботи зосереджені на засобах та прийомах формування архітектурного середовища для вирішення окремої проблеми в межах масштабу

свого застосування. Вони не розкривають метод адаптації до кліматичних змін, як програму зв'язку всіх масштабних рівнів у реформуванні існуючого і формуванні нового архітектурного середовища. Це і стає *проблемою наукової роботи*.

СХЕМА/РИСУНОК	ПРИНЦИП	ПРИЙОМ
	<b>ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОСИСТЕМ</b> захист синьо-зеленої системи міста від урбанізації та забруднення	Природні системи, які були скомпрометовані вторгненням або забрудненням, відновлюються повністю в функціонуючі системи.
	<b>УПОВІЛЬНЕННЯ /ЗАТРИМКА</b> затримка зливових стоків у дренажі, каналах та річках	Природний ґрунтовий покрив, дерева, ландшафт затримують зливи води, що призводить до зниження пікових стоків, збільшення часу затримки та потенційного зменшення втрат, пов'язаних із затопленням.
	<b>ЗБЕРЕЖЕННЯ</b> збереження дощової води в бочках, цистернах, резервуарах	Створення розподіленої мережі для зберігання води за допомогою резервуарів, що забезпечує більшу доступність її до місць споживання.
	<b>ВИВІЛЬНЕННЯ</b> випуск дощової води у водоносний горизонт для поповнення підземних вод	«Вивільнення» вимагає перетоку зі сховищ у водоносний горизонт, захисту природних зон живлення водоносних горизонтів і забезпечення чистоти ґрунтових вод

Рис. 2. Основні принципи і прийоми «басейнового підходу» [7]

**Мета статті.** *По-перше*, на основі аналізу практичного досвіду реалізації методів «Sponge city», систематизувати їх. *По-друге*, розкрити алгоритм впровадження їх у реформування *архітектурного середовища* на всіх масштабних рівнях як *комплексного підходу*.

*При цьому, гіпотетично, складається самовідновлююча система* – «sponge city–region–ecosystem» як комплексний метод боротьби з повеннями, підтопленнями, заболоченнями, надлишковими опадами, який можна назвати методом адаптації до кліматичних змін.

**Основна частина.** Однією з основних причин прискорення темпів глобального потепління є високі темпи промислового розвитку і глобального процесу урбанізації. Це призвело до все більшого використання ресурсів, що в свою чергу вплило у великі ризики для екології. Проблеми глобальної зміни клімату загострювалися не тільки зі збільшенням викидів в атмосферу, але й

сформованим в період пост індустріалізації міським середовищем, яке віддзеркалювало жадібний підхід у діяльності суспільства до обмежених ресурсів планети (Рис. 3).



Рис. 3. Основні проблеми екосистем викликані розвитком міста (Автор Тіماشков М.П.)

В багатьох країнах світу, почали відбуватися масштабні пост індустріальні процеси, що невдовзі вилилися у великі проблеми пов'язані з екологією. Населення міст збільшувалося шаленими темпами, при цьому будувалася вся необхідна інфраструктура, включаючи житло, заводи, дороги, тощо. Для підтримки такого шаленого розвитку використовувалися швидкі і не екологічні будівельні матеріали, а також застарілі методи формування міського середовища, в яких задля росту економіки нехтували екологічними проблемами. Збільшилися площі дорожньо-транспортних магістралей і покривель міст, які ускладнили проникнення води вглиб ґрунту, що призвело до збільшення міського стоку, зменшення відновлювальної спроможності підземних вод і викликало дефіцит питної води. Крім того, швидкий розвиток урбанізації загострив проблеми міських водних ресурсів. Ці зміни вплинули на природні умови, які проявилися в інтенсивніших штормах, підвищенні рівня прибережних вод, повенях, заболоченнях і надлишкових опадах і поставило країни перед вибором виживання.

Ці проблеми не обійшли такі країни – Індію, Бангладеш, Сінгапур, Китай, економіки яких на сьогодні динамічно розвиваються. Особливо це стосується Китаю, де цей розвиток спричинив забруднення і повітря, і водних ресурсів. У зв'язку з цим в країні, почалися розробки нових концепцій, прийомів і методів реформування архітектурного середовища з акцентуванням на питаннях вирішення проблем з надлишками опадів і відновленням екосистем.

Однією з таких концепцій стала програма створення «Sponge city», яка вперше була представлена у квітні 2012 року на форумі, пов'язаному з міським розвитком та технологіями з низьким рівнем викидів вуглецю у Шеньчжені. У 2015 році Міністерство житлового будівництва міських та сільських районів представило плани щодо впровадження «Sponge city» і було оголошено про

початок реалізації першої партії пілотних проєктів, яка включала 16 міст. На основі звітів було визначено, що навантаження на підземні стоки повинні складати *не менше 70% усіх опадів і тільки решту їх відводити у річки та озера* [8].

