УДК 351.861

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ АКУСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЖЕРЕЛ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ У КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ КОНЦЕПЦІЇ «SMART CITY»

https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.2.58-76

Тютюник В. В.[1]*, ORCID iD 0000-0001-5394-6367
Тютюник О. О.[2], ORCID iD 0000-0002-3330-8920
Усачов Д. В.[1] ORCID iD 0000-0002-1140-9798
*E-mail: tutunik_v@ukr.net

[1]*Національний університет цивільного захисту України, Україна*
[2]*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 09.10.2023
Пройшла рецензування: 26.10.2023

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

Smart city, Safe city, надзвичайна ситуація, безпека життєдіяльності міста, система акустичного моніторингу надзвичайних ситуацій, контроль акустичного простору міста, спектральний аналіз, пасивна локація джерел небезпек, система ситуаційних центрів, ухвалення управлінських антикризових рішень.

АНОТАЦІЯ

Викладено основні принципи створення в моделі «Safe city» системи «Smart city» підсистеми контролю акустичного простору міста з подальшим отриманням й обробкою інформації, а також прогнозуванням виникнення на території міста надзвичайних ситуацій (далі – НС) різного характеру та розробленням ефективних управлінських антикризових рішень. Системний підхід використання спектрального аналізу акустичного середовища міста, який був запропонований для створення цієї підсистеми, слугує підгрунтям для подальших досліджень, спрямованих на створення ефективної системи контролю акустичного простору та контрольованої локації джерел небезпеки на прилеглій території.

Постановка проблеми. Сучасні міста як частини системи державного управління є складними та розгалуженими структурами, які згідно з даними [1–6] розташовані у просторі та часі та мають різні параметри життєдіяльності, такі як чисельність населення (невелика, мала, середня, велика тощо) і різноманітні функції, такі як промислові, транспортні, наукові, історичні та багатогалузеві.

Розвиток інфраструктури, будівництво доріг та комунікаційних систем мають значущий вплив на рівень розвитку міст. Згідно з прогнозами експертів ООН у найближчі 15 років збільшення міського населення триватиме і може становити понад 60% від загального населення Землі.

Крім того, місто не є просто скупченням матеріальних об’єктів, таких як житлові і промислові будівлі, комунікаційні мережі тощо; це цілісна, складна та динамічна система, в якій спільно діють люди, природа, економіка і суспільство.

Але важливо враховувати, що міста відповідно до даних [7–13] у процесі свого функціонування та розвитку можуть створювати передумови для виникнення небезпек, які можуть негативно впливати на стан навколишнього середовища, економічну ситуацію та соціально-політичний баланс як на території міста, так і в регіоні, а також можуть загрожувати національним інтересам.

Один зі способів підвищення безпеки в сучасних містах – це створення ситуаційних центрів у рамках концепції Smart city. Ці центри за даними [14–16] мають бути обладнані ефективною геоінформаційною системою для моніторингу міської території з метою виявлення та ідентифікації джерел різноманітних небезпек.

Водночас в Україні згідно з [17–21] функціонує єдина державна система цивільного захисту (далі – ЄДСЦЗ) з метою виконання державної політики у сфері цивільного захисту. Вона

складається з функціональних та територіальних підсистем і спрямована на розв'язання завдань забезпечення безпеки території держави, зокрема у разі НС.

Залишаються відкритими для держави питання щодо впровадження системного підходу та застосування даних [22] у функціях моніторингу й розроблення ефективних управлінських рішень в ЄДСЦЗ щодо попередження, локалізації та ліквідації наслідків НС, які виникають внаслідок різних видів небезпек [23].

Це вказує на необхідність негайного введення в структуру ЄДСЦЗ різних функціональних компонентів територіальної підсистеми моніторингу НС та складових ситуаційних центрів на всіх рівнях від об'єктового до державного. За даними [24] ця інтеграція на рівнях інформаційної та виконавчої діяльності спрямована на ухвалення відповідних антикризових рішень для розв'язання різних завдань моніторингу, запобігання та ліквідації НС природного, техногенного, соціального та воєнного характеру.

Таким чином, одним із актуальних напрямів розвитку концепції «Smart city» є розроблення у ЄДСЦЗ підсистем ситуаційних центрів та моніторингу НС. Функціональною основою цих підсистем є створення елементів штучного інтелекту щодо автоматизованого виявлення на території міста джерел небезпек, з подальшою обробкою даних для інформаційної підтримки ухвалення антикризових рішень щодо запобігання, локалізації та ліквідації наслідків НС природного, техногенного, соціального та воєнного характеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У багатьох наукових публікаціях як вітчизняних, так і іноземних приділяється увага дослідженню концепції «Smart city». В цих розвідках поняття «розумне місто» визначається як система управління міською інфраструктурою, яка використовує інформаційні та комунікаційні технології, спільно з Інтернетом речей (далі – IoT). Крім того, концепція «Smart city» включає в себе роботу IT-додатків, які дають змогу мешканцям міста використовувати державні послуги.

Так, згідно з [25–32] основна ідея концепції «Smart city» полягає в підвищенні ефективності функціонування міста. Основними характеристиками розумного міста є: розумна економіка, розумна мобільність, розумне ставлення до навколишнього середовища, розумні мешканці, розумний спосіб життя та розумне управління. Це надає можливості виділити шість основних показників смартекономіки міста: здатність до інновацій, рівень розвитку підприємництва, економічний образ і бренд міста, економічна продуктивність, гнучкість ринку праці та участь у міжнародних економічних процесах.

Для визначення рівня смартмобільності враховують такі фактори, як можливість безпечного переміщення в усі райони міста, доступність міста на національному і міжнародному рівнях, доступність ІКТ-інфраструктури, зокрема мережі «Інтернет», а також стійка, інноваційна та безпечна транспортна система.

Крім того, розвиток сучасного міста, як показано на рис. 4, неможливий без урахування екологічних аспектів. Отже, розумні міста характеризуються елементами, які відображають відповідальний підхід до довкілля, зокрема рівень забруднення повітря, рівень обурення станом навколишнього середовища та рівень розвитку сталого використання ресурсів.

Головною складовою розумного міста є самі громадяни, тому успішність розвитку міста безпосередньо залежить від їх освіти, бажання навчатися, гнучкості та готовності до активної участі в суспільному житті.

Під час проведення аналізу розумного способу життя розглядаються умови, що формують резидентів розумного міста, такі як наявність культурних споруд, стан здоров'я населення, рівень безпеки громадян, якість

житла та якість комунальних послуг, доступність освіти, привабливість для туристів та соціальна спільнота міста.

Під час дослідження складової «Smart governance» виділяються три ключові фактори, які вказують на ефективне управління містом: участь громадян в ухваленні рішень щодо життя та розвитку міста, функціонування громадських і соціальних служб, прозорість у діяльності органів управління.

Автоматизація цих процесів згідно з даними [33–37] можлива за допомогою застосування спеціальних датчиків та програмних продуктів. Водночас для збору та аналізу інформації можуть використовуватися різні системи, такі як «Smart metering» (інтелектуальні лічильники), системи управління відходами, розумне освітлення, екологічний моніторинг тощо. Ці системи можуть надавати детальну інформацію для ефективного моніторингу та управління міськими ресурсами, що дає змогу реагувати на виникнення аварійних ситуацій та забезпечувати безперебійне функціонування міста.

Так, Smart metering – це інтелектуальні лічильники, які здійснюють докладний аналіз споживчих показників та надають можливість якісно моніторити інформацію для обчислення комунальних послуг. Крім цього, система, заснована на датчиках тиску, може виявити наявність аварій на конкретних ділянках водопроводу та газопроводу й автоматично повідомити відповідні комунальні служби. Це дає їм змогу оперативно втрутитися у ситуацію та провести необхідні ремонтні роботи, мінімізуючи збитки.

Система управління відходами (Waste management) містить процеси збору, транспортування та обробки відходів з метою мінімізації негативного впливу відходів на природне середовище та здоров'я громадян. Крім того, в систему управління відходами входить використання спеціальних датчиків у сміттєвих контейнерах, які аналізують інформацію про рівень наповненості та надсилають сигнали, коли необхідно вивезти вміст контейнера. Це дає змогу здійснювати раціональний розподіл робочої сили та техніки, що сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів комунальних служб міста.

Система розумного освітлення дає змогу налагодити міське освітлення та зробити простір більш безпечним за умов зниження витрат на оплату електроенергії. Це можливо реалізувати за допомогою оснащення вуличних ліхтарів лампами зі спеціальними датчиками руху. Датчики також можуть регулювати рівень освітленості залежно від пори року.

Екологічний моніторинг теж належить до проєктів «Smart city», які включають довгострокові спостереження за станом навколишнього середовища та дають змогу спрогнозувати небезпечні зміни як природних, так і техногенних чинників.

Управління світлофорами надає можливість організувати безпечний та зручний рух автотранспорту в місті. Ця система за допомогою автоматизації визначає можливість руху на дорогах залежно від щільності руху автотранспорту, що дає змогу зменшити кількість аварійних ситуацій на автошляхах та дорожньо-транспортних пригод у місті, а також збільшити рівень комфорту керування транспортними засобами.

У систему «розумна зупинка» входять електронні дисплеї, які відображають інформацію про рух автобусів і тролейбусів. Ці дисплеї показують, скільки часу залишилося до прибуття міського транспорту. Крім того, висвітлюється інформація про рівень заторів на дорогах.

Розумний паркінг є незамінною технологією для мегаполісів, яка активно використовується в країнах ЄС. До складу цієї системи входять спеціальні датчики, що допомагають знайти вільне місце та припаркувати машину, а також проконтролювати оплату за паркування.

Smart ticket – це ще одна популярна технологія, яка полегшує користування

громадським транспортом, надаючи можливість пасажирам оплачувати свої квитки онлайн. Це сприяє підвищенню комфорту оплати проїзду, а також посиленню контролю за пасажирським громадським транспортом.

