

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Економічний факультет

Кафедра економічної кібернетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему «Моделювання процесів урбанізації в Україні»

студентки 2 курсу магістратури
спеціальності 051 «Економіка»
ОНП «Економічна кібернетика»
денної форми навчання
Бандуріної Ірини Артемівни

Науковий керівник:

Кандидат фізико-математичних наук, доцент
Кравець Тетяна Вікторівна

Засвідчую, що в цій роботі немає запозичень із
праць інших авторів без відповідних посилань

Студент _____ Бандуріна І.А.
(підпис)

Роботу допущено до захисту перед ЕК
рішенням кафедри економічної кібернетики
від 13 травня 2024р., протокол №13

Завідувач кафедри: доктор
економічних наук, професор
Олена ЛЯШЕНКО

(підпис)

КИЇВ – 2024

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить: 68 сторінок, 20 рис., 6 табл., 37 джерел, додатки.

Ключові слова: урбанізація, економіко-математичне моделювання урбанізаційного рівня регіону, прогнозування внутрішнього міграційного потоку.

Об'єктом дослідження: урбаністичні процеси в містах України, які включають в себе динаміку розвитку міської інфраструктури, зміни в демографічній структурі, економічні трансформації, соціальні перетворення, а також екологічні аспекти міського життя

Мета: моделювання та прогнозування урбанізаційних процесів в Україні за допомогою програмної реалізації.

Методи дослідження: аналізу, синтезу та порівняння, чисельні та економетричні методи, комп'ютерне моделювання.

Практична цінність: результати дослідження можуть бути використані місцевими органами влади, урбаністами, архітекторами та розробниками міських стратегій для підвищення ефективності управління міським та державним розвитком.

RESUME

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Economics,
Department of Economic Cybernetics

Keywords: urbanization, economic and mathematical modeling of the urbanization level of the region, forecasting of internal migration flow.

Object of study: urban processes in Ukrainian cities, including the dynamics of urban infrastructure development, changes in the demographic structure, economic transformations, social transformations, and environmental aspects of urban life.

Structure: 68 pages, 20 figures, 6 tables, 37 sources, appendices.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ УРБАНІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ	7
1.1. Визначення урбанізації, теорії та моделі урбанізаційних процесів.....	7
1.2. Урбанізаційні процеси в Україні	12
1.3. Сучасні світові агломерації, як одиниці урбанізації та їх вплив на економіку країн.....	18
Висновок до 1 розділу	24
РОЗДІЛ 2. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УРБАНІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ УКРАЇНИ.....	26
2.1 Постановка економіко-математичної задачі.....	26
2.2 Оцінка параметрів економіко-математичної моделі.....	29
2.3 Прогнозування динаміки процесів урбанізації в Україні	32
Висновок до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ УРБАНІЗАЦІЇ	35
3.1 Програмна реалізація динамічної моделі	35
3.2 Прогнозування показника урбанізації	48
Висновок до розділу 3	52
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55
ДОДАТКИ	59

ВСТУП

Урбанізація – це всебічний процес підвищення значущості міст у житті суспільства, результатом якого є відносне збільшення міського населення і формування ієрархічної системи міських поселень як центрів поширення міських способу, умов життя населення і міської культури у конкретних суспільно-географічних умовах. При цьому міська культура – це дуже значущий компонент урбанізації, саме вона має свою специфіку на рівні типів країн, окремих країн та їх частин. Вона охоплює багато аспектів – від технологічних та економічних особливостей способу виробництва і способу життя до особливостей міського «ландшафту». [29]

Актуальність даної роботи полягає в тому, що Україна, як країна з перехідною економікою та активними соціально-економічними змінами, стикається з численними викликами у сфері урбаністики. Розвиток міст в Україні вимагає нових підходів до планування, які б враховували всі аспекти життєдіяльності урбанізованих територій, від економічних до екологічних.

Велика кількість досліджень з цієї теми у вітчизняних та іноземних вчених доводить важливість даного питання. Так наприклад, тему важливості урбанізаційних процесів підіймали такі вчені, як: Fei, J.C.H. and G. Ranis [7], Davis, Kingsley and Hilda Hertz Golden [8], Harris, John R. and Michael P. Todaro [9], Oluwasola O. [11], Quigley J. M. [12], Заставецький Т.Б. [16], Ю.С. Шипуліна, Н.С. Ілляшенко, Г.О. Комарницька [18].

Зазначені вчені зробили великий внесок у питання дослідження урбанізації, а також методів та моделей її оцінки.

Об'єктом дослідження є урбаністичні процеси в містах України, які включають в себе динаміку розвитку міської інфраструктури, зміни в демографічній структурі, економічні трансформації, соціальні перетворення, а також екологічні аспекти міського життя.

Предметом дослідження є методи та інструменти моделювання, які можуть бути застосовані для аналізу та прогнозування розвитку урбаністичних процесів.

Метою моєї роботи було моделювання та прогнозування урбанізаційних процесів в Україні за допомогою програмної реалізації.

Методи дослідження були використані як загальні, так і спеціалізовані. За допомогою методів аналізу, синтезу та порівняння було здійснено огляд об'єкту та предмету дослідження. Вирішення економіко-математичної моделі та прогнозування здійснювалося за допомогою чисельних та економетричних методів. Комп'ютерне моделювання було ключовим у питанні апробації моделі та проведення експериментів.

Серед **завдань роботи** було виокремлено:

1. Ознайомлення з теоретичними аспектами урбанізаційних процесів
 - 1.1. Огляд моделей та методів вивчення урбанізаційних процесів
 - 1.2. Аналіз перебігу урбанізації в Україні
 - 1.3. Дослідження питання урбанізації в світі
2. Розроблення математичної моделі урбанізаційних процесів в Україні
 - 2.1. Постановка економіко-математичної задачі
 - 2.2. Оцінка параметрів економіко-математичної моделі
 - 2.3. Вибір моделі для здійснення прогнозування даних майбутніх періодів
3. Побудова програмної реалізації моделі процесів урбанізації
 - 3.1. Програмна реалізація динамічної моделі
 - 3.2. Прогнозування перебігу урбанізаційних процесів в Україні на майбутні періоди

Практична цінність роботи полягає в тому, що результати дослідження можуть бути використані місцевими органами влади, урбаністами, архітекторами та розробниками міських стратегій для підвищення ефективності управління міським розвитком та плануванням.

Інформаційною базою цієї роботи є статистичні дані, які були використані для розробки моделі, в тому числі були використані статистичні дані Державної Міграційної Служби, Міністерства охорони здоров'я, Державної Податкової Служби, Державної служби Статистики, а також Регіональних управлень статистики.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури з 37 позицій та додатків.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ УРБАНІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

1.1. Визначення урбанізації, теорії та моделі урбанізаційних процесів

Розвиток урбанізаційних процесів обумовлений різноманітними вимогами, факторами та чинниками, що впливають на різні сфери життя людей. Однак, слід відзначити, що урбанізація перш за все є результатом розвитку людської цивілізації.

Починаючи з 1950 року, населення світу досить швидко зросло у містах. У 1950 році понад 70% населення проживало в сільській місцевості. У 2007 році вперше в історії міське населення перевищило сільське, і з того часу розвиток урбанізації продовжується з великою швидкістю.

Розвиток урбанізації нерозривно пов'язаний із суспільним розвитком. У 1980 році Елвін Тоффлер у своїй роботі «Третя хвиля» провів комплексне дослідження періодизації суспільного розвитку, виділивши три основні стадії: сільське господарство, індустріальний та постіндустріальний. Визначення етапів розвитку урбанізації у світі важливе для розуміння та вирішення проблем, адже це дозволяє виявити рушійні сили та механізми розвитку цих процесів [15].

Урбанізаційні процеси у світі є динамічними та унікальними для кожної країни. З початку 1950-х років в Україні розпочався швидкий розвиток урбанізації, який часто відбувався без контролю та вимагав постійного моніторингу сучасної ситуації, тенденцій та наслідків цього процесу. Оскільки зміни відбуваються внаслідок прогресу, урбанізаційні процеси мають як позитивні, так і негативні наслідки.

Моніторинг та визначення наслідків урбанізаційних процесів є ключовою умовою для прийняття ефективних рішень у державному управлінні та розробленні та реалізації державної політики щодо задоволення потреб громадян. За даними Світового банку, на кінець 2018 року українські міста населені близько 31 мільйонами людей, що становить 69,25% від загальної

чисельності населення. Прогнозується, що до 2050 року українські міста заселить більшість населення країни.

Більшість міст України мають населення менше 20 тисяч осіб, що становить значну частину міських поселень. Основна частина міського населення сконцентрована в окремих містах з населенням менше 300 тисяч осіб. Ця тенденція буде зберігатися і в майбутньому, коли на такі міста припадатиме значна частина приросту населення.

Позитивні наслідки урбанізації в Україні полягають у більш гнучкому розміщенні політики територіального розвитку, ефективному використанні потенціалу, залученні інвесторів та розвитку міст [14]. Однак негативні наслідки урбанізації включають обмежений доступ до житла, транспорту, комунікаційних мереж, а також виникнення проблем із соціально-економічним та екологічним середовищем.

Вирішення цих проблем вимагає ідентифікації проблем як на рівні державної та місцевої влади, так і влади на місцях. Розробка ефективної державної політики та публічно-управлінських рішень, спрямованих на задоволення потреб мешканців та забезпечення сталого розвитку умовах урбанізації, є надзвичайно важливою.

Визначення урбанізації як економічного терміну є дуже важкою задачею через різноманітність теорій, моделей та підходів в кожному регіоні. В загальному розуміння, урбанізація означає фізичне, демографічне та економічне зростання міст. Цей термін також означає концентрацію людей і соціальної активності в поселеннях що характеризується високою щільністю забудови території. Урбанізація є результатом збільшення населення, як через природні причини, так і через імміграцію, а також економічними, соціальними і технологічними змінами, які спонукають людей переїжджати в райони зростання кількості робочих місць і розширення можливостей. Загалом, ринкові сили та урядова політика стимулюють процеси урбанізації та пов'язані з ними зміни в засобах до існування, землекористуванні, охороні здоров'я та управлінні

природними ресурсами, включно з водними ресурсами, включаючи воду, ґрунт, корисні копалини та ліси. Рішення роботодавців щодо розміщення підприємств, трансформації в міському сільському господарстві та виробничих системах, а також державна політика розвитку та бюджетні асигнування можуть заохочувати міграцію до міст та концентрацію соціально-економічної діяльності в містах [1].

Трактування урбанізації є складним через свою багатогранність, так вивченням цього процесу займається багато сучасних міжнародних організацій. Кожна з них, в наслідок різноманіття підходів, має власне визначення (Таблиця 1.1):

Таблиця 1.1.

Різне трактування визначення урбанізації

Урбанізація – це зростання міст унаслідок переміщення населення із сільських районів у пошуках кращої роботи і кращих умов життя [2]	Світовий банк
Процес концентрації населення в містах у результаті міграції із сільських районів або збільшення кількості міських районів	UN-HABITAT
Процес, який описує зміни в популяції від такої, що поширюється на невеликі сільські населені пункти, в яких сільське господарство є домінуючою в економічній активності, до популяції, зосередженої у великих, густонаселених міських поселеннях, які характеризуються домінуванням промисловості та сфери послуг [3]	UNFPA

Продовження таблиці 1.1.