Планувалося, що до 2020 року кількість міст у Китаї, обладнаних сучасними дренажними системами та ефективною інфраструктурою, зросте до 20 %, а до 2030 року цей показник мав досягти 80 %. Практика «Sponge city» виявилася позитивною і її досвід вивчають і застосовують в містах Китаю, як при реформуванні архітектурного середовища, так і при формуванні нових кварталів, забудов і розширенні міст в цілому. Такий підхід спрямований на вирішення основних проблем: повені, забруднення води, нестача води, заболочення, деградація навколишнього середовища, різноманітні ризики міського середовища, такі, як великі викиди вуглекислого газу, теплові острови, деградація сільськогосподарських угідь, тощо. В рамках цих задач, реформування архітектурного середовища стає першочерговим. При цьому метод «Sponge city» розглядається як комплексний підхід і алгоритм дій, направлений на технології поглинання, зберігання, пропускання і очищення дощової води, що дає можливість використовувати накопичену воду для життєдіяльності міста і відновлювати екосистему всього регіону. Концепція і практика «Sponge city» стає *прийомом і методом адаптації до глобальних змін клімату*.

Місто Ухань стало одним з перших пілотних проєктів «Sponge city». Воно володіє розвиненою водною системою, завдяки якій набуло ім'я «місто ста озер». Через Ухань проходять близько 165 рік, серед яких дві головні – Янцзи і Хань. Також, тут розміщені 166 озер, приблизно 100 водоканалів і стільки ж водосховищ, що в цілому займають 25% усієї території міста [9]. У зв'язку з переважно низинним розташуванням міста, а також, розвиненою і обширною водною системою, регіон потерпає від інтенсивної заболоченості території, що стало однією з основних проблем. Велика кількість сміттєвих стоків потрапляла в природні водні екосистеми, що порушувало їх баланс і підвищувало заболоченість, знижуючи відновлювальну спроможність підземних вод. Всі ці проблеми поставили Ухань на перше місце по реалізації концепції «Sponge city». Місто поділили на чотири функціональні зони, що врахували основні аспекти території – площу; наявність системи водовідведення; зону відповідальності адміністративної служби даного району.

Перша – зона забороненої забудови. Сюди віднесли гори, історичні ділянки, природні заповідники та інші території, на яких неможлива, або заборонена будь яка будівельна діяльність. Друга – зона обмеженої забудови: лісопарки, сільськогосподарські угіддя, зони джерел водопостачання – території з

можливістю побудови певних об'єктів. Третя – пустуючі зони, які придатні для будівництва. Сюди входять не розбудовані території, які є пріоритетними для розвитку міста. Четверта – забудовані зони – ділянки з вже з сформованим міським середовищем, яке потребує структурної реконструкції та адаптації щодо глобальних змін клімату і переформування його в сучасне архітектурне середовище.

Даний розподіл дозволив виділити у макро-масштабі частину міської забудови, природні території для нових парків, а також, у мікро-масштабі елементи «зеленої» інфраструктури, важливі для відновлення екосистеми і покращення гідрологічних характеристик міста.

В свою чергу, ці складові були розділені на менші локальні ділянки (мікро-масштаб) за трьома характеристиками, де вже безпосередньо мала формуватися «губчата» інфраструктура. За першою – це близькість до річок і інших водних об'єктів, що підвищувало їх ризик бути затопленими і заболоченими. Друга характеристика ділянок – це наявність систем відведення і розподілу води. Третя – включала розміщену на ній забудову, а також, відповідальну за ділянку місцеву адміністрацію, що вирішувала питання економічного характеру. Таке детальне зонування дало можливість архітекторам і інженерам розробити найбільш раціональні рішення для кожної окремої ділянки і сформувати комплексну програму для всього регіону. Вона реалізується на рівнях від макро-масштабу до мікро-масштабу і навпаки.

До комплексного підходу мікро-рівня відносяться локальні елементи «губчатої» інфраструктури: зелена покрівля, водопроникне мощення, водно-болотні угіддя, резервуари зберігання води, інфільтраційні колодязі, трав'яні канали, сухі струмки, дощові сади, тощо. Дані рішення поділені на дві категорії: природні і штучні. В свою чергу, їх можна розділити за певними фізичними можливостями пов'язаними з водою, такими як: інфільтрація, утримання, зберігання, очищення, використання, відведення.

Серед поширених елементів «губчатої» інфраструктури є дощові сади, трав'яні канали і сухі струмки. Їх планують за системою водорозділів і тальвегів, що дає можливість регулювати зливові потоки. Трав'яна канава формується довгими смугастими за формою викопаними у землі заглибленнями, які інтегруються у природній рельєф ділянки і, на дні яких висаджуються трави і різноманітні види озеленення (Рис. 4).

Сухий струмок є другим лінійним елементом ландшафтного дизайну «губчастої» інфраструктури. Він виконує роль дренажної системи і покращує гідрологічні характеристики ділянок. Для цього русло засипається галькою різної фракції від 30 мм до 150 мм, що створює імітацію природнього струмка, а вздовж його берегів висаджується рослинність. Ці ландшафтні елементи

ефективно поглинають, очищують та транспортують стічну воду до спеціальних накопичувальних споруд, що дає можливість використовувати її у майбутньому.