Разом із перерахованими вище підсистемами, які спрямовані на підвищення якості функціонування комунальних служб міста та комфорту життєдіяльності його мешканців, до концепції «Smart city» має входити підсистема «Safe city». На сьогодні основними складовими цієї підсистеми є лише камери зовнішнього спостереження, які мають фіксувати небезпечні події та допомагати у розслідуванні злочинів, зокрема пограбувань, нападів, викрадень машин тощо.

Зворотним боком розміщення територією міста лише великої кількості камер зовнішнього спостереження є низька ефективність роботи операторів служб безпеки міста щодо обробки отриманої інформації, а внаслідок цього несвоєчасне виявлення джерел небезпек та велика інерційність ухвалення ефективних антикризових рішень.

Ці обставини вказують на необхідність інтегрування в підсистему Safe city додаткових автоматизованих датчиків контролю різних джерел небезпек, які працюють на різних фізико-хімічних принципах. Розроблення такої системи моніторингу джерел НС дасть змогу об’єднати функції спостереження та обробки інформації про джерела небезпеки, а також функції прогнозування виникнення на території міста НС різного характеру (з напрацюванням ефективних управлінських антикризових рішень надалі) в єдиний центр управління службами безпеки та комунальними службами міста.

Одним із напрямів раннього виявлення на території міста джерел НС різного характеру згідно з даними [38–39] є контроль акустичного простору міста за допомогою наземних стаціонарних автоматичних аналізаторів сигналів у акустичному діапазоні.

Формулювання цілей дослідження. Метою дослідження є розвиток науково-технічних основ розроблення в межах концепції «Safe city» системи автоматизованих засобів для контролю акустичного простору та пасивного визначення джерел потенційної небезпеки з подальшим отриманням та обробкою інформації, а також прогнозування виникнення на території міста НС і напрацювання ефективних управлінських антикризових рішень.

Особливості функціонування в моделі «Safe city» системи моніторингу акустичного простору території міста досліджено за допомогою використання методу структурно-функціонального моделювання, який реалізовано через застосування програмного продукту Ramus educational за стандартом IDEF0 [40–41]. Цей програмний продукт має змогу надати алгоритм процесу як діаграми та наочно показати послідовність процесів забезпечення відповідного рівня життєдіяльності міста в умовах наступного завдання: визначити сутність структурно-функціонального підходу з використанням стандарту IDEF0 і побудувати модель для опису процесу спостереження та обробки інформації про джерела небезпеки, а також прогнозування виникнення на території міста НС різного характеру з подальшим розробленням ефективних управлінських антикризових рішень.

Результати структурно-функціонального моделювання дали змогу створити наочну модель та відтворити учасників процесу забезпечення відповідного рівня життєдіяльності міста. Це допомогло розробити послідовність дій щодо стратегічного розвитку в загальній системі «Smart city» підсистеми «Safe city» з урахуванням створення на території міста системи моніторингу акустичного простору його території, керуючих потоків нормативно-правової бази та наявності відповідних механізмів (ресурсів).

Рисунок 1 – Контекстна діаграма системи функціонування міста

Джерело: розробка авторів

Моделювання процесів забезпечення відповідного рівня життєдіяльності міста проведено у декілька етапів. На першому етапі здійснено побудову контекстних діаграм функціонування міста (блок А0 на рис. 1) з подальшою декомпозицією його процесів (рис. 2). На цих діаграмах наведено: вхідні (соціальні, енергетичні, фінансові, транспортні та матеріально-технічні) потоки; вхідні (фінансові, природні, техногенні, соціальні, військові та інформаційні) загрози для нормального функціонування міста; вихідні потоки, які характеризуються соціально-демографічними та фінансово-економічними показниками; вихідні потоки, які характеризуються рівнями економічної, соціальної, інформаційної, екологічної, науково-технічної, військової небезпеки та рівнем виникнення НС у місті; механізми та керуючі впливи. До механізмів впливу належать: місцеві органи влади, служби міста; служби безпеки міста, а до управлінського впливу – законодавство України, постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України, укази та розпорядження Президента України, розпорядження виконавчої влади.

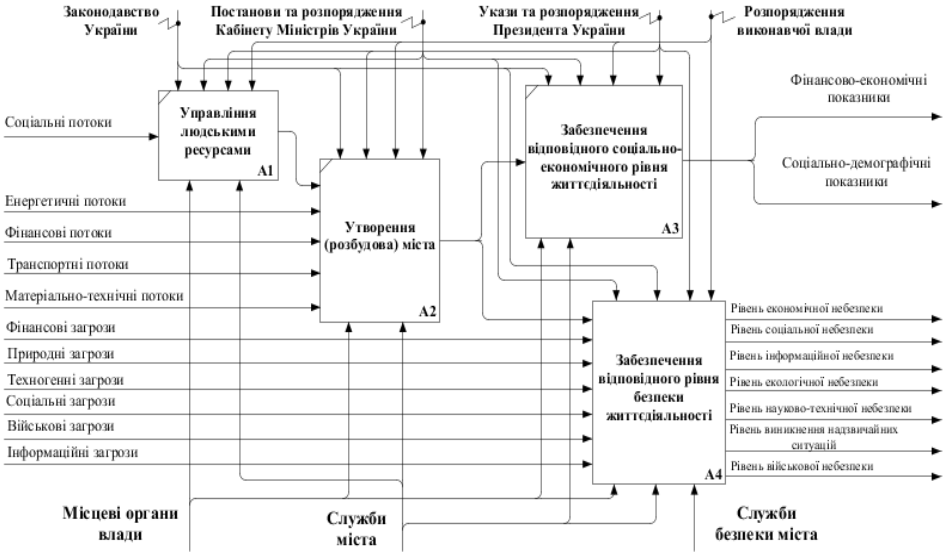

Рисунок 2 – Діаграма декомпозиції системи функціонування міста

Джерело: розробка авторів

На рис. 2 наведено діаграму декомпозиції як результат послідовного етапу моделювання за методологією IDEF0 процесів функціонування міста. Модель містить такі етапи: управління людськими ресурсами; утворення (розбудова) міста; забезпечення відповідного соціально-економічного рівня життєдіяльності; забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності. Система державного управління людськими ресурсами (блок А1) може бути умовно поділена на три основних блоки. До першого із них належать органи, які відповідають за соціальний розвиток і стежать за постійним покращенням громадського харчування, побутового обслуговування, житлово-комунального господарства, торгівлі продовольчими та промисловими товарами, а також за охороною здоров'я. Другий блок охоплює міністерства і відомства, які відповідають за державне управління демографічними процесами, а також у сферах освіти, професійної орієнтації, зайнятості, праці та соціального забезпечення. До третього блоку входить орган управління державною службою, який відповідає за підбір, підготовку, розстановку і раціональне використання державних службовців. Ці службовці відповідають за ефективне функціонування перших двох блоків системи управління людськими ресурсами.

Процес утворення (розбудови) міста (блок А2) має відбуватися в умовах реалізації концепцій креативної економіки на регіональному та місцевому рівнях. Особливостями реалізації цієї концепції є: зниження потужності факторів розвитку індустріального міста, зміна пріоритетів до залучення креативного класу; підвищення уваги до кваліфікації, адаптації, мобільності робочої сили; посилення значущості якості життя, забезпечення соціальної стабільності та захищеності населення; поглиблення міжнародного співробітництва не тільки на державному рівні, а й налагодження тісної співпраці між містами; оновлення інфраструктури, заснованої на використанні найсучасніших інформаційних технологій; підвищення швидкості, чутливості і гнучкості ухвалення рішень; інноваційність та міжкультурність розвитку; зростання інтересу до якості освіти населення та підсилення науково-технічного та науково-дослідного потенціалу державних інститутів та бізнес-структур, налагодження їх тісної взаємодії.

Для створення креативного міста необхідно забезпечити відповідний соціально-економічний контекст (блок А3), який містить: підтримку та розвиток високотехнологічного підприємництва; забезпечення інвестицій в людський капітал і підтримку креативного підприємництва; підтримку та сприяння науковим та дослідним розробкам; оптимізацію культурних та суспільних послуг із вільним доступом до них; широке використання інформаційних технологій у сфері державного управління та застосування інноваційних підходів для досягнення поставлених цілей; створення умов для покращення якості життя мешканців міста; поліпшення комунікації між різними формами підприємництва та забезпечення тісних зв'язків із галузями мистецтва та культури.

Забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності міста досягається через виявлення, запобігання, послаблення, усунення і відвернення загрози, здатної призвести до соціальних та екологічних збитків, знищення матеріальних та духовних цінностей, перешкоджання їх прогресивному розвитку (блок А4).

Так, на рис. 3 наведено діаграму декомпозиції процесу забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності міста. Модель містить такі етапи: реєстрацію загроз для життєдіяльності міста; аналіз та систематизацію інформації про загрози; формування бази даних про загрози; моделювання та прогнозування розвитку небезпек для життєдіяльності міста; оцінку рівня цих небезпек та ухвалення антикризового управлінського рішення; виконання ухваленого антикризового рішення.