Урбанізація країни – це процес збільшення частки міського населення, який супроводжується зростанням економічної, політичної і культурної значущості міст порівняно із сільською місцевістю [4]	Департамент Організації Об'єднаних Націй з економічних і соціальних питань
Урбанізація – це глобальний процес зміни соціального та екологічного ландшафту на кожному континенті. Урбанізація є результатом міграції населення із сільських районів на додаток до природного міського демографічного росту [5]	ВООЗ

Джерело: складено автором на основі [2, 3, 4, 5]

Традиційна теорія урбанізації, як економічна модель, почала досліджуватися у 1950-х роках. Саме в цей період було сформовано взаємозв'язок між економічними змінами та динамікою ринку праці. Так Lewis, Arthur 1954 та Fei and Ranis 1964 сформували теорію про те, урбанізація обумовлена міграцією з села в місто через різницю в оплаті праці. Тобто так звана «надлишкова» робоча сила переміщується в великі міста в пошуках більшої заробітної платні [6,7].

Проте у Davis and Golden 1954 була представлена модель так званої «надмірної урбанізації», яка утворилась в наслідок диспропорції між попитом на підприємствах в робочій силі та її пропозицією в місті, оскільки дедалі більша частина населення прагнула отримувати більшу винагороди за свою працю [8].

Після утворення цього дисбалансу в економіці, (Harris and Todaro, 1970) переглянули попередні моделі, і сформували власну теорію, на основі якої: рішення про міграцію виникає на основі очікуваного розміру заробітку у великих

промислових районах, а не фактичного. За їх теорією, «надмірна» урбанізація утворюється внаслідок впливу держави, а саме: штучного завищення заробітної плати деякої частини працівників, тим самим лише збільшуючи очікування решти населення. В такому випадку, процес нормування заробітної плати має стабілізувати економічне становище [9].

Проте згодом, за допомогою досліджень інших вчених, було визначено, що моделі, які було згадано вище, описують процес урбанізації у невеликій кількості країн. Так, велика кількість досліджень, виявила ще низку неекономічних мотивів міграції населення в міста, серед яких: здобуття якісної освіти, уникнення гендерної дискримінації, переїзд від батьків тощо.

Наприкінці 20 століття вченими досліджувався вплив клімату, воєнних дій, релігійних упереджень на процеси урбанізації, при цьому більшість досліджень не враховувало ролі динаміки населення. Тобто питання природного приросту, коли збільшення кількості населення в місті відбувається за рахунок зниження смертності населення, в той час як рівень народжуваності залишається сталим. Так Престон у 1979 році виявив залежність між збільшенням населення та збільшенням населення в містах, оскільки «перенаселення» сел викликає загальне зниження якості життя на місцевості [10].

Тобто загального підходу до моделювання урбаністичного процесу не існує, дане питання необхідно досліджувати в випадку кожної окремої країни чи регіону.

Протягом періоду існування теорії урбанізації вчені вивчали також питання впливу даного процесу на економіку. Багато розвинених країн світу вважають урбанізацію однією з причин економічного розвитку.

В доказ цього Oluwasola O. стверджує, що міста є основними центрами економічного зростання та соціального розвитку, оскільки саме в них формуються нові робочі місця, відбуваються наукові та технологічні зрушення, розвивається культурна частина населення. За його думкою, виникнення міста, як територіально одиниці, в розвинених країнах – відповідь на дії певних людей,

інституцій та організацій. Оскільки великі міста є науковими та технологічними центрами країни, вони відіграють вирішальну роль у економічних, політичних, соціальних та культурних справах країни [11].

За словами Quiqley, міська влада відповідальна за організацію та регулювання різноманітних процесів в країні. В його роботі стверджуються, що в містах формується більший відсоток ВВП, який є одним з ключових в розрізі економічного розвитку. Так наприклад, на Мехіко (столиця Мексики) припадає 20,8% населення та 34,3% ВВП всієї країни [12].

Натомість, Terwase Shabu трохи пізніше наводить ще одну думку, стосовно того, що дані твердження вчених, які згадувалися вище, не зовсім відображають дійсність. Оскільки економічний розвиток також залежить від того, чи правильну політику проводить країна, та чи користується вона перевагами агломераційної економіки, яку надає урбанізація. В якості прикладу, наведено приклад країн Латинської Америки, де рівень урбанізації перевищує 80%, проте реальні доходи на душу населення та ВВП є низьким, в порівнянні з іншими країнами [13].

1.2. Урбанізаційні процеси в Україні

Процес урбанізації в Україні, так само як і в усьому світі, є динамічним і має свої чіткі етапи. Перший етап формування і початкового розвитку міст в Україні тривав до XVIII століття і був пов'язаний з розвитком мистецтва і торгівлі. Оскільки ринки збуту продукції сільського господарства та ремесел були обмеженими, а транспортна інфраструктура була неефективною, міста на території України розвивалися повільно. Перші міста, такі як Олевія, Херсонес, Тірас, були засновані греками на узбережжі Чорного моря як центри міжнародної торгівлі, що з часом перетворилися на центри ремесла і торгівлі.

З 6 століття з'являються городища — укріплені поселення, які виступали центрами торгівлі, мистецтва, культури та освіти, а також виконували оборонну функцію. Під час Київської Русі ці городища отримали подальший розвиток і набули вигляду міст, з центром і передмістям. На території Київської Русі існувало понад 300 міст, таких як Київ, Чернігів, Переяслав, Тернопіль, Любеч,

Білгород і багато інших. Більшість міст були зосереджені на Наддніпрянщині, у Галичині та на Волині.

Більшість з цих міст є невеликими, з населенням менше 1000 осіб, за винятком Києва та Чернігова. Потреби у обороні спричинили виникнення міст — адміністративно-оборонних пунктів у 14-16 століттях. На той час понад 1000 населених пунктів мали статус міста, і багато з них мали Магдебурзьке право, яке дозволяло їм мати власне законодавство і власні судові та адміністративні органи. Серед перших міст з Магдебурзьким правом були Сіанук, Львів, Кам'янець, Брест та пізніше — Київ, Ніжин, Чернігів, Пряслав, Козелець, Полтава та інші.

Другий період (18-19 століття) пов'язаний з перетворенням малих містечок на села, а більших містечок — на міста, завдяки новим можливостям транспортного сполучення. Міста стають менше, але зростають у розмірі, наприклад, Алчевськ, Юзюка (Донецьк), Луганськ, Дебальцеве, Катеринослав (Дніпропетровськ), Кам'янське (Дніпродзержинськ), Стрий, Дрогобич, Борислав. Міста з фабриками та заводами, особливо ті, де прокладено залізницю, ростуть поруч з шахтами і кар'єрами. Найбільша кількість нових міст — центрів видобутку — знаходиться у Донецькій та Дніпровській областях, а також нові прикордонні фортеці, такі як Ілісватград, Миколаїв, Павлоград, чи порти, такі як Одеса, Севастополь.

Третій етап пов'язаний із розширенням функцій міст та їх перетворенням на важливі соціально-економічні центри, що почалося у 80-ті роки ХХ століття. Благодаря концентрації потужних промислових підприємств, індустріальних закладів та соціальної інфраструктури міста стали центрами притягання для сільського населення. Кількість міст змінюється як внаслідок соціально-економічних процесів, так і через зміну статусу громад.

Внаслідок швидкої міграції сільського населення у міста у 1930-1940-х роках (період індустріалізації) та у 1960-1980-х роках відбулося значне збільшення кількості міських поселень і міського населення. Так, на той час в Україні було 434 міста і 926 селищ міського типу, де проживала 61% населення

країни. У цей період масово формувалися агломерації, що включали велике місто (ядро агломерації) та його супутні міста (міста-супутники).

З кінця 20 століття й дотепер триває четвертий етап розвитку урбанізації, що вимагає перегляду територій міст та їх перетворення для забезпечення належного розвитку та покращення умов проживання мешканців.

У поточний період, з початку 90-х років ХХ століття, коли загострилися економічні труднощі й скоротилася соціально-економічна база міст, а також зменшилися ресурси для розвитку громад, міський розвиток перебуває в стадії стабілізації. У деяких випадках ця фаза супроводжується урбанізацією Ау. Функції міського розвитку втрачають свою активність через зменшення активності багатьох компаній та установ, що відбивається на зменшенні чисельності населення більшості міст, зокрема й великих [16].

За період з 1989 по 2001 рік сільське населення скоротилося з 17 мільйонів до 16 мільйонів (що становить 6 відсотків), тоді як міське населення зменшилося з 34 мільйонів до 33 мільйонів (що становить 4 відсотки). Взаємодія цих тенденцій призвела до збільшення рівня урбанізації в Україні до 67% у 2001 році. З 2001 по 2011 роки сільське населення зменшилося до 14 мільйонів (тобто на 10 відсотків), тоді як міське населення зменшилося до 31 мільйона (тобто на 4 відсотки). У результаті рівень урбанізації зріс до 68% у 2011 році. У середньому рівень урбанізації продовжує зростати приблизно на 0,15% на рік з 1989 року. Розглянемо на рис. 1.1.

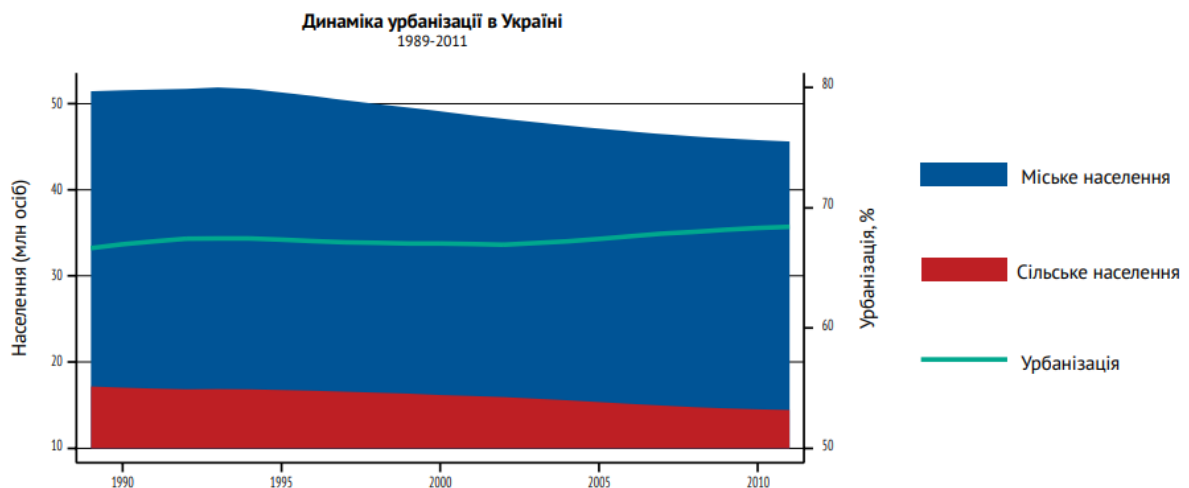


Рис. 1.1. Динаміка урбанізації в Україні 1989-2011 рр.

Джерело: [17]

У 1989 році ступінь урбанізації у східних і південних регіонах вже був високим: відповідно 84% і 70% населення цих регіонів проживало в міських поселеннях. За період з 1989 по 2011 роки рівень урбанізації в цих регіонах залишався сталим, оскільки міське населення зменшувалося приблизно такими ж темпами, як і сільське. Однак центральні та західні регіони мали найнижчу урбанізацію у 1989 році: у містах проживало відповідно 60% та 45% населення. У західному регіоні рівень урбанізації залишився майже незмінним, а в центральному регіоні урбанізація продовжила зростати, досягнувши рівня 67% у 2011 році (у той час як західний регіон мав найнижчий рівень урбанізації серед усіх).