Рис. 4. Схеми розрізів ландшафтних елементів «губчатої» інфраструктури  
 (Автор Тіماشков М.П.)

Також, вони допомагають покращити дренажну систему, усунути проблему неприємних запахів водойм, покращити ситуацію, пов'язану із заболоченням, що позитивно відобразилося на екології та економічній стабільності всього регіону. Концепція «Sponge city» Уханя є повністю інтегрованою в планування міста і впливає на його розвиток у майбутньому.

Ще одним прикладом застосування даної концепції є місто Пінгсян, КНР. Розташоване південніше Уханя, в вологому субтропічному кліматі із рясною кількістю нерівномірних опадів. Круті схили місцевості створюють швидкі і руйнівні потоки води. Промисловість міста значно погіршила місцеву екологію, забруднила місцеву гідрологічну систему, що призвело до знищення багатьох джерел водопостачання. Це викликало серйозну проблему нестачі води у всьому регіоні, а особливо для потреб промисловості. Негайним вирішенням цих проблем стало застосування концепції «Sponge city», в основі якої було виділено 4 цілі: поліпшення екології, формування архітектурного середовища для життєдіяльності соціуму, забезпечення його безпеки, збереження енерго-ресурсів. Для їх досягнення були використанні вище описані засоби і прийоми «губчатої» інфраструктури, впроваджених у місті Ухань, але з акцентуванням на розрахунках контролю та управління джерелами водопостачання, для стабільності і розвитку промисловості міста.

Дані заходи допомогли збільшити показник контролю річного стоку з 30 % до 75 %, покращили загальну якість води основних річок та озер, що відновило



цілу екосистему регіону, підвищили використання дощової води в промисловості і міській діяльності. Поновлення екосистеми регіону створило сприятливі умови для проживання, сформувало рекреаційну структуру регіону і тим самим забезпечило умови стабільного безпечного розвитку. Всі ці впровадження оновили і сформували якісне безпечне архітектурне середовище, яке сприяє відновленню екосистеми [10].

Ефективне застосування концепції «Sponge city» провели і в місті Хайкоу, яке розташоване на острові Хайнань, де випадає величезна кількість опадів, що є найбільшим показником з вище розглянутих міст. Це перша проблема. Друга – швидкий індустріальний розвиток міста спричинив серйозну шкоду місцевим водним структурам. Центральні райони міста мали приблизно 364 водойми, але бетонна водонепроникна площа доріг, тротуарів, покриттів будівель і споруд, майданів міста, витіснила природні озера і річки. Ці процеси призвели до повної зміни водної системи, погіршили гідрологічні характеристики місцевості, підвищили рівень ґрунтових вод, деякі річки взагалі зникли, а деякі були закопані в підземні колектори.

Третьою проблемою стала існуюча міська інфраструктура. Дорожня мережа, яка була прокладена без урахування систем природних акваторій, призвела до накопичення стічної води. Це спричинило затоплення низинних ділянок міста під час сильних дощів і загальне заболочування міських територій. Стрімка урбанізація і індустріалізація Хайкоу порушила екологію не тільки самого міста, а й усього оточуючого регіону і це спонукало до його реформування методами і засобами концепції «Sponge city».

*Першим етапом* реформування Хайкоу став науковий аналіз потреб водної екологічної системи. Місто має досить добре розвинену мережу водних шляхів, з найдовшою річкою під назвою Нанду, яка простягається на 75 км вздовж міста і має басейн площею 1300 квадратних кілометрів. Заболочена територія міста складала приблизно 7,6 % від усієї площі, а також місто має 9 водосховищ із загальним об'ємом у понад 150 мільйонів кубічних метрів. За допомогою даного аналізу було проведено *повний аудит водних ресурсів*, а також було визначено їх основні проблеми.

Однією з складних ділянок стала річка Мейше, яка з протяжністю 23 кілометри буквально прорізує центральні частини міста [11]. Вона проходить через щільно забудовані ділянки і впродовж вагомого періоду часу обростала новими проблемами. Впровадження окремих заходів, наприклад побудова бетонних стін контролю повеней, або поглиблення русла річки не були частиною єдиного комплексного підходу і тому погіршили ситуацію.

*Наступним етапом* впровадження концепції «Sponge city» стало визначення основних площ міста, здатних поглинати надлишкову воду. Такими

ділянками стали парки, які через свою велику кількість озеленення, відіграють ключову роль «губок» у поглинанні надмірних опадів [12]. При огляді традиційно запроектованих парків, було визначено їх основні недоліки, а також спроможності їх перетворення в більш сталі об'єкти, що можуть реалізувати концепцію «Sponge city». Так, основними проблемами парків були великі площі заощенні водонепроникними матеріалами. Також, була відсутня інтеграція ландшафтного дизайну території у природню структуру, яка б забезпечувала регулювання потоків стічної води.