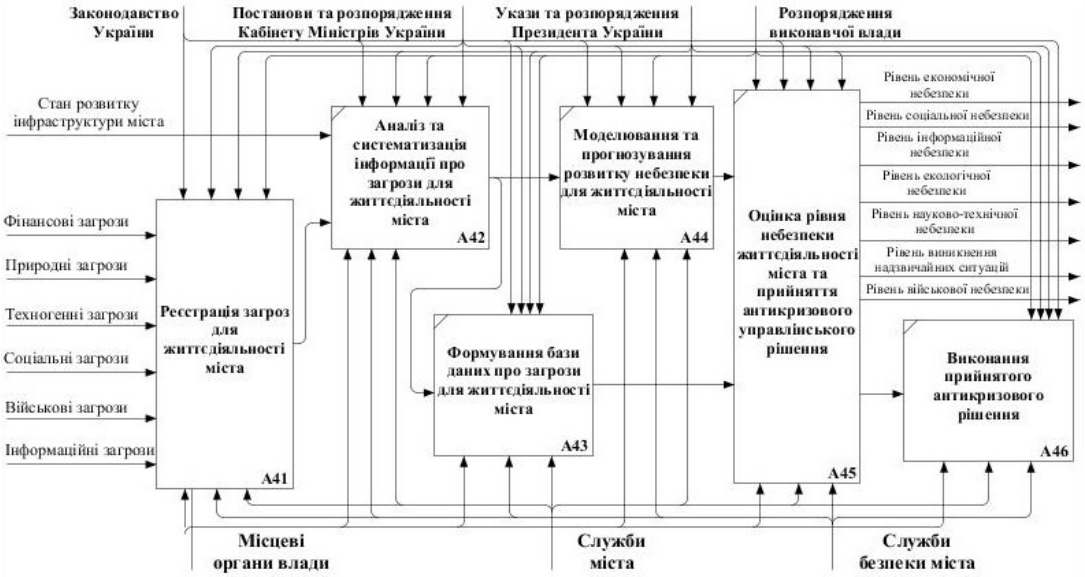

Рисунок 3 – Діаграма декомпозиції процесу забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності міста

Джерело: розробка авторів

Реєстрація засобами контролю загрози для життєдіяльності міста здійснюється у блоці А41. Отримана інформація про фактори небезпеки на території самого міста або на об'єктах критичної інфраструктури міста проходить процес аналізу та систематизації інформації про загрози для життєдіяльності міста (блок А42). Результатом є інформація, яка оброблена та надана так, як необхідно для формування бази даних про загрози для життєдіяльності міста (блок А43), а також для моделювання та прогнозування розвитку небезпеки для життєдіяльності міста (блок А44).

Оброблена інформація у відповідному форматі передається до блоку А44, де проводиться її аналіз і систематизація, на основі чого робиться висновок щодо рівня небезпеки в місті. Забезпечення швидкодії системи є особливо важливим, та використання автоматизованих засобів обробки інформації значно прискорює цей процес і дає змогу створити електронні бази даних та знань, які доступні в реальному часі. Застосування відповідних математичних методів надає змогу моделювати небезпечні ситуації, прогнозувати їх розвиток та рівень і відображати цю прогнозовану динаміку катастрофічних подій у вигляді графіків, зокрема використання електронних карт.

Блок А45 є системою оцінки рівня небезпеки життєдіяльності міста та підтримки ухвалення антикризових управлінських рішень. Особа, відповідальна за ухвалення рішень, визначає один або декілька критеріїв, за якими проводиться прогностичне моделювання розвитку небезпеки та розробляються альтернативні варіанти управлінських рішень, які підтримуються відповідними розрахунками. Із низки доступних управлінських рішень особа, відповідальна за ухвалення рішень, вибирає один або може встановлювати додаткові критерії, на підставі яких проводиться моделювання та розроблення управлінських рішень. Ці рішення спрямовані на запобігання небезпечному розвитку ситуації до рівня катастрофи. Якщо її не можна уникнути, розроблені управлінські рішення, спрямовані на мінімізацію наслідків. Затверджені рішення особи, відповідальної за ухвалення рішень, передаються для виконання в межах системи виконання антикризових рішень (блок А46), де вони формалізуються та надсилаються виконавцям – службам міста та службам

безпеки міста, які функціонують в рамках чинної ЄДСЦЗ.

Так, на рис. 8 наведено діаграму декомпозиції процесу реєстрації загроз для життєдіяльності міста. Модель містить такі етапи: організацію фінансового аудиту (блок А416); організацію моніторингу соціального стану (блок А415); організацію моніторингу довкілля (блок А414); організацію відеоспостереження (блок А413); організацію радіаційного, хімічного та біологічного моніторингу (блок А412); організацію спектрального аналізу випромінювань, які виникають від джерел небезпек (блок А411). Процес формування звіту про загрози для життєдіяльності міста реалізується у блоці А417.

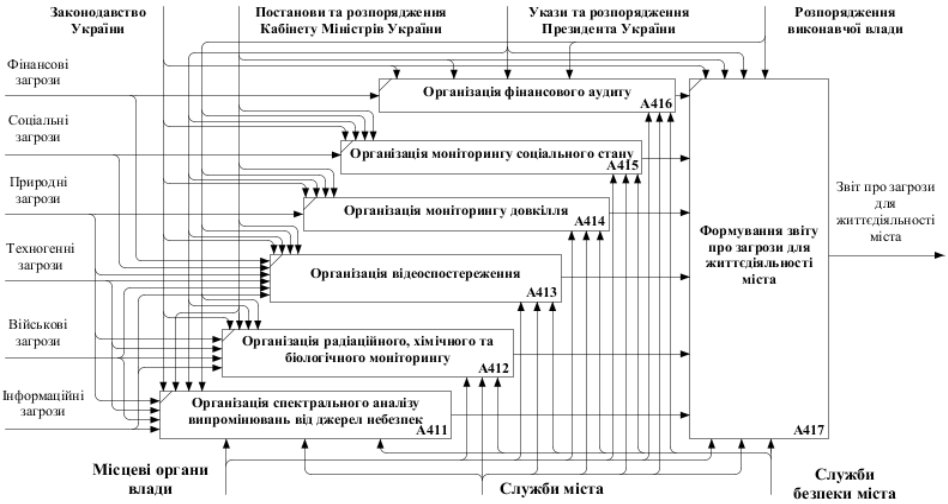

Рисунок 4 – Діаграма декомпозиції системи реєстрації загроз для життєдіяльності міста

Джерело: розробка авторів

Блок А411 є складовою системи Safe city, який має забезпечувати організацію спектрального аналізу випромінювань, які виникають від джерел небезпек з різними спектральними характеристиками, а саме: в акустичному, радіо-, інфрачервоному, оптичному, ультрафіолетовому та рентгенівському діапазонах, а також аналіз гамма- та космічних променів. Кожен із методів спектрального аналізу випромінювань від джерел небезпек у різних частотних діапазонах має як недоліки, так і переваги. Отже, не віддаючи переваги жодному з цих методів, автори у своїх дослідженнях вибрали спектральний аналіз акустичного простору з метою виявлення та ідентифікації джерел НС місцевого рівня.

Згідно з [42–43] для реалізації спектрального аналізу акустичного простору міста використовується система оперативного моніторингу, яка забезпечує безперервний та тривалий в реальному часі контроль за територією міста. Ця система об’єднує наземні автоматизовані пристрої для контролю акустичного простору та пасивної локації джерел небезпеки. Крім того, вона здатна збирати та обробляти інформацію від цих пристроїв за допомогою ситуаційного центру, який відповідає за виконання антикризових рішень, спрямованих на запобігання, локалізацію та ліквідацію наслідків НС.

Методи пасивної акустичної локації джерел небезпек відповідно до [43] мають свої особливості, які можна визначити таким чином: 1) якщо немає інформації про тривалість акустичного випромінювання, неможливо точно з’ясувати відстань до джерела випромінювання лише за допомогою одного наземного засобу автоматизованого контролю акустичного простору. З огляду на це для визначення координат джерела небезпеки необхідно використовувати комплекс двох або більше розташованих у різних точках простору засобів автоматизованого контролю акустичного простору, які спільно працюють і мають з’єднані канали зв’язку, утворюючи

комп'ютерну мережу; 2) приймання прямого сигналу, а не його відбитка спрощує виявлення і вимірювання координат джерела небезпеки. Однак неясність стосовно форми сигналу та можлива наявність інших джерел акустичного випромінювання ускладнюють процес оперативного моніторингу в зоні НС; 3) відсутність передавальних пристроїв за пасивної локації спрощує конструкцію апаратури, а також підвищує її енергозбереження та збереження конфіденційності.

Функціональну схему цієї системи наземних стаціонарних засобів автоматизованого контролю акустичного простору, ситуаційного центру, підсистеми зв'язку та передавання телеметричної інформації, а також підсистеми виконання антикризових рішень щодо запобігання, локалізації та ліквідації наслідків НС наведено на рис. 5.

Головним показником ефективності функціонування цієї підсистеми оперативного акустичного моніторингу на території міста є достовірність ідентифікації джерела небезпеки за їх видом та місцем виникнення.

Фактори, які можуть впливати на достовірність акустичної ідентифікації джерел НС, можна відповідно до даних джерела [44] поділити на три групи. Перша група містить фактори, які відображають динаміку змін показників розвитку джерел небезпеки, такі як тактико-технічні характеристики застосовуваних засобів, їх кількість та інтенсивність використання. Друга група факторів містить тактико-технічні характеристики засобів контролю акустичного простору, включаючи метрологічні та експлуатаційні показники засобів отримання та обробки інформації. Третя група факторів враховує географічні та фізико-хімічні характеристики місця виникнення НС і поширення акустичних сигналів у середовищі.

Розглядаючи умови, за яких акустичні хвилі від джерела НС поширюються в атмосфері, важливо враховувати велику чутливість звукового випромінювання до таких метеорологічних факторів, як швидкість та напрямок вітру, температура, вологість повітря та атмосферний тиск, а також їх зміни з висотою. Також важливі характеристики турбулентності, властивості підстильної поверхні, геометрія поширення звуку та особливості джерела звукового випромінювання значно впливають на дальність, на яку може поширюватися звук.