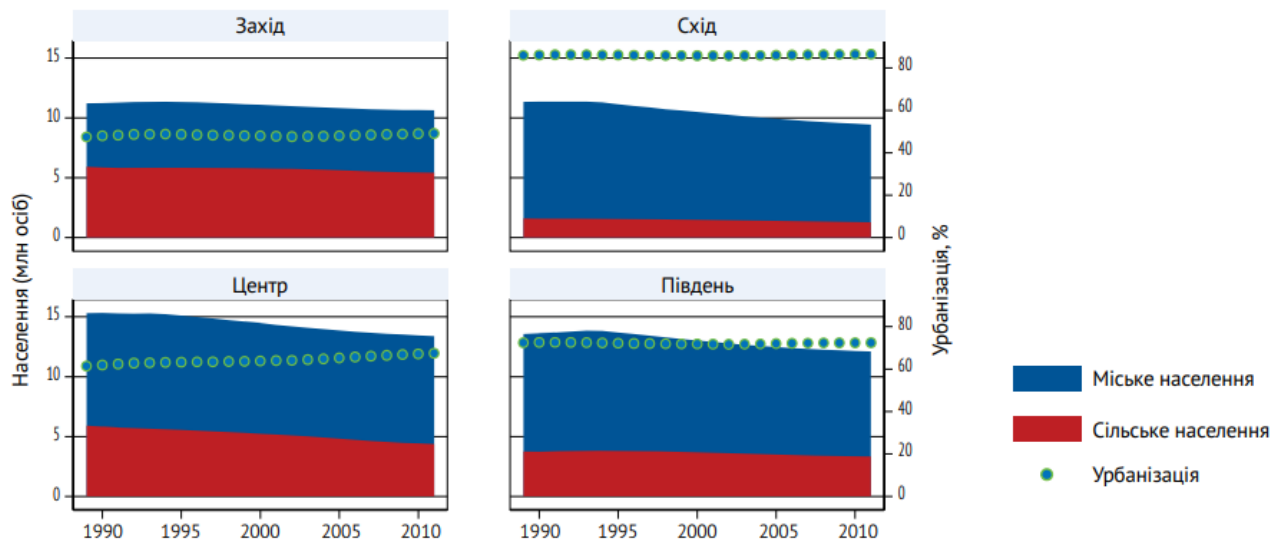


Рис. 1.2. Загальні тенденції урбанізації

Джерело: [17]

У період з 2011 року по 2014 рік загальні тенденції не змінювались. З початком проведення антитерористичної операції на території України та окупації території Криму, загальна характеристика переміщень значно змінилась. Велика кількість населення з таких міст, як Донецьк, Луганськ, Сімферополь та

Севастополь, переміщалися в інші районні центри, з метою знаходження конкурентної заробітної плати, якісних освітніх послуг тощо.

Основним центром міграції стало місто Київ.

Відповідно до даних Державної служби статистики, урбанізація в різних частинах країни дуже відрізняється, так наприклад Харківська та Запорізька області мають рівень урбанізації, вищий за 40%, в той час, як Івано-Франківська та Закарпатська менше 20%.

Відповідно до діаграми, можна свідчити про те, що чим вищий відсоток урбанізації населення, тим вище середньомісячна заробітна плата спостерігається в цьому регіоні (рис.1.4).

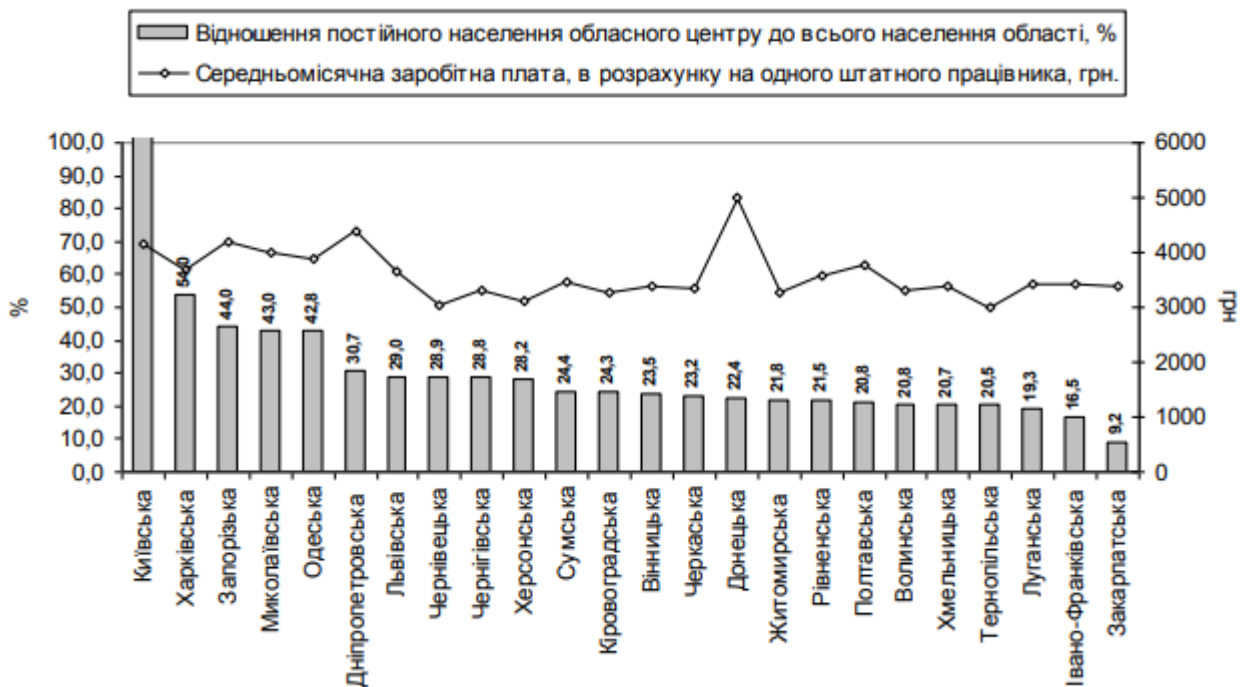


Рис. 1.3. Відсоток урбанізації населення

Джерело: [18]

У період з 2015 року до 2022, в Україні не відбувалося ніяких глобальних зрушень. Відсоток міського населення кожної області залишався майже сталим, в порівнянні з минулими роками. За більшістю областей спостерігався приріст частки до 1% в рік.

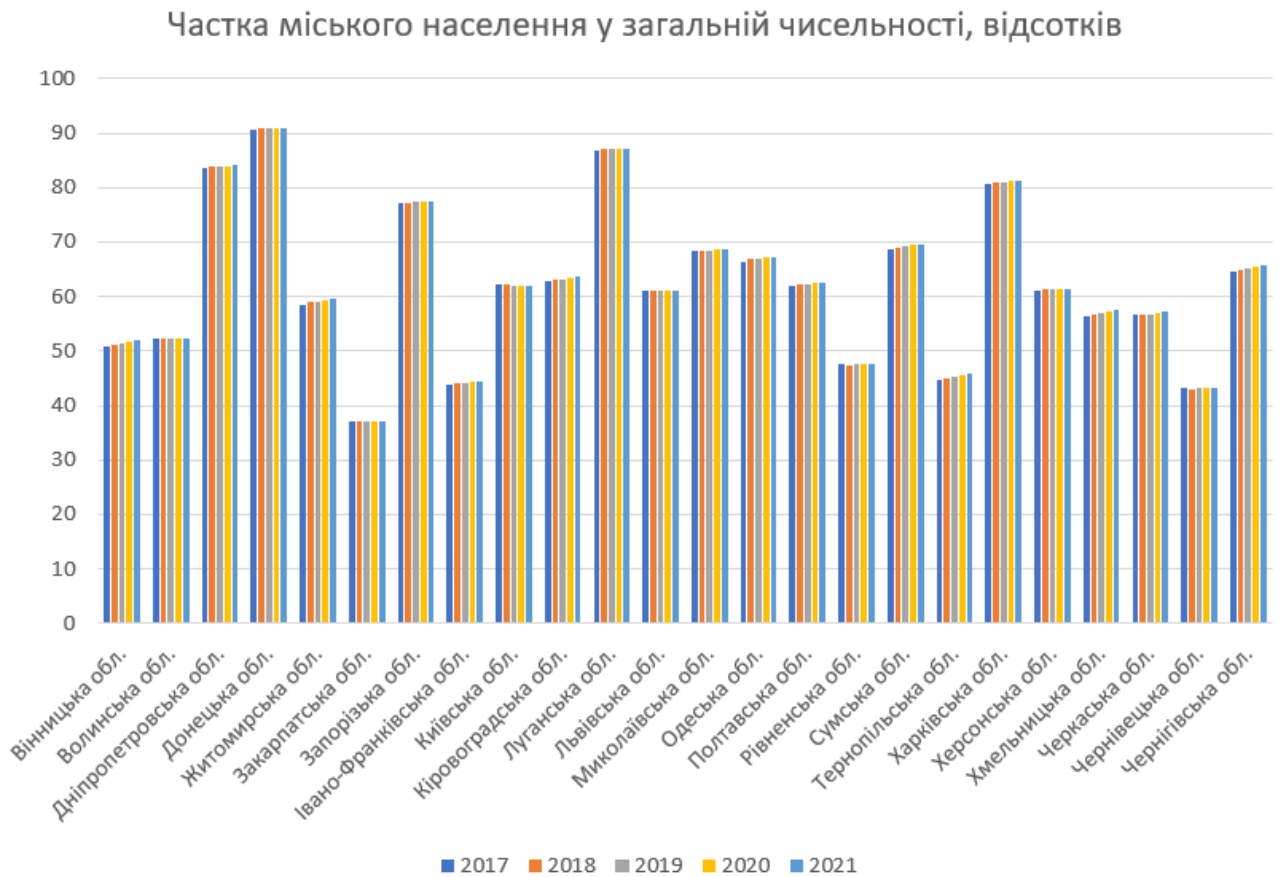


Рис. 1.4. Частка міського населення у загальній чисельності, %

Джерело: складено автором на основі даних [35]

Після початку повномасштабного вторгнення, великий відсоток населення було зареєстровано як внутрішньо-переміщені особи. Так, за даними міграційної служби ЕС, люди покинули такі території, як: Донецька, Запорізька, Харківська області. Та найбільша кількість зареєстрованих ВПО було в Київській та Дніпропетровській областях [18].

По оцінкам УВКБ ООН, близько 17 мільйонів українців перетнуло кордон з початку 2022 року. Та станом на грудень 2022 року, в країнах Європейського Союзу офіційно зареєстровано близько 9 мільйонів українців [20].

Через складність здійснення повноцінної аналітики та досліджень, актуальна інформація, станом на 2024 рік, про темпи урбанізаційних процесів відсутня.

1.3. Сучасні світові агломерації, як одиниці урбанізації та їх вплив на економіку країн

Проблема вивчення даної теми виникає через відсутність єдиного підходу до тлумачення понять і термінів, навіть у визначеннях міжнародних організацій (таких як ООН, UNFPA, UN-НАВІТАТ, Світовий банк, ВООЗ).