На основі виявлених проблем для китайського Хайкоу, останнім етапом була реалізація концепції «Sponge city». Вона почалася з розробки методів збільшення водостійкості існуючих парків. Першим впровадженням стала заміна різних типів мощення водопроникними аналогами, які умовно можна розділити на дві групи. Перша включає в себе матеріали з окремими структурованими отворами для проходження води. Друга група – це мощення з матеріалів, яким самим властива водопроникність. До них відносяться водопроникні цеглини, проникний асфальт, кліматична плитка, тощо. Для такого типу мощення для більшої спроможності поглинати воду, були впроваджені технології підстилаючих шарів (Рис. 5). Вони мають кращу інфільтрацію, а також покращують процеси поповнення ґрунтових вод. Варто відмітити, що ділянки де неможливо провести заміну старого водонепроникного покриття, потребують розміщення по своєму периметру спеціальних систем-колодязів, які накопичують стічні води. Також, було реалізовані «плавучі» доріжки. Всі ці елементи були інтегровані у існуючий ландшафт з урахуванням специфіки його характеристик. Метод інтеграції інноваційних ландшафтних елементів в природню структуру рельєфу є прогресивним, професійним і розумним у формуванні архітектурного середовища міста. Він враховує наявні точки висот рельєфу, що дозволяє згрупувати і перенаправити потоки стічної води до накопичувальних колодязів, а також в русло річок методом «басейнового» підходу до 30 %.

Під час проектування «губчатого» парку використовується принцип мінімального втручання в оригінальний рельєф ділянки. При цьому глибоко аналізувалися характеристики дренажу (максимальний нахил руху води, склад і проникність ґрунту, тощо). Для покращення природних водопроникних можливостей парку, застосовувалися різноманітні заходи і прийоми, такі як *добавка органічних добрив*, що підвищують проникність наявного ґрунту (Рис. 6). Також, велику роль відігравав підбір рослинності, розміщеної на ділянці проектування, які накопичують і поглинають воду. Перевага під час вибірки віддавалася місцевим видам, які володіють розвиненою кореневою системою і стійкі до перезволоження. Крім того, рослинний покрив допомагає направленню

певних органічних речовин в ґрунт, що позитивно впливає на його структуру і характеристики, а також на всю екосистему.

Важливою функцією «губчатого» парку є не тільки *регулювання і поглинання надлишкової води, але й застосування її у подальших потребах*, наприклад миття доріжок, полив газонів і дерев.

При сучасних глобальних змінах клімату не вся стічна вода своєчасно просочується у ґрунт, тому для накопичення надлишку використовують *екологічні і штучні водосховища*. При їх проектуванні перевага віддається саме екологічним, які включають ставки, водно-болотні угіддя, тощо. Але при їхній не достатній спроможності накопичувати і зберігати воду, до них додаються штучні водосховища у формі закритих підземних резервуарів з строго розрахованою місткістю для найбільш раціонального об'єму.

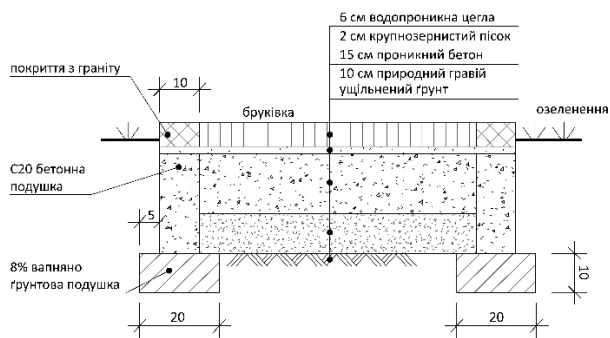


Рис. 5. Розріз водопроникного покриття з підстилаючими шарами (Автор Тімашков М.П.)

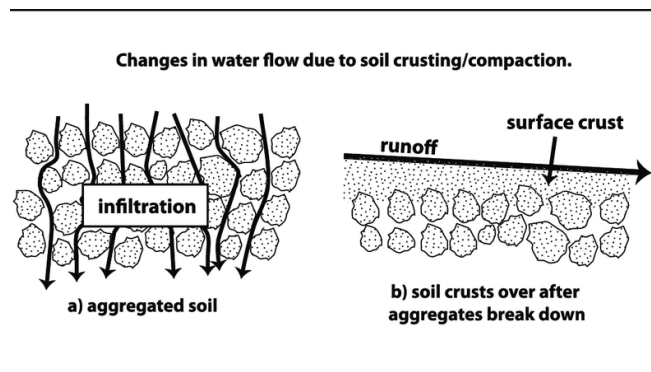


Рис. 6. Інфільтрація та стік води в добре агрегований і слабо агрегований ґрунт. [13]

Методика концепції «Sponge city» в системі «Sponge city – region – ecosystem» є інноваційним комплексним підходом до реформування та адаптації архітектурного середовища від регіону до локальних місць у відновленні екосистеми: водного балансу і його регуляції, вирішення проблем засух і повеней, заболочення і нестачі води, ерозії ґрунту, тощо.