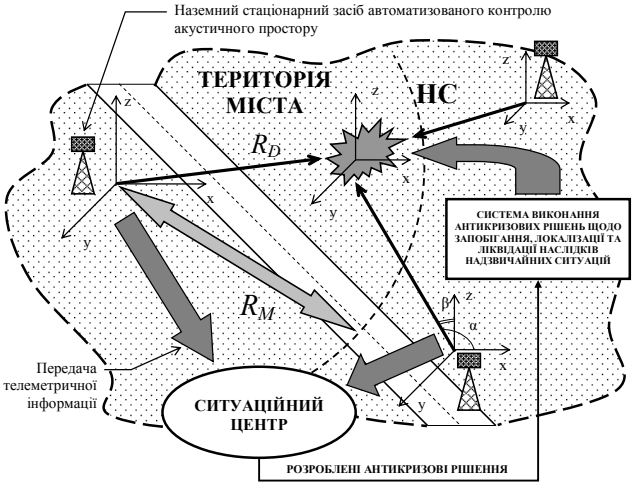

Рисунок 5 – Схема функціонування системи наземних стаціонарних засобів автоматизованого контролю акустичного простору на території міста, ситуаційного центру, підсистеми зв'язку та передавання телеметричної інформації, а також підсистеми виконання антикризових рішень щодо запобігання, локалізації та ліквідації наслідків НС різного характеру на території міста

Джерело: розробка авторів

Зазвичай під час аналізу характеристик звукових хвиль, що поширюються, розглядають середній стан атмосфери, що мало змінюється протягом довжини хвилі. Але на тлі цих відносно повільних змін середовища існують різношвидкісні зміни у стані атмосфери (так звані турбулентні флуктуації метеорологічних параметрів), які зумовлюють флуктуації амплітуди і фази звукової хвилі, розсіювання звуку, додаткове ослаблення енергії випромінювання, порушення когерентності тощо.

Середні значення цих метеорологічних параметрів мають вплив як на абсолютне значення сумарного коефіцієнта поглинання звуку на фіксованій частоті f, так і на його частотній залежності. Ослаблення енергії звуку в атмосфері відбувається таким чином, що на значні відстані можуть поширюватися лише його низькочастотні складові. У разі передавання широкосмугових сигналів це явище істотно впливає на амплітудно-частотну характеристику сигналу, що приймається, а відповідно і на якість отриманої інформації.

Іншим важливим фактором, який впливає на процес приземного поширення в атмосфері акустичних хвиль, є рефракція, що виникає внаслідок неоднорідності середовища поширення хвиль та зміни швидкості звуку з висотою за рахунок змін швидкості вітру v та температури повітря T. Це явище може бути розглянуто на основі метода геометричної акустики, де використовується таке уявлення про звук як хвилі, що поширюються вздовж променевих траєкторій, кривизна яких визначається змінами з висотою швидкості вітру v і температури T, а також кутовими параметрами, що характеризують початковий напрямок випромінюваного звуку. Водночас вважаємо, що енергія звукової хвилі не залишає променеву трубку, сформовану сімейством променів, що утворює за їх поперечного перерізу замкнуту криву. З огляду на це збіжність чи розбіжність променів (зміна діаметра променевої трубки) у геометричній акустиці безпосередньо впливає на інтенсивність звуку. Розрізняють три основні режими поширення звуку [45–46]: хвилевий, антихвилевий і як проміжний – нейтральний режим.

Нейтральний режим поширення звуку характерний для відносно невеликих відстаней та за прямої видимості. Так, у точці простору наземного стаціонарного засобу автоматизованого контролю акустичного простору відбувається інтерференція прямого (випромінюваного джерелом терористичних дій) та відбитого від поверхні Землі променів.

Під час аналізування умов, коли звук від джерела НС поширюється низько поверхнею атмосфери на великі відстані, головні параметри акустичних хвиль визначаються переважно внаслідок рефракції на градієнтах температури і швидкості вітру. Це призводить до виникнення двох режимів поширення: хвилевого та антихвилевого. У першому випадку звукові хвилі загинаються донизу з багаторазовим відбиттям від землі, і цей режим характеризується малими втратами звуку. У другому випадку промені звуку загинаються вгору, і відбувається формування акустичної тіні біля землі на певній відстані від джерела НС. Отже, в цю зону проникає тільки слабкий звук, який розсіюється турбулентними неоднорідностями у верхніх шарах атмосфери. Ці два режими поширення звуку переважно спостерігаються на відстанях більше 1 км.

У той же час на території великого міста має певний вплив динамічно-розгалужена система забудови, де можуть виникати різні атмосферні явища, а також є велика концентрація різних об’єктів і споруд на одиниці площі. Всі ці чинники створюють перешкоди для ефективного приймання акустичного сигналу засобами контролю акустичного простору. Зважаючи на зазначене, розглядається доцільність встановлення засобів контролю акустичного простору на відстанях менше 1 км.

За таких умов стає необхідним

проведення аналізу ефективності функціонування засобів контролю акустичного простору за слабкої рефракції звуку, яку можна розглядати як ситуацію прямого поширення звукової хвилі до точки спостереження. У цьому режимі до точки спостереження доходять лише два промені: прямий, який не має точки повороту, і відбитий від поверхні Землі, де кривизна траєкторій променів характеризується низькими значеннями.

Розрахунок звукового тиску в цьому разі може бути проведений за допомогою такого виразу:

$$L_{R_M}(f) = L_s(f) + L_{abs}(f) + L_t(f) + L_e(f) + L_{div}(f) + L_{pat}(f), \quad (1)$$

де R_M – радіус зони ймовірнісної акустичної ідентифікації джерела НС, $L_{R_M}(f)$ – рівень звукового тиску на вході наземного стаціонарного засобу контролю акустичного простору на частоті f від джерел НС, які виникли на межі зони достовірної акустичної ідентифікації, $L_s(f)$ – звуковий тиск від джерела НС, який перерахований до звукового тиску на відстані одного метра від джерела, $L_{abs}(f)$ – вклад класичного та молекулярного поглинання звуку в атмосфері, $L_t(f)$ – вклад турбулентного послаблення звуку, $L_e(f)$ – вклад приземного ослаблення звуку (враховується вплив інтерференції прямої та відбитої хвилі), $L_{div}(f)$ – вклад кутової розбіжності, $L_{pat}(f)$ – доданок, який враховує характеристики діаграми направленості засобу контролю акустичного простору.

Рівняння (1) виражає закон збереження енергії та являє собою рівняння енергетичного балансу. Всі члени правої частини цього рівняння, за винятком компоненту $L_s(f)$, зазвичай мають негативне значення. Для точної акустичної ідентифікації джерела небезпеки та визначення місця виникнення цього джерела на території міста необхідно враховувати такі умови: $R_D \le R_M$.

За цих умов для визначення місця виникнення джерела НС необхідно застосувати позиційні методи локації, які засновані на використанні поверхонь або ліній положення для визначення місця виникнення джерела в просторі або на поверхні Землі. Поверхня положення є геометричним місцем точок у просторі, що відповідають умові сталості параметра (вимірюваної координати відносно розташування наземного стаціонарного засобу автоматизованого контролю акустичного простору ((дальності, кута тощо) – рис. 5). Розташування джерела НС у просторі знаходиться як точка перетину трьох поверхонь положення. Перетин двох поверхонь положення дає лінію положення, яка є геометричним місцем точок із постійними значеннями двох параметрів. Щоб визначити точку в просторі, потрібен перетин трьох поверхонь положення або лінії та поверхні положення [47].

На сьогодні відомі три основні методи визначення координат джерел випромінювання, а саме: кутомірний, різницево-далекомірний, кутомірно-різницево-далекомірний. Найбільшого поширення набули різницево-далекомірний та кутомірно-різницево-далекомірний методи. Системи пасивної локації з цими методами вимірювання координат, які використовують для визначення різниці відстаней, називають кореляційно-базовими. Особливістю пристроїв кореляційно-базової локації є аналіз за допомогою кореляторів часових запізнень τ.

Найбільш перспективним для визначення місця виникнення джерела НС є кутомірно-різницево-далекомірний метод, який заснований на вимірі кутових напрямів на джерело випромінювання та різниці відстаней від нього до місць розташування засобів контролю акустичного простору. У найпростішому випадку достатньо мати два засоби контролю. Так, для визначення площинних координат слід виміряти лише азимут β та

різницю відстаней $R = r_1 - r_2$ (рис. 6).

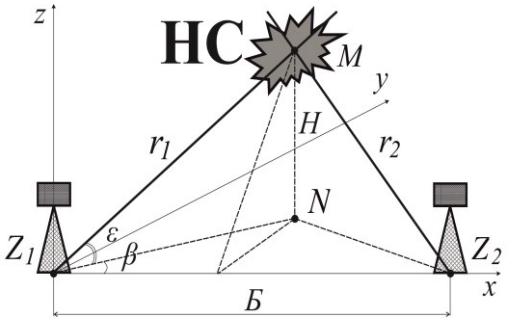

Рисунок 6 – Пасивний кутомірно-різницево-далекомірний метод акустичного визначення місця виникнення джерела НС,

де Z_1 і Z_2 – точки розташування наземних стаціонарних засобів автоматизованого контролю акустичного простору; $Б$ – відстань (база) між точками Z_1 і Z_2; M – точка простору, де виникло джерело НС; N – проєкція точки M на площину XY; β і ε – азимут і кут міста щодо напрямку на точку M; r_1 і r_2 – дальності до точки M від точок Z_1 і Z_2

Джерело: розробка авторів

За таких умов, базуючись на основних постулатах кутомірно-різницево-далекомірного методу (за даними рис. 6), дальність до точки виникнення джерела НС від точки розташування засобу контролю акустичного простору Z_1 визначається як:

$$r_1 = \frac{Б^2 - R^2}{2(БCos\varepsilon Cos\beta - R)} \qquad (2)$$

Водночас повна похибка визначення місця виникнення джерела НС є багатовимірним нестаціонарним випадковим процесом і функцією виду:

$$r_1 - r_1^* = \psi[M(t), S(t,u), e(t)], \qquad (3)$$

де r_1^* – істинне значення дальності до точки виникнення джерела НС від точки розташування засобу контролю акустичного простору Z_1; $S(t,u)$ – акустичний сигнал, що має інформацію про вимірювальний параметр u; $e(t)$ – зовнішні та внутрішні адитивні завади для функціонування розташованого в точці Z_1 наземного стаціонарного засобу автоматизованого контролю акустичного простору; $M(t)$ – масштабний коефіцієнт (перетворення), що характеризує ефективність функціонування засобу контролю акустичного простору.