Загальновизнаним фактом є те, що урбанізація є незворотнім глобальним процесом зміни місця проживання населення з сільської місцевості та його концентрацією в містах. Цей процес має як значні переваги, так і негативні наслідки (табл. 1.2). Результати цього процесу включають зростання кількості міських поселень та їх населення, збільшення щільності забудови та населення, а також зростання питомої ваги міського населення та коефіцієнта чисельності населення.

Інші результати включають в себе: відсутність зайнятості в сільському господарстві, зростання домінування промисловості та сфери послуг, зміну соціальних і екологічних умов життя, розширення площі міських громад, зміну психологічної поведінки, ціннісних орієнтацій і моральних стандартів (зокрема, поширення "міського способу життя", підвищення вимог до якості життя та побудова нової культури).

Таблиця 1.2.

Переваги та негативні наслідки урбанізаційних процесів

Переваги	Негативні наслідки
Економічні:	Соціальні:

Зростання економіки та створення робочих місць	Зростання бідності та нерівності
Підвищення рівня життя	Переповненість та забруднення
Покращення інфраструктури та послуг	Злочинність та соціальні заворушення
Соціальні:	Екологічні:
Доступ до освіти та охорони здоров'я	Забруднення повітря та води
Різноманіття культур та можливостей	Знищення природних середовищ
Більш активне громадське життя	Зміна клімату

Джерело: складено автором

Основними принципами розвитку урбанізації полягають у таких аспектах: інтенсифікація, диференціація та урізноманітнення діяльності у міському середовищі, а також зміцнення взаємозв'язків між ними. Також, важливим є перехід від точкового і лінійного до вузлового та смугового розміщення, збільшення радіусу забудови житлових районів та поява нових центрів урбанізації. Суттєвою є і ускладнення форм міста та поляризація соціально-економічних, національних, релігійних та інших ознак населення.

Цей процес розвитку урбанізації пройшов кілька етапів. Початковий етап відбувався у 19 столітті в Європі та Північній Америці, коли сільське населення масово мігрувало до міст, що призвело до зростання кількості міських поселень. Другий етап, у другій половині 20 століття, характеризувався розвитком великих міст через утворення агломерацій та мегаполісів, що сприяло розширенню міських культурних норм.

Причинами цих змін були історичне розселення та міграційні потоки, географічні відкриття, війни та інші фактори. Нерівність у рівнях соціально-економічного розвитку регіонів призводила до процвітання та кращого доступу до товарів і послуг у містах. Прискорений розвиток трансформації міських громад полегшував доступ до сучасних досягнень науки і техніки. Крім того,

концентрація освітніх і мистецьких центрів у містах задовольняла освітні та духовні потреби людей, при цьому природні умови ставали менш важливими для вибору місця проживання.

У теоретичному аспекті розвитку урбанізації можна виділити кілька етапів, що передбачають подальше зростання цього процесу [21]: маргіналізація, яка означає виселення мешканців великих міст за їх межі у пошуках кращих умов життя, таких як екологічна, кримінальна, економічна або організаційна ситуація. Цей етап також включає переміщення економічної діяльності з центральних районів до околиць міста.

Урбанізація, з свого боку, передбачає переселення мешканців міст за їх межі у малі міста, тоді як антиурбанізація включає переселення в сільські громади з метою уникнути економічних, демографічних, соціальних або екологічних проблем мегаполісів.

Також варто зазначити, що урбанізація може виявлятися у розширенні міських умов життя й форм в сільській місцевості в результаті маятникової міграції сільського населення до великих міст. Цей процес веде до зміни структури праці, способу життя, соціально-професійної та демографічної структури, а також до підвищення рівня розвитку сільських громад тощо.

С.Дж. Мітчелл ідентифікувала три форми контрурбанізації [22]:

- Ексурбанізація, яка передбачає переселення мешканців міста у сільські поселення, які все ще підтримують тісні зв'язки з головним містом, особливо в контексті роботи, послуг та розваг;
- «Переміщена» урбанізація, що виникає внаслідок економічних чинників, таких як втрата роботи, зниження вартості життя тощо;
- Антиурбанізація, яка пов'язана з відмовою від міського способу життя.

Важливо відзначити, що на фоні поширення та зростання класичної урбанізації у світі набуває актуальності протилежна тенденція - антиурбанізація. Це характеризується збільшенням сільського населення в окремих регіонах та

його зниженням залежності від метрополії за рахунок створення робочих місць, розвитку транспортної та іншої інфраструктури, а також удосконалення комунікацій. Також варто відзначити поняття "неналежної" або псевдоурбанізації [23], яка є поширеною у слаборозвинених країнах. В цьому випадку люди, що проживають у сільських районах, не можуть адаптуватися до міського способу життя, оскільки не можуть знайти роботу, не мають доступу до належних побутових, культурних та соціальних послуг (зокрема, питної води, житла тощо), які є невід'ємними частинами міського життя.

Більш складною формою урбанізації, яка сформувалася в процесі її розвитку, є агломерація - це єдине територіальне угруповання міських та приміських поселень навколо одного або кількох міських центрів (наприклад, столиць, промислових або портових центрів). Ця форма ґрунтується на інтенсивному зв'язку з розподілом функцій. Основними критеріями формування агломерацій є: заснування одного або кількох міст на основі інтенсивного розміщення, розвиток транспортної інфраструктури, інтеграція ринків праці, нерухомості та землі, а також поступове злиття територій сусідніх громад. Агломерації характеризуються концентрацією промислових об'єктів, інфраструктури, культурних та наукових закладів, іншими словами, освітніх і мистецьких центрів тощо. Зазвичай агломерації класифікують за кількістю центрів розвитку (одно-, дво- та багатоцентрові) та за функціональним призначенням (одно- та багатофункціональні) [24].

Під час подальшого розвитку агломерацій формувалися складніші міські системи, такі як мегаполіси або мегалополіси, які є стратегічними економічними, політичними, інформаційними і культурними центрами для країни (регіону). Мегалополіс представляє собою сукупність агломерацій, що стихійно об'єднані в єдину групу з високою концентрацією населення, безперервною лінійною забудовою вздовж магістралей (річок, морів), єдиною інфраструктурою, і внаслідок цього виникають явища позитивної та негативної синергії.

Можливі шляхи вирішення проблем мажоритарного управління в Україні можна пов'язати з такими процесами: створення об'єднаних адміністрацій або народних координаційних рад; встановлення умовних меж населених пунктів відповідно до меж адміністративно-територіальних одиниць (районів, областей); інтеграція управлінської та адміністративної концепції в центральному місті – ядрі агломерації з обов'язковим розробленням комплексних стратегічних планів розвитку агломерації. Пріоритетом є вдосконалення нормативно-правової бази, що визначає організаційні напрями обліку, моніторингу та управління розвитком міських агломерацій.

Політика розвитку міст і підвищення рівня урбанізації вдосконалюється через впровадження принципів ООН, спрямованих на досягнення економічних, соціальних, культурних і екологічних цілей за допомогою розробки просторових стратегій і програм. Застосування цих принципів включає в себе використання політичних механізмів, інструментів, участі інституцій та методів моніторингу.

Рекомендації ООН сприяють формулюванню ключових аспектів міського і територіального планування та наданню рекомендацій, які допомагають управляти демографічними змінами у містах (наприклад, зростанням, стагнацією чи спадом) та покращувати якість життя у наявних і нових міських населених пунктах. При цьому слід враховувати конкретні механізми керування кожною країною та її просторове планування. Ці принципи є важливими на всіх рівнях управління:

1. На транснаціональному або транскордонному рівні: міжнаціональні стратегії розвитку можуть стимулювати інвестиції для вирішення глобальних викликів, таких як зміна клімату та підвищення енергоефективності. Це включає можливості інтеграції міського розвитку у прикордонних районах, зменшення ризику екологічних криз та покращення сталого управління спільними природними ресурсами.

2. На національному рівні: впровадження загальнодержавних проєктів, зокрема, з використанням існуючої інфраструктури та економічного потенціалу

країни. Важливо підтримувати збалансовану структуру міст і селищ, включаючи міські коридори та річкові басейни, для оптимального використання їх потенціалу.

3. На рівні міських територій і мегаполісів: сприяння розвитку шляхом впровадження субрегіональних планів, зокрема, заохочення масштабу та щільності економіки, підтримка міських і сільських зв'язків, а також адаптація до змін клімату та зменшення ризиків стихійних лих.

4. На рівні міста та муніципалітету: розробка стратегій розвитку та комплексних планів може визначити пріоритети для інвестицій. Важливо заохочувати співпрацю та трудові відносини в різних регіонах, а також здійснювати розумне планування землекористування для захисту екологічно чутливих територій.

5. На рівні вулиць та мікрорайонів: розвиток громадського простору може покращити якість життя та соціальну згуртованість, а також залучити місцеві ресурси. Важливо залучати мікрорівневе управління до загального міського планування для покращення просторової комунікації та інтеграції громади.

У різних країнах використовуються різні підходи до втілення принципів ООН: вони охоплюють стратегічне планування міст, загальне планування, соціальне планування та інші. Кожен з цих підходів має свої особливості та спрямований на вплив на місто в цілому, а також на його функції, реалізуючись по-різному.

Незалежно від вибраного підходу, успішна реалізація такого плану завжди потребує сильної політичної волі, взаємодії з відповідними зацікавленими сторонами та трьох компонентів:

- Чітка законодавча та правова база: важливо створити систему законів та нормативних актів, які забезпечують стабільну та передбачувану правову базу для всіх рівнів міського розвитку. Особлива увага повинна бути приділена виконанню чинного законодавства та реагуванню у випадках, коли це необхідно.

- Будівництво та створення надійних та гнучких міст: важливо звернути увагу на архітектурну частину, включаючи дизайн та практичність будівництва нових районів для оптимізації мобільних та економічних послуг для міського населення у майбутньому.

- Фінансовий план економічної ефективності та економічності впровадження: успіх у реалізації проектів розвитку міст залежить від міцної фінансової бази, включаючи конкретні державні та приватні інвестиції. Фінансовий план повинен враховувати фактичні доходи та бюджет, а також справедливий розподіл витрат між усіма зацікавленими сторонами.

Збалансованість цих трьох компонентів дозволить здійснювати міськобудівні проекти з високою ймовірністю успіху.

Висновок до 1 розділу

Дослідження урбанізаційних процесів як об'єкта державного управління сприяло формулюванню ряду теоретико-методологічних положень.

Урбанізація є незворотнім процесом як на глобальному рівні, так і в межах окремих країн. Глобальні економічні, політичні та культурні процеси сприяють подальшій урбанізації. В Україні основними тенденціями урбанізації є зростання частки міського населення та укрупнення міст.

Теоретичні положення державного управління в контексті урбанізаційних процесів включають:

- Розробка різних наукових підходів до вивчення проблем урбанізації з урахуванням специфіки різних наук.
- Визначення наукових засад державного управління, які не дозволяють урахувати різноманітність підходів до формулювання державної політики, спрямованої на мінімізацію негативних наслідків та максимізацію можливостей урбанізації.
- Визначення авторського підходу до розуміння сутності урбанізації як об'єкта державного управління, зокрема, як процес змін соціально-

економічного та культурного середовища в містах і селах, спричинених зростанням міського населення та концентрацією ресурсів у міських районах.

Отже, урбанізація - це складне соціально-економічне явище, яке охоплює зростання міського населення, розширення міських територій та посилення впливу міст на навколишнє середовище. Вивчення цього процесу ґрунтується на низці теоретичних положень, які допомагають зрозуміти його динаміку, фактори та наслідки.