На основі аналізу можна окреслити алгоритм впровадження концепції «Sponge city» у реформуванні існуючого і формуванні нового архітектурного середовища як системного методу адаптації до кліматичних змін від макромасштабу до мікро-масштабу:

1) Зробити повний науковий аналіз потреб водної екологічної системи: за допомогою точного аудиту джерел водопостачання (річок, озер, водосховищ, боліт, підземних вод, тощо) визначаються об'єми водних ресурсів і кількість необхідних водних ресурсів для регіону. Також, розраховуються кількість опадів

і їх перерозподіл де 70% зберігається у водосховищах, а 30 % направляються у водні структури в місцях проживання.

2) Визначення основних площ міста, здатних поглинати надлишкову воду.

3) Розробка методів збільшення водостійкості існуючих парків.

4) Визначення потенціалу міста у формуванні нових паркових зон.

5) На основі проєктних рішень створити перелік виконання робіт по будівництву трав'яних каналів, сухих струмків, водних каналів, «плаваючих» доріжок, очищення русл і збільшення глибини водойм і інших засобів для формування водостійкого архітектурного середовища.

6) Визначити існуючі і нові ділянки міста і прилеглих територій, а саме, різноманітні парки, ліси, бульвари, сквери, водно-болотні угіддя, які здатні поглинати і накопичувати опади. Реабілітувати їх методами рясного озеленення, водопроникного мощення, створення трав'яних каналів, сухих струмків, водних каналів.

7) Застосувати ландшафтні і архітектурні рішення для реформування або створення нового сталого архітектурного середовища, стійкого до змін клімату, а саме, покращити гідрологічні характеристики окремої ділянки, за рахунок водопроникного мощення, зливних систем покрівель, невеликих газонів, правильно підібраних видів рослин.

**Висновки.** Можна констатувати, що в основі концепції «Sponge city» лежать *принципи інтеграції і адаптації архітектурного середовища до кліматичних змін*. Концепція «Sponge city» включає в себе цілу низку системних заходів. По перше, на основі наукового аналізу, який має регіональну специфіку, виявляються проблеми регіону і розробляється програма їх вирішення. Аналіз може включати потреби водної екологічної системи, виявлення інтенсивності заболоченості території, ризику водного управління, у зв'язку з урбанізацією території міст, що порушувало їх водний баланс і підвищувало заболоченість, знижуючи відновлювальну спроможність підземних вод і інше, що відноситься до всього регіону в межах річкового басейну. По друге, програма вирішення проблем стає стратегічною і розбивається на етапи, які включають технічні, екологічні і економічні характеристики. Концепція є гнучкою, залежить від загальних і специфічних, регіональних і локальних факторів.

Визначено, що на основі стратегії «Sponge city» навантаження на підземні стоки у міських зонах повинно складати не менше 70 % усіх опадів і тільки решту їх потрібно відводити у річки та озера. Це сприяє відновленню регіональних екосистем, особливо у великих мегаполісах, де актуалізується проблема управління водними ресурсами.

Крім цього, варто відзначити, що досягнення балансу водної екологічної структури досягається через реформування існуючого та створення нового

архітектурного середовища, гармонійно інтегрованого в природний рельєф ділянки. Завдяки такому підходу, водний баланс і вся екосистема регіону отримують можливість для самовідновлення, що забезпечує довготривалу стійкість та екологічну рівновагу.

Також, можна виділити і систематизувати основні методи у реформуванні існуючого та формуванні нового архітектурного середовища в рамках стратегії «Sponge city», (Рис. 7).