Насамкінець важливо відзначити, що загальний підхід до функціонування системи Safe city з метою забезпечення відповідного рівня життєдіяльності міста, який був розглянутий у цій роботі на прикладі наочних ілюстрацій (рис. 1–4), є фундаментом для проведення наукових досліджень. Ці розвідки спрямовані на створення ефективної системи наземних автоматизованих засобів контролю акустичного простору та пасивної локації джерел небезпеки. Зазначена система також передбачає збір і обробку інформації, прогнозування виникнення різних видів НС на території міста і розроблення ефективних антикризових управлінських рішень. Особливості функціонування такої системи наведені на рис. 5 і 6.

Висновки та напрями подальших досліджень. Викладені основні принципи створення в моделі «Safe city» системи «Smart city» підсистеми наземних автоматизованих пристроїв контролю акустичного простору та пасивної локації джерел небезпек із подальшим отриманням й обробкою інформації, а також прогнозуванням виникнення на території міста НС різного характеру та розробленням ефективних управлінських антикризових рішень:

1. Системний підхід і принцип оцінки небезпеки життєдіяльності території міста в умовах виникнення НС різного характеру базується на уявленнях про окрему територію, для оцінки небезпеки якої обґрунтовано використання функціональної поверхні, горизонтальні проєкції якої збігаються з конфігурацією території, а її опуклості відповідають рівням небезпеки в містах із конкретними

географічними координатами.

2. Встановлено, що одним із напрямів розвитку концепції «Safe city» є розроблення у ЄДСЦЗ місцевого рівня підсистем моніторингу НС та ситуаційних центрів, які працюють відповідно до функцій класичного контуру управління та забезпечують: збір, обробку та аналіз інформації; моделювання розвитку обстановки на території міста; розроблення та ухвалення управлінських рішень щодо попередження та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків; виконання рішень щодо запобігання та ліквідації НС.

3. Розроблено (за стандартом IDEF0) структурно-функціональну модель стратегічного розвитку в загальній системі «Smart city» підсистеми «Safe city» з урахуванням керуючих потоків нормативно-правової бази України та наявності в державі відповідних механізмів (ресурсів). Під час моделювання показано, що процес реєстрації загроз для життєдіяльності міста включає організацію фінансового аудиту, моніторингу соціального стану та довкілля, відеоспостереження, радіаційного, хімічного та біологічного моніторингу, а також спектрального аналізу випромінювань від джерел небезпек. Водночас встановлено, що організація спектрального аналізу випромінювань від джерел небезпек включає комплексний аналіз характеристик випромінювань в різних частотних діапазонах (в акустичному, радіо-, інфрачервоному, оптичному, ультрафіолетовому та рентгенівському діапазонах, а також аналіз гамма- та космічних променів), де кожен із методів аналізу має як недоліки, так і переваги. З огляду на зазначене, не віддаючи переваги жодному з цих методів, автори у своїх дослідженнях вибрали спектральний аналіз акустичного простору з метою виявлення та ідентифікації на території міста джерел НС природного, техногенного, соціального та воєнного характеру.

4. Запропоновано системний підхід та принципи використання спектрального аналізу акустичного простору міста для реалізації безперервного та тривалого у реальному масштабі часу оперативного моніторингу за місцем виникнення та динамікою розвитку ідентифікованих джерел НС різного характеру. Водночас встановлено, що основним показником ефективності функціонування підсистеми оперативного акустичного моніторингу зони НС на території міста є достовірність ідентифікації джерела небезпеки за видом та місцем виникнення, яка залежить: від факторів, котрі характеризують безпосередньо динаміку зміни показників розвитку джерела небезпеки; від факторів, які характеризують тактико-технічні показники засобів контролю акустичного простору; від факторів, які характеризуються географічними та фізико-хімічними показниками місця виникнення джерела небезпеки та середовища поширення інформаційного акустичного сигналу.

5. Запропоновані принципи використання спектрального аналізу акустичного простору міста є основою для проведення надалі досліджень, спрямованих на розроблення ефективної системи наземних автоматизованих пристроїв контролю акустичного простору та пасивної локації джерел небезпек, із подальшим отриманням й обробкою інформації, а також прогнозуванням виникнення на території міста НС різного характеру та розробленням ефективних управлінських антикризових рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Левчук К. О., Романюк Р. Я. Сталий розвиток міста як ключовий фактор розвитку економіки України. *Математичне моделювання*. 2022. № 1(46). С. 131–140. URL : http://matmod.dstu.dp.ua/article/view/258455/255221 (дата звернення : 01.08.2023).
2. Назаренко Ю., Сирбу О. Стратегія розвитку міст : удосконалення підходів. Приклад Києва. URL : https://cedos.org.ua/wp-content/uploads/stattya-strategiyi-rozvytku-mist.pdf (дата звернення : 04.09.2023).
3. Пінь А. М. Концепція розвитку міста в контексті розвитку інноваційного управління. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2018. Вип. 4(132). С. 114–118. URL : http://ird.gov.ua/sep/sep20184(132)/sep20184(132)_114_PinA.pdf (дата звернення : 10.08.2023).

4. Чуль О. М. Концепція розбудови міст в рамках розвитку креативної економіки : методологічний та практичний аспект. *Електронний журнал «Ефективна економіка»*. URL : http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3348 (дата звернення : 10.08.2023).
5. Жирак Р. М. Феномен життєстійкості як складова розвитку урбоекосистем. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2022. Вип. 64. С. 179–193. URL : http://archinform.knuba.edu.ua/article/view/267479/263335 (дата звернення : 01.09.2023).
6. Планування і забудова територій: ДБН Б.2.2-12:2018 [Чинний з 01.09.2018]. Київ : Міністерство комунального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 187 с. URL : https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf (дата звернення : 10.08.2023).
7. Про національну безпеку України : Закон України від 21.06.2018 № 2469-VIII. URL : http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19 (дата звернення : 10.08.2023).
8. Про засади внутрішньої і зовнішньої політики» : Закон України від 01.08.2010 № 2411-VI. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2411-17#Text (дата звернення : 12.08.2023).
9. Про правовий режим надзвичайного стану : Закон України від 16.03.2000 № 1550-III. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-14#Text (дата звернення : 10.08.2023).
10. Про правовий режим воєнного стану : Закон України від 12.05.2015 № 389-VIII. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text (дата звернення : 12.08.2023).
11. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України «Про Стратегію національної безпеки України» : Указ Президента України від 14.09.2020. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text (дата звернення : 10.08.2023).
12. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні : монографія / В. А. Андронов, М. М. Дівізінюк, В. Д. Калугін, В. В. Тютюник. Харків : Національний університет цивільного захисту України, 2016. 319 с. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5970 (дата звернення : 15.09.2023).
13. Тютюник В. В., Тютюник О. О., Удянський М. М., Ященко О. А. Кластеризація регіонів України за рівнем небезпеки та шляхи підвищення ефективності функціонування єдиної державної системи цивільного захисту в умовах невизначеності вхідної інформації про виникнення надзвичайних ситуацій. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2021. № 1(11). С. 75–84. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14237 (дата звернення : 10.09.2023).
14. Щодо удосконалення мережі ситуаційних центрів та цифрової трансформації сфери національної безпеки і оборони : рішення Ради національної безпеки і оборони України від 04.06.2021. Введено в дію Указом Президента України від 18 червня 2021 року № 260/2021. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0039525-21#Text (дата звернення : 10.08.2023.
15. Тютюник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О. Основоположні принципи створення у єдиній державній системі цивільного захисту інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава. Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. 2018. Вип. 4(50). С. 168–177. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7411 (дата звернення : 01.10.2023).
16. Тютюник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О. Управлінські основи створення у єдиній державній системі цивільного захисту інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій. *Вісник Національного університету цивільного захисту України. Серія : «Державне управління»*. Харків. Національний університет цивільного захисту України. 2020. Вип. 1(12). С. 546–571. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11625 (дата звернення : 01.10.2023).
17. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text (дата звернення : 10.08.2023).
18. Про затвердження Положення про єдину державну систему цивільного захисту : постанова Кабінету Міністрів України від 09.01.2014 № 11. URL : http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF (дата звернення : 10.08.2023).
19. Про затвердження типових положень про функціональну і територіальну підсистеми єдиної державної системи цивільного захисту : Постанова Кабінету Міністрів України від 11.03.2015 № 101. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/101-2015-%D0%BF#Text (дата звернення : 10.08.2023).
20. Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій : розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.01.2017 № 61-р. URL : http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80 (дата звернення : 10.08.2023).
21. Державна система цивільного захисту / М. М. Кулєшов, В. П. Садковий, В. В. Тютюник. Харків : Друкарня Мадрид, 2020. 232 с. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11264 (дата звернення : 15.09.2023).
22. Калугін В. Д., Тютюник В. В., Чорногор Л. Ф., Шевченко Р. І. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки. *Системи обробки інформації*. Харків : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. Вип. 9(116). С. 204–216. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2790 (дата звернення : 15.09.2023).
23. Тютюник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О. Оцінка умов створення у єдиній державній системі цивільного захисту інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій на основі аналізу динаміки прояву небезпек на території України. *Комунальне господарство міст. Серія : Технічні науки та архітектура*. Харків. Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. 2019. № 1(147). С. 66–82. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10272 (дата звернення : 12.09.2023).
24. Тютюник В. В., Ященко О. А., Рубан І. В., Тютюник О. О. Особливості функціонування системи ситуаційних центрів на різних стадіях розвитку надзвичайних ситуацій. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ : Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, 2022. Вип. 1(43). С. 41–52. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15894 (дата звернення : 15.09.2023).
25. SMART-інфраструктура у сталому розвитку міст: світовий досвід та перспективи України. Київ : Заповіт, 2021. 398 с. URL : https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-%D0%A1YTI-SITE.pdf (дата звернення : 02.10.2023).
26. Smart Citi Ukraine : що це та як це працює в українських реаліях. URL: https://visitukraine.today/uk/blog/2183/smart-city-ukraine-shho-ce-ta-yak-ce-pracyuje-v-ukrainskix-realiyax (дата звернення : 02.10.2023).
27. Касич А. О., Федоряк Р. М., Собяніна А. П. Інноваційна технологія «SMART CITY» як механізм покращення рівня життя в сучасному місті. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія : Економіка і менеджмент*. 2017. Вип. 27. Ч. 1. С. 50–54. URL : http://www.vestnik-econom.mgu.od.ua/journal/2017/27-1-2017/13.pdf (дата звернення : 15.09.2023).