РОЗДІЛ 2. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УРБАНІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ УКРАЇНИ

2.1 Постановка економіко-математичної задачі

Основна задача дослідження полягає в моделюванні динамічних міграційних процесів, що у своєму внутрішньому варіанті, називаються процесами урбанізації регіонів країни. Для розв'язання поставленої задачі, необхідно побудувати економіко-математичну модель, що враховуючи задану множину факторів впливу, дасть змогу проводити якісне моделювання внутрішніх міграційних процесів та прогнозувати рівень урбанізації певного регіону, на майбутні періоди.

Для побудови динамічної системи урбаністичного розвитку, було прийняте рішення про використання великої кількості параметрів, що мають як сильний, так і відносно сильний вплив на рівень урбанізації. В якості факторів впливу було відібрано такі: середня заробітна плата, вартість оренди житла, якість повітря, рівень розвитку інфраструктури, культурний потенціал, індекс вартості життя та рівень безробіття. Враховуючи структуру описаних факторів, модель, що розроблена у контексті дослідження, може застосовуватись для моделювання динаміки урбанізації для довільних населених пунктів та регіонів, з огляду на це, в процесі дослідження, моделювання проводитиметься для 24-х областей України, з метою виявлення тенденцій за якими відбуваються урбаністичні процеси протягом 2021 року та порівняння отриманих даних з усередненими значеннями, з метою оцінки точності побудованої моделі. Додатково, за результатами роботи реалізованої динамічної системи, проведемо прогнозування показників урбанізації на майбутні періоди.

Враховання такої великої кількості факторів, дозволить отримати більш статистично значимі результати моделювання, оскільки відкриється можливість встановлення складних залежностей між показниками, що, в свою чергу, покращить аналіз та прогнозування міграційних процесів, всередині країни.

На даному етапі дослідження, доцільно сформулювати економіко-математичну модель, що описуватиме динаміку процесів урбанізації.

Розглянемо такі показники:

$W_i(t)$ – середня заробітна плата в i –му населеному пункті в момент часу t .

$H_i(t)$ – середня вартість оренди житла в i –му населеному пункті.

$A_i(t)$ – показник якості повітря в i –му населеному пункті (від 0 до 1, де 1 найбільш чисте повітря).

$E_i(t)$ – рівень розвитку інфраструктури (транспорт, медицина, освіта тощо) в i –му населеному пункті (від 0 до 1).

$C_i(t)$ – культурний потенціал i –го населеного пункту (наявність театрів, музеїв, розважальних закладів тощо) (від 0 до 1).

$P_i(t)$ – населення i –го населеного пункту в момент часу t .

$v_i(t)$ – індекс вартості життя в i –му пункті.

$u_i(t)$ – рівень безробіття в i –му пункті.

$B_i(t)$ – приріст населення через народжуваність.

$D_i(t)$ – зменшення населення через смертність.

Тоді **рівняння динаміки рівня населення** (2.1) задається такою системою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = B_i(t) - D_i(t) + M_i(t), \quad (2.1)$$

Де, $M_i(t)$ – функція, що описує міграційний потік населення, тобто відносну різницю між тими, хто виїхав з населеного пункту та тими, хто заїхав, протягом заданого проміжку часу t .

Динаміку міграційного потоку населення, що представлена у вигляді $M_i(t)$ у формулі (2.1), ми визначаємо у вигляді формули (2.2).

$$M_i(t) = \sum_{j \neq i} m_{ij}(t)P_j(t), \quad (2.2)$$

Де, $m_{ij}(t)$ – функція, що обчислює, як раз, різницю між тими, хто виїхав та тими, хто приїхав в населений пункт.

Функція $m_{ij}(t)$ з формули (2.2) записується таким чином у формулі (2.3).

$$\begin{aligned} m_{ij}(t) = & \alpha_1 (W_j(t) - W_i(t)) + \alpha_2 (H_i(t) - H_j(t)) + \alpha_3 (A_j(t) - A_i(t)) \\ & + \alpha_4 (E_j(t) - E_i(t)) + \alpha_5 (C_j(t) - C_i(t)) + \alpha_6 (P_j(t) - P_i(t)) \\ & + \alpha_7 (v_j(t) - v_i(t)) + \alpha_8 (u_i(t) - u_j(t)) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Де, α_{1-8} – деяка додатня константа

Серед усіх показників, що були розглянуті раніше, залишається ввести параметр рівня урбанізації населеного пункту таким чином, у вигляді диференційного рівняння (2.4).

$$\begin{aligned} \frac{dU_i(t)}{dt} = & \beta_1 P_i(t) + \beta_2 W_i(t) + \beta_3 H_i(t) + \beta_4 A_i(t) + \beta_5 E_i(t) + \beta_6 C_i(t) \\ & + \beta_7 v_i(t) + \beta_8 u_i(t) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Де, β_{1-8} – деяка додатня константа

Рівняння (2.3) та (2.4) містять вагові коефіцієнти $\alpha_i, \beta_i, i \in [1,8]$, вони вказують на ступінь важливості того чи іншого параметра в моделі, тобто який фактор більше впливає на вибір людини переїжджати, або залишатися в даному населеному пункті. Важливість параметрів доцільно визначати або за допомогою експертних систем, або на основі проведення послідовності експериментів, з метою отримання результатів, що задовольнятимуть вказаний, наперед рівень точності.

Базові аспекти, що мають позитивний чи негативний вплив на фактор урбанізації та міграції, можна описати таким чином:

1. Люди схильні мігрувати в пункти з вищими зарплатами.
2. Мігрують в пункти з дешевшим житлом.

3. Притягує міграцію до пунктів з кращою інфраструктурою.
4. Люди прагнуть жити в культурних осередках.
5. Імовірність міграції вища до більш урбанізованих пунктів.
6. Міграція більш вірогідна до пунктів з нижчою вартістю життя.
7. Люди шукають роботу, переїжджаючи в пункти з нижчим безробіттям.

Ці аспекти недоречно розглядати як спосіб визначення вагових коефіцієнтів моделі, однак вони дозволяють робити припущення про загальний характер динаміки внутрішніх процесів міграції по населеним пунктам.

2.2 Оцінка параметрів економіко-математичної моделі

Враховуючи складність реалізованої моделі, для її розв'язання було прийнято рішення використовувати чисельний метод розв'язання систем диференційних рівнянь – чисельне інтегрування методом Рунге-Кутта 4-го порядку. Загальний алгоритм даного методу описується рекурентним чином і працює даний чисельний метод зі звичайними диференційними рівняннями першого порядку, як раз тими, що виникають в побудованій моделі. Алгоритм (2.5) та (2.6) застосування даного методу може бути представлено у вигляді.

$$y_{k+1} = y_k + \frac{(m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4)h}{6}, \quad (2.5)$$

де

$$\begin{aligned} m_1 &= f(x_k, y_k), \\ m_2 &= f\left(x_k + \frac{h}{2}, y_k + \frac{m_1 h}{2}\right), \\ m_3 &= f\left(x_k + \frac{h}{2}, y_k + \frac{m_2 h}{2}\right), \\ m_4 &= f(x_k + h, y_k + m_3 h), k = 0, \dots, N - 1. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Враховуючи математичну модель задачі, задану в 2.1 – 2.4, можна записати вектор змінних стану системи $y(t)$:

$$y(t) = \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \dots \\ P_n(t) \\ U_1(t) \\ U_2(t) \\ \dots \\ U_n(t) \end{bmatrix}, \quad (2.7)$$

Такий запис є більш зручним для розв'язання, оскільки загальна система диференційних рівнянь, в такому випадку, може бути подана у векторному вигляді:

$$\frac{dy(t)}{dt} = f(t, y(t)), \quad (2.8)$$

Застосуємо метод Рунге-Кутта 4-го порядку для чисельного розв'язання цієї системи. На кожному часовому кроці t_n потрібно обчислити проміжні значення k_1, k_2, k_3, k_4 за формулами (2.9).

$$\begin{aligned} k_1 &= f(t_n, y_n), \\ k_2 &= f\left(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1 h}{2}\right), \\ k_3 &= f\left(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2 h}{2}\right), \\ k_4 &= f(t_n + h, y_n + k_3 h). \end{aligned} \quad (2.9)$$

де h – крок інтегрування;

$$y_n = y(t_n). \quad [27]$$

Тоді, після визначення коефіцієнтів, можна оновити поточне значення функції:

$$y_{n+1} = y(t_{n+1}), \quad (2.10)$$

де $t_{n+1} = t_n + h$.

Оновлене значення шуканої функції задається в такому форматі:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) + O(h^5), \quad (2.11)$$

Основна частина методу, який використовується для розв'язання даної задачі, становить обчислення коефіцієнтів моделі k_1, k_2, k_3, k_4 , тому розглянемо цей процес у формулах (2.12) – (2.15). Для обчислення k_1 , необхідно підставити поточні значення y_n у вектор-функцію $f(t, y(t))$:

$$k_1 = \begin{bmatrix} B_1(t_n) - D_1(t_n) + \sum_{j \neq 1} m_{1j}(t_n) P_j(t_n) \\ B_2(t_n) - D_2(t_n) + \sum_{j \neq 2} m_{2j}(t_n) P_j(t_n) \\ \dots \\ \beta_1 P_1(t_n) + \beta_2 W_1(t_n) + \beta_3 H_1(t_n) + \dots + \beta_6 C_1(t_n) + \beta_7 v_1(t_n) + \beta_8 u_1(t_n) \\ \beta_1 P_2(t_n) + \beta_2 W_2(t_n) + \beta_3 H_2(t_n) + \dots + \beta_6 C_2(t_n) + \beta_7 v_2(t_n) + \beta_8 u_2(t_n) \\ \dots \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Для обчислення k_2 потрібно обчислити проміжне значення $y_n + \frac{h}{2} k_1$ і підставити його у вектор-функцію $f(t, y(t))$:

$$k_2 = \begin{bmatrix} B_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) - D_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \sum_{j \neq 1} m_{1j}\left(t_n + \frac{h}{2}\right) P_j\left(t_n + \frac{h}{2}\right) \\ B_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) - D_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \sum_{j \neq 2} m_{2j}\left(t_n + \frac{h}{2}\right) P_j\left(t_n + \frac{h}{2}\right) \\ \dots \\ \beta_1 P_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \beta_2 W_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \beta_3 H_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \dots + \beta_8 u_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) \\ \beta_1 P_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \beta_2 W_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \beta_3 H_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \dots + \beta_8 u_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) \\ \dots \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Аналогічно обчислюємо значення коефіцієнту k_3 та k_4 , відповідно таким чином, для k_3 потрібно обчислити проміжне значення $y_n + \frac{h}{2} k_2$ і підставити його у вектор-функцію $f(t, y(t))$:

$$k_3 = \begin{bmatrix} B_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) - D_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \sum_{j \neq 1} m_{1j}\left(t_n + \frac{h}{2}\right) P_j\left(t_n + \frac{h}{2}\right) \\ B_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) - D_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \sum_{j \neq 2} m_{2j}\left(t_n + \frac{h}{2}\right) P_j\left(t_n + \frac{h}{2}\right) \\ \dots \\ \beta_1 P_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \beta_2 W_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \beta_3 H_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \dots + \beta_8 u_1\left(t_n + \frac{h}{2}\right) \\ \beta_1 P_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \beta_2 W_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \beta_3 H_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) + \dots + \beta_8 u_2\left(t_n + \frac{h}{2}\right) \\ \dots \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Для обчислення k_4 потрібно обчислити проміжне значення $y_n + hk_3$ і підставити його у вектор-функцію $f(t, y(t))$:

$$k_4 = \begin{bmatrix} B_1(t_n + h) - D_1(t_n + h) + \sum_{j \neq 1} m_{1j}(t_n + h) P_j(t_n + h) \\ B_2(t_n + h) - D_2(t_n + h) + \sum_{j \neq 2} m_{2j}(t_n + h) P_j(t_n + h) \\ \dots \\ \beta_1 P_1(t_n + h) + \beta_2 W_1(t_n + h) + \beta_3 H_1(t_n + h) + \dots + \beta_8 u_1(t_n + h) \\ \beta_1 P_2(t_n + h) + \beta_2 W_2(t_n + h) + \beta_3 H_2(t_n + h) + \dots + \beta_8 u_2(t_n + h) \\ \dots \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Не менш важливим етапом розв'язання поставленої задачі є збір та первинна обробка даних, з метою виявлення структури часових рядів, що утворюють динаміку кожного з факторів. Більш того очищення даних від аномалій дозволяє мінімізувати вплив випадкових спостережень, що не є закономірними та не становлять статистичної значущості, на рівень урбанізації.