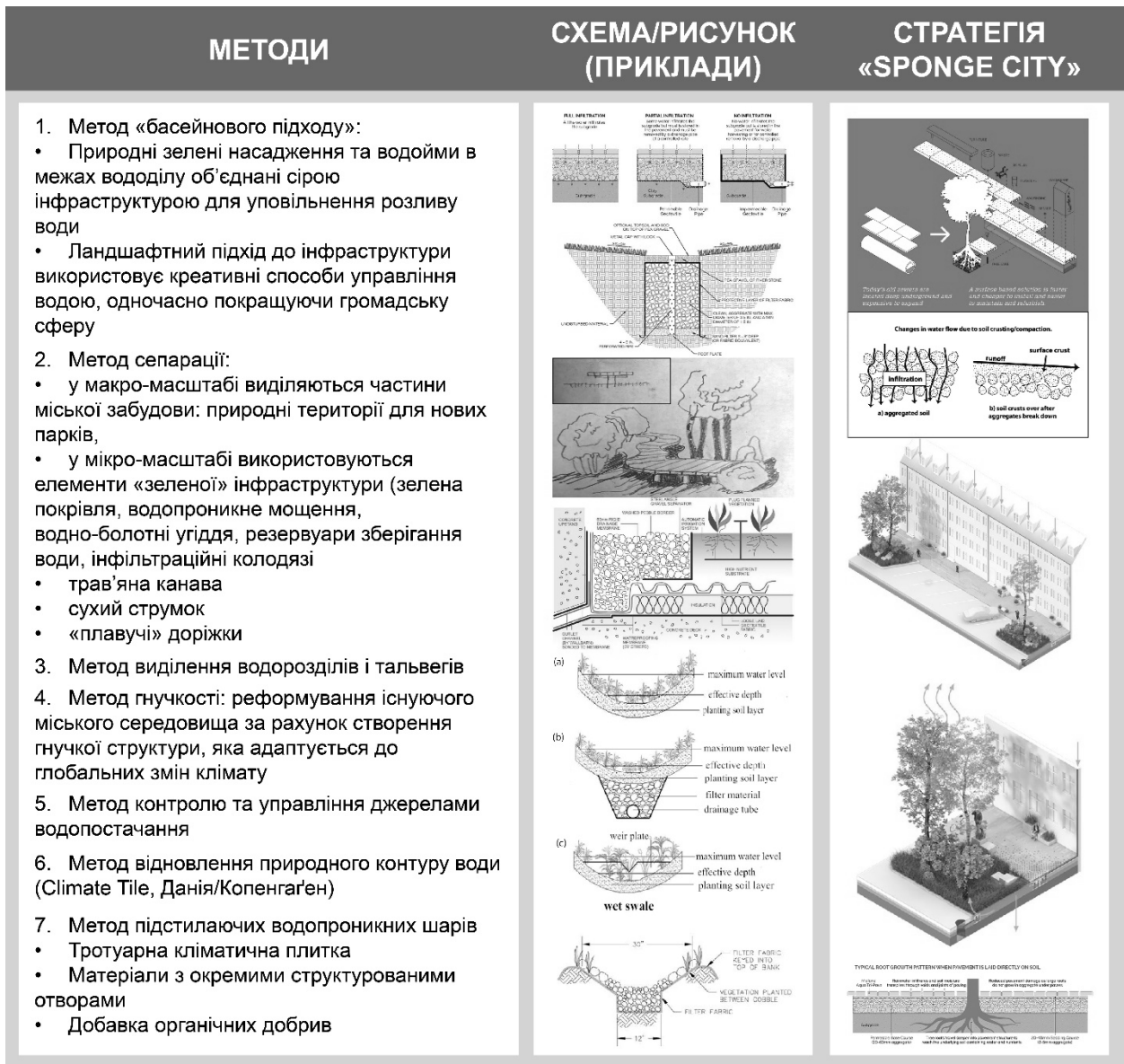


Рис. 7. Методи адаптації до кліматичних змін у реформуванні існуючого та формуванні нового архітектурного середовища в рамках стратегії «Sponge city» [13-19]

*Метод адаптації* реалізується реформуванням існуючого міського, а також формування нового архітектурного середовища за рахунок створення гнучкої

структури, яка підлаштовується до глобальних змін клімату. Цей метод сприяє не тільки покращенню інженерно-технологічної системи міста, а й формують його образ, гармонію і сталість.

На основі методів «Sponge city» і «басейнового» підходу утворюється нове архітектурне середовище яке відповідає програмі сталого розвитку.

Концепція «Sponge city», в якій існуючі методи і прийоми весь час удосконалюються, є інноваційною і комплексною програмою реформування існуючого і формування нового архітектурного естетичного і безпечного середовища. При її впровадженні створюється цілісна структура, інтегрована в природній ландшафт, яка стає само-генеруючою системою – «sponge city-region-ecosystem» як комплексний метод боротьби з повеннями, підтопленнями, заболоченнями, надлишковими опадами, який можна назвати методом адаптації до кліматичних змін.

Технології, розвиток і застосування концепції «Sponge city», є актуальною і необхідною для подальшого дослідження і впровадження в рамках економічної, екологічної та соціальної сталості.

#### Список джерел

1. 2023 shatters climate records, with major impacts. *WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION*. 2023. URL: <https://wmo.int/news/media-centre/2023-shatters-climate-records-major-impacts> (дата звернення 12.04.2024)
2. State of Global Water Resources report informs on rivers, land water storage and glaciers. *WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION*. 2022. URL: <https://wmo.int/news/media-centre/state-of-global-water-resources-report-informs-rivers-land-water-storage-and-glaciers> (дата звернення 12.04.2024)
3. van Ellen L.A., Bridgens B.N., Burford N., Heidrich O. Rhythmic Buildings- a framework for sustainable adaptable architecture. *Building and Environment*. 2021. Vol 203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108068>
4. Akar U., Doraj P., Yilmaz S. Concept in sustainable architecture and critical approaches on the ecological effect. *The journal of international social research*. 2020. Vol 13(69). DOI: : <http://dx.doi.org/10.17719/jisr.2020.3988>
5. Dash S.P., Shetty D. Cultural Identity in Sustainable Architecture. *RSP Science Hub*. 2020. Vol. 2(7). DOI: <https://doi.org/10.47392/irjash.2020.81>
6. Тіماشков М. Методи і прийоми формування архітектурного середовища в умовах глобальної зміни клімату: проблеми повеней і підтоплень. *Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування*. 2024. Вип. 68. С. 335-348. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.68.335-348>