28. Чукут С. А., Дмитренко В. І. Смарт-сіті чи електронне місто : сучасні підходи до розуміння впровадження Е-урядування на місцевому рівні. *Інвестиції : практика та досвід*. 2016. № 13. С. 89–93. URL : http://www.investplan.com.ua/pdf/13_2016/17.pdf (дата звернення : 02.10.2023).
29. Андрієнко А. О. Концепція «розумного міста»: уточнення ключових понять у контексті забезпечення розвитку великого муніципального утворення. *Аспекти публічного правління*. 2018. Т. 6. № 8. С. 24–34. URL : https://aspects.org.ua/index.php/journal/article/view/432/432 (дата звернення : 15.09.2023).
30. Мужанова Т.М. «Розумне місто» як інноваційна модель управління. *Економіка. Менеджмент. Бізнес*. 2017. № 2(20). С. 116–122. URL : http://journals.dut.edu.ua/index.php/emb/article/view/1515/1447 (дата звернення : 02.10.2023).
31. Севастьянов Р. В. Актуальні проблеми розвитку «Розумних міст» (SMART CITY). *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021. № 2. С. 170–175. URL : http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/08/2021-2-en-30.pdf (дата звернення : 10.08.2023).
32. Що таке «Smart City» і як виглядає в українських реаліях? URL : https://www.prostir.ua/?news=scho-take-smart-city-i-yak-vyhlyadaje-v-ukrajinskyh-realiyah (дата звернення : 10.09.2023).
33. Розумне місце майбутнього : 5 ключових технологій. URL : https://futurenow.com.ua/rozumne-misto-majbutnogo-5-klyuchovyh-tehnologij/ (дата звернення : 02.10.2023).
34. Що потрібно знати про Smart City. URL : https://maxnet.ua/blog/chto-nuzhno-znat-o-smart-city/ (дата звернення : 10.09.2023).
35. Розумні міста України. Що таке смарт-сіті і як це працює. URL : https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/obzor/umnye-goroda-ukrainy-chto-takoe-smart-siti-i-kak-eto-rabotaet/ (дата звернення : 10.08.2023).
36. SMART CITY : технології «розумного міста» та їх цільове призначення. URL : https://eukraine.org.ua/ua/news/smart-city-tehnologiyi-rozumnogo-mista-ta-yih-cilove-priznachennya (дата звернення : 02.10.2023).
37. SMART CITY : розумні технології сучасного міста. URL : https://hub.kyivstar.ua/news/smart-city-rozumni-tehnologiyi-suchasnogo-mista/ (дата звернення : 15.09.2023).
38. Лєвтєров О. А., Тютюник В. В., Калугін В. Д., Ольховіков С. В. Використання ефекту акустичної емісії для раннього виявлення загорання матеріалів, що містять целюлозу, об'єктової підсистеми універсальної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні. *Прикладна радіоелектроніка*. Харків : Харківський університет радіоелектроніки, 2017. Т. 16. № 1–2. С. 23–40. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5938 (дата звернення : 02.10.2023).
39. Лєвтєров О. А., Тютюник В. В., Калугін В. Д. Методи ідентифікації процесу горіння целюлозомістких матеріалів на основі ефекту акустичної емісії. *Проблеми пожежної безпеки*. Харків : Національний університет цивільного захисту України, 2017. Вип. 42. С. 72–84. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5939 (дата звернення : 02.10.2023).
40. Практичні аспекти реінжинірингу бізнес-процесів / О.Б. Данченко. Київ : Університет економіки та права «КРОК», 2017. 238 с. URL : https://library.krok.edu.ua/media/library/category/navchalni-posibniki/danchenco_0001.pdf (дата звернення : 10.08.2023).
41. Латишева О. В., Касьянюк С. В., Баранов Р. Р., Закіров Р. Р. Функціональне моделювання як інструментарій аналізу фінансового стану підприємств. *Управління економікою: теорія та практика*. Київ : Інститут економіки промисловості НАН України, 2019. С. 178–184. URL : http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/169765/13-Latysheva.pdf?sequence=1 (дата звернення : 02.10.2023).
42. Рубан І. В., Тютюник В. В., Тютюник О. О. Розвиток науково-технічних основ оперативного геоінформаційного акустичного моніторингу джерел терористичних небезпек. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ : Національний університет оборони України ім. Івана Черняховського, 2020. Вип. 3(39). С. 67–80. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18114 (дата звернення : 02.10.2023).
43. Рубан І. В., Тютюник В. В., Тютюник О. О. Особливості створення системи підтримки прийняття антикризових рішень в умовах невизначеності вхідної інформації при надзвичайних ситуаціях. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ : Національний університет оборони України ім. Івана Черняховського, 2021. Вип. 1(40). С. 75–84. URL : http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14232 (дата звернення : 02.10.2023).
44. Луценко В. І., Луценко І. В., Мазуренко О. В., Соболяк О. В. Характеристики акустичних полів наземних і малорозмірних повітряних об'єктів акустичної розвідки. *Прикладна радіоелектроніка*. Харків : Харківський університет радіоелектроніки. 2017. Т. 16. № 1, 2. С. 18–22. URL : https://nure.ua/wp-content/uploads/2018/Scientific_editions/are_3.pdf (дата звернення : 15.09.2023).
45. Дівізінюк М., Гончаренко Ю., Гончаренко Д. Про проблему розрахунку дальності прийому акустичної інформації з відкритих майданчиків. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. Київ : Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2012. № 1(23). С. 29–35. URL : https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/8616/1/23_p29.pdf (дата звернення : 10.08.2023).
46. Гончаренко Ю. Ю. Фізична модель знімання мовної інформації. *Системи обробки інформації*. Харків : Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. 2014. Вип. 7(123). С. 18–23. URL : https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/11813/soi_2014_7_6.pdf (дата звернення : 10.08.2023).
47. Куценко В. В., Єрмаков Г. В., Телюков С. М., Дементиюк Г. М. Оцінювання точності визначення місця розташування радіовипромінюючих цілей тріангуляційним методом у рухливій системі пасивної радіолокації зенітних комплексів ближньої дії. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків : Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. 2010. Вип. 4(26). С. 77–82. URL : https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2739/zhups_2010_4_21.pdf (дата звернення : 15.09.2023).

REFERENCES

1. Levchuk, K.O., Romanyuk, R. Ya. Stalyy rozvytok mista yak klyuchovyy faktor rozvytku ekonomiky Ukrayiny [Sustainable development of the city as a key factor in the development of the economy of Ukraine]. Matematychne modelyuvannya. 2022. #1(46). pp. 131–140. Retrieved from http://matmod.dstu.dp.ua/article/view/258455/255221. [in Ukrainian].
2. Nazarenko, Yu., Syrbu, O. Stratehiya rozvytku mist: udoskonalennya pidkhodiv. Pryklad Kyyeva [Urban Development Strategy: Improving Approaches. Example of Kyiv]. Retrieved from https://cedos.org.ua/wp-content/uploads/stattya-strategiyi-rozvytku-mist.pdf. [in Ukrainian].