В якості бази даних, для зберігання значень вхідних параметрів, було обрано таблиці Ексель-формату, оскільки структура бази даних доволі складна, через те, що дані представлені часовими рядами по кожній області України. Тобто загалом, база даних представлена 8-ма таблицями.

Саме в такому форматі дані будуть застосовуватися у процесі програмування.

2.3 Прогнозування динаміки процесів урбанізації в Україні

В результаті розв'язання задачі моделювання динаміки урбанізаційних процесів, утворюється додаткова таблиця в базі даних, що міститиме динаміку міграційного потоку населення в період з 2021-01-01 по 2021-12-31 для кожної з 24-х областей.

На базі результатів чисельного вирішення диференціальних рівнянь, з метою подальшого прогнозування, можна застосовувати спеціалізовані моделі часових рядів. Однією з найбільш сучасних та потужних моделей для прогнозування розвитку стаціонарних та нестаціонарних показників є ARIMA – Autoregressive Integrated Moving Average. [25]

Модель сезонних часових рядів ARIMA (SARIMA) була вперше представлена Боксом-Дженкінсом і успішно використовується для прогнозування економічних, маркетингових, соціальних проблем тощо. Ця модель має перевагу точного прогнозування протягом невеликих періодів. [28]

Ефективність застосування даної моделі полягає в тому, що вона враховує історичні значення часового ряду динаміки, тобто може відтворювати трендову складову та сезонність, що дозволяє враховувати складні залежності в даних. Більш того, даний підхід дозволяє враховувати похибки прогнозування в історичних даних, що підвищує точність роботи даного методу.

Модель ARIMA складається з трьох компонентів: авторегресійного (AR), інтегрованого (I) та ковзного середнього (MA). Її математичну модель можна записати у такому вигляді:

$$\varphi(B)(1 - B)^d y_t = \theta(B)\varepsilon_t, \quad (2.16)$$

де y_t – значення часового ряду в момент часу t ;

B – оператор зсуву назад, що визначається таким чином:

$$B y_t = y_{t-1}, \quad (2.17)$$

d – порядок інтегрування (кількість разів, коли потрібно взяти різницю для усунення нестаціонарності);

ε_t – білий шум (послідовність некорельованих випадкових величин з нульовим середнім значенням і сталою дисперсією);

$\varphi(B)$ – авторегресійний поліном порядку p :

$$\varphi(B) = 1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p, \quad (2.18)$$

$\theta(B)$ – поліном ковзного середнього порядку q :

$$\theta(B) = 1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 + \dots + \theta_q B^q \quad [26], \quad (2.19)$$

Враховуючи той факт, що динаміка міграційних потоків може мати сезонний характер та певний тренд, то застосування даної моделі є найбільш доцільним. Розглянуті математичні моделі та засоби вирішення сформованих задач, дозволяють програмно розробляти основну модель дослідження з метою моделювання динаміки урбанізації в Україні.

Висновок до розділу 2

За результатами проведеного дослідження було виявлено фактори, що варто враховувати при аналізі урбанізаційних та міграційних процесів населення. На основі цих даних, було побудовано та обґрунтовано структуру математичної моделі, що описує динаміку цих процесів. Було побудовано систему диференціальних рівнянь та обґрунтовано метод розв'язання задачі, що полягає в застосуванні чисельного інтегрування Рунге-Кутта 4-го порядку точності для отримання даних динаміки міграційного потоку.

З метою прогнозування, вирішено використовувати модель ARIMA, яка в своєму прогнозуванні зможе відтворювати не лише лінійну тенденцію, а й сезонну складову моделі.

РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ УРБАНЦІЗАЦІЇ

3.1 Програмна реалізація динамічної моделі

На першому етапі розробки доцільно обґрунтувати вибір програмних засобів, які будуть використані в процесі реалізації системи. В якості мови програмування для реалізації описаних моделей та засобів, було обрано Python. На вибір даного засобу вплинуло декілька факторів:

1. Простота мови, синтаксису та високий рівень читабельності коду, дозволяє реалізовувати складні математичні моделі, описуючи їх залежності без необхідності контролю використаної пам'яті, оскільки дана мова є високорівневою;
2. Python має широкий вибір бібліотек для обробки даних, включаючи pandas для роботи з даними у вигляді таблиць, numpy для числових обчислень та matplotlib/seaborn для візуалізації результатів, що робить його потужним інструментом для аналізу часових рядів та взаємодії з ними;
3. Python має багато бібліотек для статистичного аналізу, таких як statsmodels, яка містить реалізацію моделі ARIMA, що дозволяє легко використовувати цей метод для прогнозування часових рядів.

Для реалізації описаної задачі та її розв'язання було використано велику кількість програмних бібліотек, що надає середовище мови програмування Python (рис. 3.1):

```
import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.integrate import odeint

import geopandas as gpd
import matplotlib.pyplot as plt
import os

import matplotlib.ticker as ticker
import matplotlib.image as mimg
from matplotlib import animation
from matplotlib.animation import FuncAnimation
from matplotlib.offsetbox import (TextArea, DrawingArea, OffsetImage,
                                  AnnotationBbox, OffsetBox)

from matplotlib.colors import Normalize
from matplotlib.cm import ScalarMappable
from matplotlib.patches import Patch
```

Рис. 3.1 – Бібліотеки, використані в процесі розв’язання задачі дослідження
Джерело: розрахунки автора

Як можна помітити, для реалізації моделі дослідження, було використано доволі велику кількість бібліотек, тому доцільно обґрунтувати використання кожного з використаних модулів:

1. **pandas**: Ця бібліотека імпортується для роботи з даними у вигляді таблиць. Вона дозволяє легко завантажувати, обробляти та аналізувати дані про міграційні потоки та інші вхідні дані;
2. **numpy**: Ця бібліотека використовується для числових обчислень, що дозволяє ефективно виконувати операції з масивами даних, оскільки основна роботи відбувається з таблицями з бази даних;
3. **scipy (odeint)**: Ця бібліотека застосовується для чисельного інтегрування системи диференціальних рівнянь, що дозволяє отримати розв’язки в явному вигляді, для подальшої взаємодії з ними;
4. **geopandas**: Ця бібліотека використана для роботи з географічними даними, зокрема з областями України. Вона надає зручний спосіб обробки та візуалізації геоданих;

5. matplotlib: Ця бібліотека використана для візуалізації даних, що дозволяє побудувати графіки та анімації для аналізу та відображення результатів моделювання;
 6. os: Цей модуль використаний для взаємодії з операційною системою, що допомагає управляти файлами та директоріями у проекті. Оскільки всі дані зберігаються в таблицях бази даних, то виникає постійна необхідність взаємодії з ними: трансформація даних, об'єднання та злиття таблиць тощо.
- [30]

На першому етапі розробки моделі, база даних мала таку структуру (рис. 3.2):



Рис. 3.2 – Структура бази даних проекту

Джерело: розрахунки автора

Відразу видно, що кожен показник, що досліджується в моделі має окрему таблицю. Такий підхід полегшує обробку даних, фільтрацію даних та взаємодію з даними для кожної області окремо, оскільки нас цікавить моделювання динаміки по кожній області, а не країни, в цілому.

В процесі дослідження літератури сучасних вітчизняних та зарубіжних дослідників питань міграції та урбанізації вдалося визначитись із ваговими коефіцієнтами моделі у таблиці 3.1:

Таблиця 3.1

Значення вагових коефіцієнтів моделі

Показник	Зарплата	Оренда	Якість повітря	Інфраструктура	Культура	Популяція	Вартість життя	Безробіття
α	0.3	0.2	0.1	0.15	0.1	0.05	0.05	0.05
β	0.2	0.25	0.1	0.05	0.15	0.1	0.1	0.05

Після визначення значень вагових коефіцієнтів стало можливим реалізувати основну математичну модель, що була описана в попередньому розділі (рис. 3.3):

```
# Параметри моделі
alpha = np.array([0.3, 0.2, 0.1, 0.15, 0.1, 0.05, 0.05, 0.05])
beta = np.array([0.2, 0.25, 0.1, 0.05, 0.15, 0.1, 0.1, 0.05])

# Кількість областей
num_regions = len(wages_time_series.columns)

# Початковий стан системи
init_state = np.concatenate((wages_time_series.iloc[0], rent_time_series.iloc[0], air_quality_time_series.iloc[0],
                             infrastructure_time_series.iloc[0], culture_time_series.iloc[0], population_time_series.iloc[0],
                             cost_of_living_time_series.iloc[0], unemployment_time_series.iloc[0], np.zeros(num_regions)))

# Кількість днів
num_days = len(wages_time_series)

# Масив часових точок
time_points = np.arange(num_days)
```

Рис. 3.3 – Програмна реалізація моделі

Джерело: розрахунки автора

Після встановлення та ініціалізації основних параметрів моделі, що були попередньо зчитані з бази даних, з відповідних таблиць, було реалізовано систему диференціальних рівнянь (рис. 3.4):

```
def migration_flow(state, t, alpha):
    # Отримуємо дані для кожної області зі стану
    W, H, A, E, C, U, P, dP, dU = state[:num_regions], state[num_regions:2*num_regions], state[2*num_regions:3*num_regions],
    state[3*num_regions:4*num_regions], state[4*num_regions:5*num_regions], state[5*num_regions:6*num_regions],
    state[6*num_regions:7*num_regions], state[7*num_regions:8*num_regions], state[8*num_regions:]

    # Матриця міграційних потоків
    m = np.zeros((num_regions, num_regions))
    for i in range(num_regions):
        for j in range(num_regions):
            if i != j:
                m[i, j] = alpha[0] * (wages_time_series.iloc[int(t), j] - wages_time_series.iloc[int(t), i]) + \
                    alpha[1] * (rent_time_series.iloc[int(t), i] - rent_time_series.iloc[int(t), j]) + \
                    alpha[2] * (air_quality_time_series.iloc[int(t), j] - air_quality_time_series.iloc[int(t), i]) + \
                    alpha[3] * (infrastructure_time_series.iloc[int(t), j] - infrastructure_time_series.iloc[int(t), i]) + \
                    alpha[4] * (culture_time_series.iloc[int(t), j] - culture_time_series.iloc[int(t), i]) + \
                    alpha[5] * (U[j] - U[i]) + \
                    alpha[6] * (cost_of_living_time_series.iloc[int(t), j] - cost_of_living_time_series.iloc[int(t), i]) + \
                    alpha[7] * (unemployment_time_series.iloc[int(t), i] - unemployment_time_series.iloc[int(t), j])

    M = np.sum(m, axis=1)
    dP_new = M
    dU_new = np.zeros(num_regions)
    for i in range(num_regions):
        dU_new[i] = beta[0] * P[i] + beta[1] * wages_time_series.iloc[int(t), i] + beta[2] *
            rent_time_series.iloc[int(t), i] + beta[3] * air_quality_time_series.iloc[int(t), i] + beta[4] *
            infrastructure_time_series.iloc[int(t), i] + beta[5] * culture_time_series.iloc[int(t), i] + beta[6] *
            cost_of_living_time_series.iloc[int(t), i] + beta[7] * unemployment_time_series.iloc[int(t), i]
    return np.concatenate((W, H, A, E, C, U, P, dP_new, dU_new))
```