7. Biswan S.K., Raj P., RS L., Balaganesan B., Kp S., The Sponge Handbook: Chennai - Using the Landscape Approach to transform the South Buckingham Canal Area. *GIZ*. 2019. 15 с
8. Zongmin L., Shuyan X., Liming Y. A Systematic Literature Mining of Sponge City:Trends, Foci and Challenges Standing Ahead. *Sustainability*. 2018. Vol 10(4). P. 1182. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10041182>
9. Peng Y., Reilly K. Using Nature to Reshape Cities and Live with Water: An Overview of the Chinese Sponge City Programme and Its Implementation in Wuhan. *Grow Green*. 2021. 23 с.
10. Han X., Wu Y. Construction and Application of “the Sponge City” in Different Precipitation Regions: Case Studies in Pingxiang and Ji’nan, China. *Energy Procedia*. 2019. Vol 159. P. 207-212.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.052>
11. Case study 3: Meishe River Greenway and Fengxiang Park. *Ebrary.net*. URL: [https://ebrary.net/319056/sociology/meishe\\_river\\_greenway\\_fengxiang\\_park](https://ebrary.net/319056/sociology/meishe_river_greenway_fengxiang_park) (Дата звернення 14.04.2024)
12. Xu X., Chen Z. A Study on Stormwater Management in Haikou City Park Based on the Sponge City Concept. *JOURNAL OF TROPICAL BIOLOGY*. 2020. Vol 11(3). DOI: <https://dx.doi.org/10.15886/j.cnki.rdswwb.2020.03.014>
13. John Idowu O., Angadi S. Understanding and Managing Soil Compaction in Agricultural Fields. *NM State University, Cooperative Extension Service*. 2013. URL: [https://www.researchgate.net/publication/289602424\\_Understanding\\_and\\_Managing\\_Soil\\_Compaction\\_in\\_Agricultural\\_Fields](https://www.researchgate.net/publication/289602424_Understanding_and_Managing_Soil_Compaction_in_Agricultural_Fields) (Дата звернення 14.04.2024)
14. Sidewalks that Mitigate Climate Change. *NurtureStructure*. URL: <https://nurturestructure.com/sidewalks-that-mitigate-climate-change/> (Дата звернення 14.04.2024)
15. What are intensive green roofs?. *Wallbarn*. URL: <https://www.wallbarn.com/green-roofs/more-about-green-roofs/what-are-intensive-green-roofs/> (Дата звернення 14.04.2024)
16. Permeable Paving. *Midland Brick*. URL: <https://www.midlandbrick.com.au/Products/Pavers/Permeable-Paving> (Дата звернення 14.04.2024)
17. Momoka J. Create Infiltration Wells. *Medium*. 2016. URL: <https://medium.com/@digaweselo/create-infiltration-wells-49289e098837> (Дата звернення 14.04.2024)
18. Hao M., Gao C., Sheng D., Qing D. Review of the influence of low-impact development practices on mitigation of flood and pollutants in urban areas. *Desalination and Water Treatment*. 2019. Vol 149. P. 323-328. DOI: <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2019.23852>

19. Swales. *Santacruz Watersavingplants*. URL: <https://www.santacruz.watersavingplants.com/Garden-Resources/Swales.php> (Дата звернення 14.04.2024)

#### References

1. 2023 shatters climate records, with major impacts. *WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION*. 2023. [Electronic resource]. Access mode: <https://wmo.int/news/media-centre/2023-shatters-climate-records-major-impacts> (date of application 12.04.2024) (in English)
2. State of Global Water Resources report informs on rivers, land water storage and glaciers. *WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION*. 2022. [Electronic resource]. Access mode: <https://wmo.int/news/media-centre/state-of-global-water-resources-report-informs-rivers-land-water-storage-and-glaciers> (date of application 12.04.2024) (in English)
3. L.A. van Ellen, B.N. Bridgens, N. Burford, O. (2021) Heidrich, Rhythmic Buildings- a framework for sustainable adaptable architecture. *Building and Environment*, 203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108068> (in English)
4. Akar U., Doraj P., Yilmaz S. (2020). Concept in sustainable architecture and critical approaches on the ecological effect. *The journal of international social research*, 13(69). doi: <http://dx.doi.org/10.17719/jisr.2020.3988> (in English)
5. Dash S.P., Shetty D. (2020). Cultural Identity in Sustainable Architecture. *RSP Science Hub*, 2(7). doi: <https://doi.org/10.47392/irjash.2020.81> (in English)
6. Timashkov M.P. (2024). Metody i pryomy formuvannia arkhitekturnoho seredovyscha v umovakh hlobalnoi zminy klimatu: problemy povenei i pidtoplen. [Methods and techniques of architectural environment forming under the conditions of global climate change: the problems of flooding]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*., Vyp(№68), P. 335-348. doi: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.68.335-348> (in Ukrainian)
7. Biswan S.K., Raj P., RS L., Balaganesan B., Kp S., The Sponge Handbook: Chennai - Using the Landscape Approach to transform the South Buckingham Canal Area. *GIZ*. 2019. P. 15. (in English)
8. Zongmin L., Shuyan X., Liming Y. A (2018). Systematic Literature Mining of Sponge City:Trends, Foci and Challenges Standing Ahead. *Sustainability* 10(4), 1182. doi: <https://doi.org/10.3390/su10041182> (in English)
9. Peng Y., Reilly K. Using Nature to Reshape Cities and Live with Water: An Overview of the Chinese Sponge City Programme and Its Implementation in Wuhan. *Grow Green*. 2021. P. 23. (in English)
10. Han X., Wu Y. (2019). Construction and Application of “the Sponge City” in Different Precipitation Regions: Case Studies in Pingxiang and Ji’nan, China. *Energy*