3. Pin', A. M. Kontseptsiya rozvytku mista v konteksti rozvytku innovatsiynoho upravlinnya [The concept of city development in the context of the development of innovative management]. Sotsial'no-ekonomichni problemy suchasnoho periodu Ukrayiny. 2018. #4(132). pp. 114–118. Retrieved from http://ird.gov.ua/sep/sep20184(132)/sep20184(132)_114_PinA.pdf. [in Ukrainian].
4. Chul', O. M. Kontseptsiya rozbudovy mist v ramkakh rozvytku kreatyvnoyi ekonomiky: metodolohichnyy ta praktychnyy aspekt [The concept of urban development within the framework of the development of the creative economy: methodological and practical aspects]. Elektronnyy zhurnal «Efektyvna ekonomika». Retrieved from: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3348. [in Ukrainian].
5. Zhyrak, R. M. Fenomen zhyttyestiykosti yak skladova rozvytku urboekosystem [The phenomenon of sustainability as a component of the development of urboecosystems]. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya. 2022. #64. P. 179–193. Retrieved from http://archinform.knuba.edu.ua/article/view/267479/263335. [in Ukrainian].
6. Planuvannya i zabudova terytoriy. DBN B.2.2-12:2018. Kyyiv: Ministerstvo komunal'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrayiny, 2018. 187 p. Retrieved from https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf. [in Ukrainian].
7. Pro nacionaljnu bezpeku Ukrajiny: Zakon Ukrajiny vid 21 chervnja 2018 roku. #2469-VIII. Retrieved from http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19. [in Ukrainian].
8. Pro zasady vnutrishn'oyi i zovnishn'oyi polityky: Zakon Ukrayiny vid 01 lypnya 2010 roku. #2411-VI. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2411-17#Text. [in Ukrainian].
9. Pro pravovyy rezhym nadzvychaynoho stanu: Zakon Ukrayiny vid 16 bereznya 2000 roku. #1550-III. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-14#Text. [in Ukrainian].
10. Pro pravovyy rezhym voyennoho stanu: Zakon Ukrayi-ny vid 12 travnya 2015 roku. #389-VIII. Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text. [in Ukrainian].
11. Ukaz Prezydenta Ukrayiny Pro rishennya Rady natsional'noyi bezpeky i oborony Ukrayiny vid 14 veresnya 2020 roku «Pro Stratehiyu natsional'noyi bezpeky Ukrayiny». Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text. [in Ukrainian].
12. Andronov, V. A., Diviziniuk, M. M., Kalugin, V. D., & Tiutiunyk, V. V. (2016). Naukovo-konstruktorski osnovy stvorennia kompleksnoi systemy monitorynhu nadzvychainykh sytuatsii v Ukraini [Scientific and design foundations of the creation of a comprehensive emergency monitoring system in Ukraine]. Kharkiv. Natsionalnyi universytet tsyvilnoho zakhystu Ukrainy. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5970. [in Ukrainian].
13. Tiutiunyk, V. V., Tiutiunyk, O. O., Udyans'kyy, M. M., Yashchenko, O. A. Klasteryzatsiya rehioniv Ukrayiny za rivnem nebezpeky ta shlyakhy pidvyshchennya efektyvnosti funktsionuvannya yedynoyi derzhavnoyi systemy tsyvil'noho zakhystu v umovakh nevyznachenosti vkhidnoyi informatsiyi pro vynyknennya nadzvychaynykh sytuatsiy [Clustering of regions of Ukraine according to the level of danger and ways to increase the efficiency of the operation of the unified state system of civil protection in conditions of uncertainty of incoming information about the occurrence of emergency situations]. Naukovyy visnyk: Tsyvil'nyy zakhyst ta pozhezhna bezpeka. 2021. #1(11). pp. 75–84. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14237.[in Ukrainian].
14. Rishennya Rady natsional'noyi bezpeky i oborony Ukrayiny vid 04 chervnya 2021 roku «Shchodo udoskonalennya merezhi sytuatsiynykh tsentriv ta tsyfrovoyi transformatsiyi sfery natsional'noyi bezpeky i oborony». Vvedeno v diyu Ukazom Prezydenta Ukrayiny vid 18 chervnya 2021 roku. #260/2021. Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0039525-21#Text. [in Ukrainian].
15. Tiutiunyk, V. V., Kalugin, V. D., Pysklakova, O. O. Osnovopolozhni pryntsypy stvorennya u yedyniy derzhavniy systemi tsyvil'noho zakhystu informatsiyno-analitychnoyi pidsystemy upravlinnya protsesamy poperedzhennya y lokalizatsiyi naslidkiv nadzvychaynykh sytuatsiy [The fundamental principles of creating an information and analytical subsystem of management of the processes of prevention and localization of the consequences of emergency situations in the unified state system of civil protection]. Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku. Poltava. Poltavs'kyy natsional'nyy tekhnichnyy universytet imeni Yuriya Kondratyuka. 2018. #4(50). pp. 168–177. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7411. [in Ukrainian].
16. Tiutiunyk V. V., Kalugin V. D., Pysklakova O. O. Upravlins'ki osnovy stvorennya u yedyniy derzhavniy systemi tsyvil'noho zakhystu informatsiyno-analitychnoyi pidsystemy upravlinnya protsesamy poperedzhennya y lokalizatsiyi naslidkiv nadzvychaynykh sytuatsiy [Administrative bases for the creation of an information and analytical subsystem of the management of the processes of prevention and localization of the consequences of emergency situations in the unified state system of civil protection]. Visnyk Natsional'noho universytetu tsyvil'noho zakhystu Ukrayiny. Seriya «Derzhavne upravlinnya». Kharkiv: Natsional'nyy universytet tsyvil'noho zakhystu Ukrayiny. 2020. #1(12). pp. 546–571. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11625. [in Ukrainian].
17. Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy vid 2 zhovtnia 2012 roku. #5403-VI. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text. [in Ukrainian].
18. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 9 sichnia 2014 roku. #11 «Pro zatverdzhennia Polozhennia pro Yedynu derzhavnu systemu tsyvilnoho zakhystu». Retrieved from http //zakon5.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF. [in Ukrainian].
19. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 11 bereznya 2015 roku. #101 «Pro zatverdzhennya typovykh polozhen' pro funktsional'nu i terytorial'nu pidsystemy yedynoyi derzhavnoyi systemy tsyvil'noho zakhystu». Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/101-2015-%D0%BF#Text. [in Ukrainian].

20. Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 25 sichnya 2017 roku #61-r. «Pro skhvalennya Stratehiyi reformuvannya systemy Derzhavnoyi sluzhby Ukrayiny z nadzvychaynykh sytuatsiy». Retrieved from: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80. [in Ukrainian].
21. Kulyeshov, M. M., Sadkovyy, V. P., Tiutiunyk, V. V. (2020) Derzhavna systema tsyvil'noho zakhystu [State system of civil protection]. Kharkiv: Drukarnya Madryd. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11264 [in Ukrainian]
22. Kalugin, V. D., Tiutiunyk, V. V., Chernogor, L. F., Shevchenko, R. I. Rozrobka naukovo-texnichny`x osnov dlya stvorennya sy`stemy' monitory'ngu, poperedzhennya ta likvidaciyi nadzvy'chajny'x sy'tuacij pry'rodnogo ta texnogennogo xarakteru ta zabezpechennya ekologichnoyi bezpeky' [Development of scientific and technical foundations for the creation of a system of monitoring, prevention and liquidation of emergency situations of a natural and man-made nature and ensuring environmental safety]. Sy'stemy' obrobky' informaciyi. Xarkiv, Publishing centre «Xarkivs'ky'j universy'tet Povitryany'x Sy'l imeni Ivana Kozheduba». 2013, #9 (116), P. 204–216. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2790. [in Ukrainian].
23. Tiutiunyk, V. V., Kalugin. V. D., Pysklakova, O. O. Otsinka umov stvorennya u yedyniy derzhavniy systemi tsyvil'noho zakhystu informatsiyno-analitychnoyi pidsystemy upravlinnya protsesamy poperedzhennya y lokalizatsiyi naslidkiv nadzvychaynykh sytuatsiy na osnovi analizu dynamiky proyavu nebezpek na terytoriyi Ukrayiny [Assessment of the conditions for the creation of an information and analytical subsystem in the unified state system of civil protection for the management of the processes of prevention and localization of the consequences of emergency situations based on the analysis of the dynamics of the manifestation of dangers on the territory of Ukraine]. Komunal'ne hospodarstvo mist. Seriya «Tekhnichni nauky ta arkhitektura». Kharkiv. Kharkivs'kyy natsional'nyy universytet mis'koho hospodarstva imeni O. M. Beketova. 2019. #1(147). pp. 66–82. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10272. [in Ukrainian].
24. Tiutiunyk, V. V., Yashchenko, O. A., Ruban, I. V., Tiutiunyk, O. O. Osoblyvosti funktsionuvannya systemy sytuatsiynykh tsentriv na riznykh stadiyakh rozvytku nadzvychaynykh sytuatsiy [Peculiarities of the functioning of the system of situational centers at different stages of the development of emergency situations]. Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony. Kyyiv. Natsional'nyy universytet oborony Ukrayiny imeni Ivana Chernyakhovs'koho. 2022. #1(43). pp. 41–52. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15894. [in Ukrainian].
25. Tsentr Razumkova (2021) SMART-infrastruktura u stalomu rozvytku mist: svitovyy dosvid ta perspektyvy Ukrayiny [SMART infrastructure in the sustainable development of cities: world experience and prospects of Ukraine]. Kyyiv. Vydavnytstvo «Zapovit». Retrieved from https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-%D0%A1YTI-SITE.pdf [in Ukrainian]
26. Smart Citi Ukraine: shcho tse ta yak tse pratsyuye v ukrayins'kykh realiyakh [Smart Citi Ukraine: what it is and how it works in Ukrainian realities]. Retrieved from https://visitukraine.today/uk/blog/2183/smart-city-ukraine-shho-ce-ta-yak-ce-pracyuje-v-ukrainskix-realiyax. [in Ukrainian].
27. Kasych, A. O., Fedoryak, R. M., Sobyanina, A. P. Innovatsiyna tekhnolohiya «SMART CITY» yak mekhanizm pokrashchennya rivnya zhyttya v suchasnomu misti [Innovative technology «SMART CITY» as a mechanism for improving the standard of living in a modern city]. Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Seriya: Ekonomika i menedzhment. 2017. #27. Ch.1. pp. 50–54. Retrieved from http://www.vestnik-econom.mgu.od.ua/journal/2017/27-1-2017/13.pdf [in Ukrainian].
28. Chukut, S. A., Dmytrenko, V. I. Smart-siti chy elektronne misto: suchasni pidkhody do rozuminnya vprovadzhennya E-uryaduvannya na mistsevomu rivni [Smart city or electronic city: modern approaches to understanding the implementation of E-government at the local level]. Investytsiyi: praktyka ta dosvid. 2016. #13. pp. 89–93. Retrieved from http://www.investplan.com.ua/pdf/13_2016/17.pdf [in Ukrainian].
29. Andriyenko, A. O. Kontseptsiya «rozumnoho mista»: utochnennya klyuchovykh ponyat'u konteksti zabezpechennya rozvytku velykoho munitsypal'noho utvorennya [The concept of a «smart city»: clarification of key concepts in the context of ensuring the development of a large municipal entity]. Aspekty publichnoho pravlinnya. 2018. v.6. #8. pp. 24–34. Retrieved from https://aspects.org.ua/index.php/journal/article/view/432/432 [in Ukrainian].
30. Muzhanova, T. M. «Rozumne misto» yak innovatsiyna model'upravlinnya [«Smart city» as an innovative management model]. Ekonomika. Menedzhment. Biznes. 2017. #2(20). pp. 116–122. Retrieved from http://journals.dut.edu.ua/index.php/emb/article/view/1515/1447. [in Ukrainian].
31. Sevast'yanov R.V. Aktual'ni problemy rozvytku «Rozumnykh mist» (SMART CITY) [Actual problems of the development of «Smart Cities»]. Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. 2021. #2. pp. 170–175. Retrieved from http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/08/2021-2-en-30.pdf [in Ukrainian].
32. Shcho take «Smart City» i yak vyhlyadaye v ukrayins'kykh realiyakh? [What is «Smart City» and what does it look like in Ukrainian realities?] Retrieved from https://www.prostir.ua/?news=scho-take-smart-city-i-yak-vyhlyadaje-v-ukrajinskyh-realiyah [in Ukrainian]
33. Rozumne mistse maybutn'oho: 5 klyuchovykh tekhnolohiy [The smart place of the future: 5 key technologies]. Retrieved from https://futurenow.com.ua/rozumne-misto-majbutnogo-5-klyuchovyh-tehnologij/ [in Ukrainian]
34. Shcho potribno znaty pro Smart City [What you need to know about Smart City]. Retrieved from https://maxnet.ua/blog/chto-nuzhno-znat-o-smart-city/ [in Ukrainian].
35. Rozumni mista Ukrayiny. Shcho take smart-siti i yak tse pratsyuye [Smart cities of Ukraine. What is a smart city and how does it work]. Retrieved from https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/obzor/umnye-goroda-ukrainy-chto-takoe-smart-siti-i-kak-eto-rabotaet/ [in Ukrainian].