Рисунок 3.4 – Реалізація методу Рунге-Кутта 4-ого порядку

Джерело: розрахунки автора

Далі було застосовано чисельний метод інтегрування ЗДР, Рунге-Кутта 4-го порядку, для отримання результатів (рис. 3.5):

```
# Запускаємо модель
result = odeint(migration_flow, init_state, time_points, args=(alpha,))

# Зберігаємо результат у файл Excel
columns = wages_time_series.columns
migration_data = pd.DataFrame(result[:, -num_regions:], columns=columns)
migration_data.to_excel('migration_flow.xlsx', index=False)
```

Рис. 3.5 – Реалізація чисельного інтегрування системи диференціальних рівнянь

Джерело: розрахунки автора

Додатково, отримані дані були записані в нову таблицю бази даних, що містить динаміку міграційних потоків по кожній з досліджуваних областей (рис. 3.6):

8742	Chernihiv Oblast	-0,090027729
8743	Chernihiv Oblast	-0,197948651
8744	Chernihiv Oblast	-0,186084724
8745	Chernihiv Oblast	0,111772114
8746	Chernihiv Oblast	-0,016455062
8747	Chernihiv Oblast	-0,110915579
8748	Chernihiv Oblast	-0,121253309
8749	Chernihiv Oblast	-0,173525156
8750	Chernihiv Oblast	0,124059384
8751	Chernihiv Oblast	-0,012629388
8752	Chernihiv Oblast	0,217067723
8753	Chernihiv Oblast	0,253288153
8754	Chernihiv Oblast	0,369847914
8755	Chernihiv Oblast	0,379182149
8756	Chernihiv Oblast	0,355240239
8757	Chernihiv Oblast	0,454397159
8758	Chernihiv Oblast	0,534930659
8759	Chernihiv Oblast	0,587772106
8760	Chernihiv Oblast	0,536385086
8761	Chernihiv Oblast	0,56853451

Рис. 3.6 – Структура створеної таблиці

Джерело: розрахунки автора

Дана таблиця представляє собою структуру з 3 полів: «Регіон», «Значення міграційного потоку», «Дата», по кожній області записано певна кількість значень, структура таблиці, для зручності, сформована так, що всі області знаходяться в одному полі, це полегшить подальше опрацювання даних.

Після розв'язання систем диференційних рівнянь, виникає необхідність динамічного відображення зміни цих даних на карті України, по кожній області. Для цього необхідно реалізувати програмний модуль, що створить порожній об'єкт – карту України з контурами областей та їх географічними кордонами (рис. 3.7):

```
ukraine = gpd.read_file(r'UKR_ADM1.shp')
```

```
fig, ax = plt.subplots(figsize=(12,10))
ukraine.plot(linewidth=0.5, edgecolor='grey', legend=False, color='white', ax=ax)
ax.set_axis_off()
plt.show()
```

Рис. 3.7 – Реалізація початкової карти для візуалізації динаміки міграційних процесів

Джерело: розрахунки автора

У результаті виконання цього модуля, було отримано порожню карту в такому вигляді (рис. 3.8):



Рис. 3.8 – Графічний елемент для візуалізації динаміки

Джерело: розрахунки автора

Саме з цим графічним об'єктом будуть відбуватися подальші дії та програмні маніпуляції, однак варто зазначити, що цей об'єкт є векторним об'єктом, в якому кожна точка має свої координати, а отже кожною точкою карти можна керувати та встановлювати зв'язки між ними. Саме цей аспект і дозволяє будувати зміни показника міграційного потоку в динаміці.

За результатами створення векторного полотна для візуалізації динаміки, було додано нову таблицю в базу даних, що містить точні координати кожної з областей, що дозволяє будувати залежність між значеннями міграційного потоку в даній області та її географічним положенням на карті (рис. 3.9):

	ISO_Code	Level	Name	adm	adm_int	feature_id	gbid	iso	geometry
0	UA-65	ADM1	Kherson Oblast	ADM1	1	0	UKR_ADM1_1_3_3_0	UKR	POLYGON ((35.46760 46.14516, 35.46262 46.13371...
1	UA-07	ADM1	Volyn Oblast	ADM1	1	1	UKR_ADM1_1_3_3_1	UKR	POLYGON ((26.10729 51.00529, 26.08816 51.00426...
2	UA-56	ADM1	Rivne Oblast	ADM1	1	2	UKR_ADM1_1_3_3_2	UKR	POLYGON ((27.73464 51.59371, 27.73370 51.59002...
3	UA-18	ADM1	Zhytomyr Oblast	ADM1	1	3	UKR_ADM1_1_3_3_3	UKR	POLYGON ((29.73521 49.94438, 29.72536 49.94179...
4	UA-32	ADM1	Kyiv Oblast	ADM1	1	4	UKR_ADM1_1_3_3_4	UKR	MULTIPOLYGON (((30.34907 50.48887, 30.34805 50...

Рис. 3.9 – Структура визначення геометричних особливостей кожної області України

Джерело: розрахунки автора

Як можна помітити, є прив'язка між назвою області та полігоном (масивом) її координат, що описують її просторове положення.

Наступним етапом було створення циклу, що одночасно об'єднував дані з двох таблиць бази даних, перший, що містить інформацію про міграційну динаміку по областях, а другий, що містить інформацію про геометричні особливості кожної області. Дане об'єднання необхідне для того, щоб за допомогою зовнішнього ключа «Регіону» побудувати відображення показника динаміки в геометричні особливості даного регіону. Таким чином, стане можливим змінювати показник міграційного потоку по кожній області незалежно.

В результаті моделювання, отримуємо відеопотік, що демонструє коливання динаміки міграційного потоку, протягом року, на території України, по кожній області окремо.

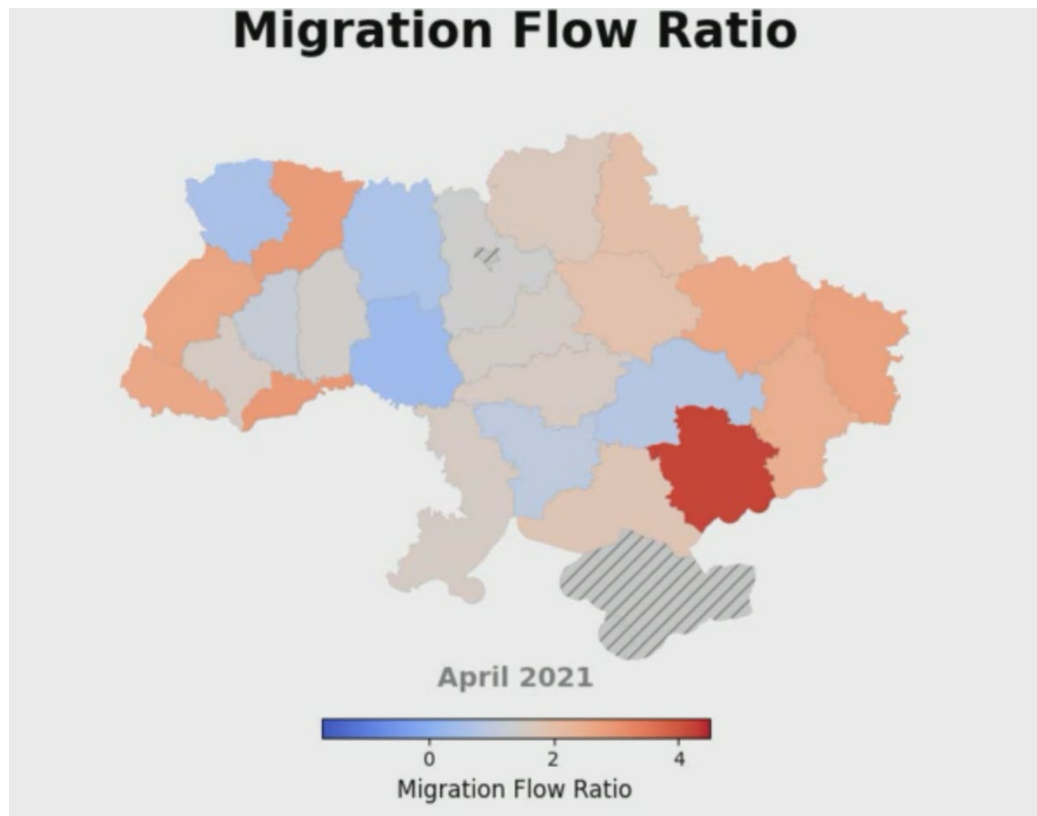


Рис. 3.11 – Результат моделювання урбанізаційного процесу в Україні в квітні 2021 року

Джерело: розрахунки автора

Не менш важливим етапом, перед проведенням прогнозування даного показника, є перевірка точності моделювання. Враховуючи специфіку даної теми та постійний брак емпіричних даних, порівняємо середньорічні значення цього показника, отриманого в результаті моделювання, з даними, що містяться у відкритому доступі про міграційний потік населення України за 2021 рік (табл. 3.2):

Таблиця 3.2

Аналіз точності роботи моделі

Регіон України	Середній показник, отриманий за результатами моделювання	Середній показник, отриманий за даними статистики
Vinnytsia Oblast	0,416	0,52
Volyn Oblast	0,4707	0,523

Продовження таблиці 3.2

Dnipropetrovsk Oblast	0,6728	0,841
Donetsk Oblast	0,8181	0,909
Zhytomyr Oblast	0,476	0,595
Zakarpattia Oblast	0,3348	0,372
Zaporizhia Oblast	0,62	0,775
Ivano-Frankivsk Oblast	0,4005	0,445
Kyiv Oblast	0,496	0,62
Kirovohrad Oblast	0,5724	0,636
Luhansk Oblast	0,6968	0,871
Lviv Oblast	0,5499	0,611
Mykolaiv Oblast	0,5496	0,687
Odessa Oblast	0,6048	0,672
Poltava Oblast	0,5008	0,626
Rivne Oblast	0,4275	0,475
Sumy Oblast	0,5568	0,696
Ternopil Oblast	0,4131	0,459
Kharkiv Oblast	0,6504	0,813
Kherson Oblast	0,5526	0,614
Khmelnyskyi Oblast	0,4616	0,577
Cherkasy Oblast	0,5148	0,572
Chernivtsi Oblast	0,3464	0,433
Chernihiv Oblast	0,5264	0,658

Джерело: розрахунки автора

Як можна візуально помітити, дані отримані шляхом моделювання доволі точно описують реальні тенденції, більш того, враховуючи той факт, що моделювання соціальних, економічних та політичних процесів – складний процес, отримані розбіжності пояснюються тим, що при побудові моделей

можна враховувати різні фактори впливу, що й вносить певні корективи в результати.