*Procedia*, 159, 207-212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.052> (in English)

11. Case study 3: Meishe River Greenway and Fengxiang Park. *Ebrary.net*. [Electronic resource]. Access mode: [https://ebrary.net/319056/sociology/meishe\\_river\\_greenway\\_fengxiang\\_park](https://ebrary.net/319056/sociology/meishe_river_greenway_fengxiang_park) (date of application 14.04.2024) (in English)

12. Xu X., Chen Z. A (2020). Study on Stormwater Management in Haikou City Park Based on the Sponge City Concept. *JOURNAL OF TROPICAL BIOLOGY*, 11(3). doi: <https://dx.doi.org/10.15886/j.cnki.rds wxb.2020.03.014> (in English)

13. John Idowu O., Angadi S. Understanding and Managing Soil Compaction in Agricultural Fields. *NM State University, Cooperative Extension Service*. 2013. [Electronic resource]. Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/289602424\\_Understanding\\_and\\_Managing\\_Soil\\_Compaction\\_in\\_Agricultural\\_Fields](https://www.researchgate.net/publication/289602424_Understanding_and_Managing_Soil_Compaction_in_Agricultural_Fields) (date of application 14.04.2024) (in English)

14. Sidewalks that Mitigate Climate Change. *NurtureStructure*. [Electronic resource]. Access mode: <https://nurturestructure.com/sidewalks-that-mitigate-climate-change/> (date of application 14.04.2024) (in English)

15. What are intensive green roofs?. *Wallbarn*. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.wallbarn.com/green-roofs/more-about-green-roofs/what-are-intensive-green-roofs/> (date of application 14.04.2024) (in English)

16. Permeable Paving. *Midland Brick*. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.midlandbrick.com.au/Products/Pavers/Permeable-Paving> (date of application 14.04.2024) (in English)

17. Momoka J. Create Infiltration Wells. *Medium*. 2016. [Electronic resource]. Access mode: <https://medium.com/@digaweselo/create-infiltration-wells-49289e098837> (date of application 14.04.2024) (in English)

18. Hao M., Gao C., Sheng D., Qing D. (2019). Review of the influence of low-impact development practices on mitigation of flood and pollutants in urban areas. *Desalination and Water Treatment*, 149, 323-328. doi: <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2019.23852> (in English)

19. Swales. *Santacruz Watersavingplants*. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.santacruz.watersavingplants.com/Garden-Resources/Swales.php> (date of application 14.04.2024) (in English)

## Annotation

**Natalia Kryvoruchko**, candidate of architecture, docent, docent of the department of architecture of buildings and structures, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.

**Maksym Timashkov**, master of architecture, postgraduate student of department of architecture of buildings and structures, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

**The "sponge city" program as a system of adaptation methods to climate changes in reforming and forming the architectural environment**

This article analyzes the implementation of the «Sponge city» concept in the formation and reform of the urban and architectural environment, as a comprehensive method of adaptation to the problems caused by climate change, which was caused by the global warming of our planet. In this concept, the emphasis is on the regulation of all types of water resources in the aspects of floods, swamps and inundations. One of the main reasons for accelerating the pace of global warming is rapid industrial development and urbanization. This led to increased use of resources, including water, which created major environmental risks. The problems of climate change have worsened not only due to the growth of gas emissions into the atmosphere, but also due to the rapid and unplanned urbanization of the urban environment, which was formed in the post-industrial period and reflects the greedy approach of society to the limited resources of the planet. Due to this, large-scale post-industrial processes took place in many countries of the world, which led to significant environmental problems. The urban population grew at a rapid rate, with the simultaneous construction of the necessary infrastructure, including housing, factories and roads. Such processes also took place in the People's Republic of China, due to which the issue of regulating water resources was raised in the country, and the concept of "Sponge city" was applied as an answer. On the example of several Chinese cities of Wuhan, Pingxiang and Haikou, where this concept was successfully applied, adaptation methods and complex approaches for reforming the existing urban and forming a new architectural environment were systematized. Based on them, an action algorithm for the implementation of these methods and technologies was developed as a program of communication of all large-scale levels among themselves. Applying this program, at the levels from the region to an individual building and vice versa. A self-regenerating system is formed - a "sponge city-region-ecosystem" as a complex of innovative methods of combating floods, inundation, wetlands, excess precipitation, which promotes adaptation to climate changes and ensures sustainability, safety and harmony of the environment.

Keywords: «Sponge city»; sustainable development; architecture environment; urban environment; global warming; climate change.