36. SMART CITY: tekhnolohiyi «rozumnoho mista» ta yikh tsil'ove pryznachennya [SMART CITY: «smart city» technologies and their purpose]. Retrieved from https://eukraine.org.ua/ua/news/smart-city-tehnologiyi-rozumnogo-mista-ta-yih-cilove-priznachennya [in Ukrainian]
37. SMART CITY: rozumni tekhnolohiyi suchasnoho mista [SMART CITY: smart technologies of the modern city]. Retrieved from https://hub.kyivstar.ua/news/smart-city-rozumni-tehnologiyi-suchasnogo-mista/ [in Ukrainian].
38. Levterov, A., Tiutiunyk, V. V., Kalugin, V. D., Ol'khovykov S. V. Yspol'zovanye эffekta akustycheskoy эmyssyy pry rannem obnaruzhenyy vozhoranyya tsellyulozosoderzhashchykh materyalov obъektovoy podsystemoy unyversal'noy systemy monytorynha chrezvychaynykh sytuatsyy v Ukrayne [The use of the effect of acoustic emission for the early detection of ignition of materials containing cellulose, the object subsystem of the universal emergency monitoring system in Ukraine]. Prykladnaya radyoэlektronyka. Kharkiv. Kharkivs'kyy universytet radioelektroniky. 2017. v.16. #1–2. pp. 23–40. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5938 [in Ukrainian].
39. Levterov A. A., Tiutiunyk V. V., Kalugin V. D. Metodы ydentyfykatsyy protsessa horenyya tsellyulozosoderzhashchykh materyalov na osnove эffekta akustycheskoy эmyssyy [Methods of identification of the process of combustion of cellulose-containing materials based on the effect of acoustic emission]. Problemы pozharnoy bezopasnosty. 2017. #42. pp. 72–84. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5939 [in Ukrainian]
40. Danchenko, O. B. (2017) Praktychni aspekty reinzhynirynhu biznes-protsesiv [Practical aspects of business process reengineering]. Kyyiv: Universytet ekonomiky ta prava «KROK». Retrieved from: https://library.krok.edu.ua/media/library/category/navchalni-posibniki/danchenco_0001.pdf [in Ukrainian].
41. Latysheva, O. V., Kas'yanyuk, S. V., Baranov, R. R., Zakirov, R. R. Funktsional'ne modelyuvannya yak instrumentariy analizu finansovoho stanu pidpryyemstv [Functional modeling as a tool for analyzing the financial state of enterprises]. Upravlinnya ekonomikoyu: teoriya ta praktyka. Kyyiv. Instytut ekonomiky promyslovosti NAN Ukrayiny. 2019. pp. 178–184. Retrieved from http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/169765/13-Latysheva.pdf?sequence=1 [in Ukrainian].
42. Ruban, I. V., Tiutiunyk, V. V., Tiutiunyk, O. O. Rozvytok naukovo-tekhnichnykh osnov operatyvnoho heoinformatsiynoho akustychnoho monitorynhu dzherel terorystychnykh nebezpek [Development of scientific and technical foundations of operational geo-informational acoustic monitoring of sources of terrorist dangers]. Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony. Kyyiv: Natsional'nyy universytet oborony Ukrayiny imeni Ivana Chernyakhovs'koho. 2020. #3(39). pp. 67–80. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18114 [in Ukrainian].
43. Ruban, I. V., Tiutiunyk, V. V., Tiutiunyk, O. O. Osoblyvosti stvorennya systemy pidtrymky pryynyattya antykryzovykh rishen'v umovakh nevyznachenosti vkhidnoyi informatsiyi pry nadzvychaynykh sytuatsiyakh [Peculiarities of creating a support system for making anti-crisis decisions in conditions of uncertainty of input information in emergency situations]. Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony. Kyyiv: Natsional'nyy universytet oborony Ukrayiny imeni Ivana Chernyakhovs'koho. 2021. #1(40). pp. 75–84. Retrieved from: http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14232 [in Ukrainian].
44. Lutsenko, V. Y., Lutsenko, Y. V., Mazurenko, A. V., Sobolyak, A. V. Kharakterystyky akustycheskykh poley nazemnykh y malorazmernykh vozdushnykh obektov akustycheskoy razvedky [Characteristics of acoustic fields of ground and small-sized aerial objects of acoustic reconnaissance]. Prykladnaya radyoэlektronyka. Kharkiv. Kharkivs'kyy universytet radioelektroniky. 2017. v.16. #1,2. pp.18–22. Retrieved from https://nure.ua/wp-content/uploads/2018/Scientific_editions/are_3.pdf [in Ukrainian].
45. Dyvyzynyuk, M., Honcharenko, Yu., Honcharenko,D. O probleme rascheta dal'nosty pryema akustycheskoy ynformatsyy s otkrytykh ploshchadok [About the problem of calculating the range of reception of acoustic information from open areas]. Pravove, normatyvne ta metrolohichne zabezpechennya systemy zakhystu informatsiyi v Ukrayini. Kyyiv. Natsional'nyy tekhnichnyy universytet Ukrayiny «Kyyivs'kyy politekhnichnyy instytut imeni Ihorya Sikors'koho», 2012. #1(23). pp. 29–35. Retrieved from https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/8616/1/23_p29.pdf [in Ukrainian].
46. Honcharenko, Yu. Yu. Fyzycheskaya model'sъema rechevoy ynformatsyy [Physical model of language information capture]. Systemy obrobky informatsiyi. Kharkiv. Kharkivs'kyy universytet Povitryanykh Syl imeni Ivana Kozheduba. 2014. #7(123). pp. 18–23. Retrieved from https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/11813/soi_2014_7_6.pdf [in Ukrainian].
47. Kutsenko V.V., Ermakov H.V., Telyukov S.N., Dementyyuk H.M. Otsenyvanye tochnosty opredelenyya mestopolozhenyya radyoyzluchayushchykh tseley tryanhulyatsyonnym metodom v podvyzhnoy systeme passyvnoy radyolokatsyy zenytnykh kompleksov blyzhneho deystvyya [Evaluation of the accuracy of determining the location of radio-emitting targets by the triangulation method in the mobile passive radar system of short-range anti-aircraft systems]. Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho universytetu Povitryanykh Syl. Kharkiv. Kharkivs'kyy universytet Povitryanykh Syl imeni Ivana Kozheduba. 2010. #4(26). pp. 77–82. Retrieved from https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2739/zhups_2010_4_21.pdf [in Ukrainian].

FEATURES OF CREATING A SYSTEM OF ACOUSTIC MONITORING OF EMERGENCY SOURCES IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT OF THE SMART CITY CONCEPT

V. Tiutiunyk[1], O. Tiutiunyk[2], D. Usachov[1]

I[1]National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine
[2]Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine

KEYWORDS:

SMART CITY, Safe city, emergency situation, life safety of the city, system of acoustic monitoring of emergency situations, control of the acoustic space of the city, spectral analysis, passive location of sources of danger, system of situational centers, management anti-crisis decision-making.

ANNOTATION

The basic principles of creating in the SAFE CITY model of the SMART CITY system a subsystem for controlling the city's acoustic space are outlined, followed by the receipt and processing of information, as well as forecasting the occurrence of emergency situations of various types in the city and developing effective management anti-crisis solutions.A structural and functional model of strategic development in the general system SMART CITY of the subsystem SAFE CITY was developed (according to the IDEF0 standard), taking into account the governing flows of the regulatory and legal framework of Ukraine and the availability of relevant mechanisms (resources) in the state. In the process of modeling, it is shown that the process of registering threats to the life of the city includes the organization of a financial audit, social and environmental monitoring, video surveillance, radiation, chemical and biological monitoring, as well as spectral analysis of radiation from sources of danger. At the same time, it was established that the organization of the spectral analysis of radiation from sources of danger includes a complex analysis of the characteristics of radiation in various frequency ranges (in the acoustic, radio, infrared, optical, ultraviolet, and X-ray ranges, as well as the analysis of gamma and cosmic rays), where each of the methods analysis has both disadvantages and advantages.A systematic approach and principles of using the spectral analysis of the acoustic space of the city are proposed for the implementation of continuous and long-term operational monitoring on a real-time scale based on the place of occurrence and the dynamics of the development of identified sources of emergency situations of various nature. At the same time, it was established that the main indicator of the effectiveness of the operational acoustic monitoring subsystem of the emergency zone in the city is the reliability of the identification of the source of danger by type and place of occurrence, which depends on factors that directly characterize the dynamics of changes in indicators of the development of the source of danger, on factors that characterize tactical and technical indicators of means of acoustic space control, as well as from factors that are characterized by geographical and physical and chemical indicators of the place of origin of the source of danger and the medium of propagation of the informational acoustic signal.The system approach proposed for the creation of this subsystem and the principles of using the spectral analysis of the acoustic space of the city are the basis for further scientific research aimed at developing an effective system of ground-based automated devices for monitoring acoustic space and passive location of hazard sources.