Аналізуючи результати моделювання та отриманого прогнозу, зазначимо, що найбільш урбанізованими областями країни є Донецька, Дніпропетровська, Харківська та Луганська області.

Дане спостереження співпадає із історичним розвитком регіонів України, де за радянських часів, дані регіони зазнали суттєвого розвитку та суттєвого впливання бюджетних коштів у індустріалізацію та розвиток вигідних у контексті географічних та соціоекономічних передумов галузей промисловості, навколо центрів яких формувалися швидко зростаючі агломерації. Основою розвитку та заснування великої кількості підприємств стала наявність вугільних запасів та залізної руди на сході. [36]

Будучи центрами важкої промисловості, зокрема металургії, машинобудування, хімічного та гірничодобувного сектору, східна частина країни потребувала велику кількість робочих місць з відносно високим рівнем заробітної плати.

На рівні з промисловістю в цих областях відкрито багато науково-дослідницьких інститутів, культурних центрів та інших закладів громадянської інфраструктури для забезпечення подальшого розвитку агломерацій навколо, що робить даний регіон більш привабливим для різних верств населення країни.

В цей час західні області України мають найнижчий рівень урбанізації, оскільки це обумовлено як географічним розташуванням, історичними передумовами, так і близькістю до кордону з країнами Європейського Союзу, що спричиняє міграцію населення за кордон. [37]

На відміну від східних регіонів, ця частина не має значних запасів вугілля, руди чи інших мінералів. На відміну від східних регіонів, ця частина не має значних запасів вугілля, руди чи інших мінералів. Західні області мають більш

сільськогосподарський характер, з меншою концентрацією промислових підприємств.

Гірський ландшафт цих регіонів перешкоджає утворенню великих агломерацій та розвитку інфраструктури даної частини країни.

Центральні регіони України відносяться до середнього рівня урбанізації за рахунок змішаної економіки, яка включає в себе як наявність промисловості, так і сільського господарства. Так промислові центри, як Київ, Вінниця, Черкаси сприяють урбанізації, але велика частина регіону залишається залежною від аграрного сектору.

Наявність великої кількості університетів, наукових інститутів та освітніх центрів сприяє притоку молоді до великих міст. Таким чином утворюється нагромадження висококваліфікованої робочої сили в агломераціях, внаслідок чого утворюється конкуренція за робочі місця.

Для аналізу точності роботи моделі, будемо використовувати метрики для порівняння розбіжностей між реальними та фактичними даними. У процесі порівняння будуть використані такі метрики:

Mean Squared Error (MSE) вимірює середньоквадратичну помилку між прогнозованими значеннями моделі та справжніми значеннями і обчислюється за формулою (3.1).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{true,i} - y_{pred,i})^2, \quad (3.1)$$

де $y_{true,i}$, $y_{pred,i}$ – справжнє та фактичне значення.

З формули зрозуміло, що чим менше значення даної метрики отримується, тим точніше працює модель. [31]

Coefficient of Determination (R-squared) вказує на те, наскільки добре залежність, яку визначає модель, пояснює реальні спостереження, даний показник обчислюється за формулою (3.2).

$$R^2 = 1 - \left(\sum_{i=1}^n (y_{true,i} - y_{pred,i})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n (y_{true,i} - \overline{y_{pred,i}})^2 \right)^{-1}, \quad (3.2)$$

де $\overline{y_{pred,i}}$ – середнє значення справжніх значень.

Чим більше значення даного коефіцієнту, тим краще працює модель. [32]

Середня абсолютна похибка (MAE) вимірює середню абсолютну різницю між прогнозованими і справжніми значеннями, описується формулою (3.3).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_{pred,i} - y_{true,i}|, \quad (3.3)$$

MAE може набувати значень $[0, +\infty)$ та є дуже інтерпретабельною, оскільки вимірюється в тих самих одиницях, що й вихідний ряд. Чим меншою є MAE, тим кращим вважають прогноз. [33]

Середньоквадратичне відхилення (RMSE) вимірює середнє квадратичне значення різниць між прогнозованими та справжніми значеннями, розрахунок відображено у формулі (3.4).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{pred,i} - y_{true,i})^2}, \quad (3.4)$$

Чим менше значення RMSE, тим краще модель описує дані. Всі властивості MSE зберігаються і для RMSE. [34]

За результатами тестування, отримали такі результати (табл. 3.3):

Метрики якості роботи моделі

Метрика	Значення
<i>MSE</i>	0.0729
<i>R²</i>	0.8874
<i>MAE</i>	0.2043
<i>RMSE</i>	0.2700

Джерело: розрахунки автора

Як видно, модель доволі точно працює, що підтверджує її ефективність.

3.2 Прогнозування показника урбанізації

Як вже зазначалося раніше, прогнозування будемо проводити окремо по кожній області та за допомогою моделі ARIMA, завдяки використанню мови програмування Python та статистичних бібліотек, стає можливим виконання автоматизованого підбору параметрів моделі для кожної з областей, з метою підвищення точності прогнозування. Сама модель прогнозування показників міграції має такий вигляд (рис. 3.10):

```
import pandas as pd
from pmdarima import auto_arima

data = pd.read_excel('arima.xlsx', header=0, index_col=0)

forecast_data = pd.DataFrame(columns=data.columns)

for col in data.columns:
    time_series = data[col]

    model = auto_arima(time_series, seasonal=False, trace=False)
    forecast = model.predict(n_periods=10)

    forecast_data[col] = forecast

print(forecast_data)
```

Рис. 3.10 – Реалізація моделі прогнозування

Джерело: розрахунки автора

У результаті застосування даної моделі, було отримано такі таблиці (рис. 3.12 – 3.16) з прогнозованими показниками динаміки на 10 наступних кроків.

	Вінницька обл.	Волинська обл.	Дніпропетровська обл.	Донецька обл.
n	0.418432	0.470502	0.673992	0.818604
n+1	0.420800	0.470520	0.674976	0.819036
n+2	0.423168	0.470538	0.675960	0.819468
n+3	0.425536	0.470556	0.676944	0.819900
n+4	0.427904	0.470574	0.677928	0.820332
n+5	0.430272	0.470592	0.678912	0.820764
n+6	0.432640	0.470610	0.679896	0.821196
n+7	0.435008	0.470628	0.680880	0.821628
n+8	0.437376	0.470646	0.681864	0.822060
n+9	0.439744	0.470664	0.682848	0.822492

Рис. 3.12 – Результат прогнозування потоку на 10 кроків

Джерело: розрахунки автора

	Житомирська обл.	Закарпатська обл.	Запорізька обл.	Івано-Франківська обл.
n	0.478816	0.334962	0.620512	0.402615
n+1	0.480960	0.335286	0.621104	0.404370
n+2	0.483104	0.335610	0.621696	0.406125
n+3	0.485248	0.335934	0.622288	0.407880
n+4	0.487392	0.336258	0.622880	0.409635
n+5	0.489536	0.336582	0.623472	0.411390
n+6	0.491680	0.336906	0.624064	0.413145
n+7	0.493824	0.337230	0.624656	0.414900
n+8	0.495968	0.337554	0.625248	0.416655
n+9	0.498112	0.337878	0.625840	0.418410

Рис. 3.13 – Результат прогнозування потоку на 10 кроків

Джерело: розрахунки автора

	Київська обл.	Кіровоградська обл.	Луганська обл.	Львівська обл.
n	0.495640	0.574038	0.697248	0.550017
n+1	0.495296	0.575640	0.697664	0.550296
n+2	0.494952	0.577242	0.698080	0.550575
n+3	0.494608	0.578844	0.698496	0.550854
n+4	0.494264	0.580446	0.698912	0.551133
n+5	0.493920	0.582048	0.699328	0.551412
n+6	0.493576	0.583650	0.699744	0.551691
n+7	0.493232	0.585252	0.700160	0.551970
n+8	0.492888	0.586854	0.700576	0.552249
n+9	0.492544	0.588456	0.700992	0.552528

Рис. 3.14 – Результат прогнозування потоку на 10 кроків

Джерело: розрахунки автора

	Миколаївська обл.	Одеська обл.	Полтавська обл.	Рівненська обл.
n	0.550288	0.607887	0.502344	0.427329
n+1	0.551136	0.609732	0.503584	0.427212
n+2	0.551984	0.611577	0.504824	0.427095
n+3	0.552832	0.613422	0.506064	0.426978
n+4	0.553680	0.615267	0.507304	0.426861
n+5	0.554528	0.617112	0.508544	0.426744
n+6	0.555376	0.618957	0.509784	0.426627
n+7	0.556224	0.620802	0.511024	0.426510
n+8	0.557072	0.622647	0.512264	0.426393
n+9	0.557920	0.624492	0.513504	0.426276

Рис. 3.15 – Результат прогнозування потоку на 10 кроків

Джерело: розрахунки автора

	Хмельницька обл.	Черкаська обл.	Чернівецька обл.	Чернігівська обл.
n	0.464120	0.514710	0.347152	0.594756
n+1	0.466688	0.515772	0.347680	0.597402
n+2	0.469256	0.516834	0.348208	0.600048
n+3	0.471824	0.517896	0.348736	0.602694
n+4	0.474392	0.518958	0.349264	0.605340
n+5	0.476960	0.520020	0.349792	0.607986
n+6	0.479528	0.521082	0.350320	0.610632
n+7	0.482096	0.522144	0.350848	0.613278
n+8	0.484664	0.523206	0.351376	0.615924
n+9	0.487232	0.524268	0.351904	0.618570

Рис. 3.16 – Результат прогнозування потоку на 10 кроків

Джерело: розрахунки автора

Параметри моделі підбирались автоматично, засобами, що надаються використаною програмною бібліотекою.

Для оцінки точності прогнозованих даних нами було порівняно прогнозовані та статистичні дані за 2022 рік, в результаті ми отримали наступні метрики якості (табл. 3.4):

Таблиця 3.4

Метрики якості прогнозу для перших періодів

Метрика	Значення
<i>MSE</i>	0.09
R^2	0.91
<i>MAE</i>	0.39
<i>RMSE</i>	0.41

Джерело: розрахунки автора

Аналізуючи показники точності прогнозу, можна зробити висновок про те, що модель ARIMA підходить для прогнозування подібних часових рядів.

Прогнозування на декілька періодів 2022 року, відповідає дійсності, проте з початком повномасштабного вторгнення, картина різко змінюється, відбувається відтік населення з найбільш урбанізованих областей, такі як: Дніпропетровська, Запорізька, Харківська, Донецька області. Оскільки розроблена модель не враховує вплив військових дій, прогнозовані дані не відповідають дійсності.

Згідно до отриманих результатів, враховуючи прогнозні значення по регіонам, подальшим кроком можуть стати аналітика та моніторинг отриманих прогнозів з метою коригування міграційних процесів, для збільшення потенціалу та добробуту регіонів, особливо за умов військового стану в країні.

Враховуючи результати такої аналітики, державні інституції можуть впроваджувати коригуючі регулятивні політики з метою впливу на окремі показники чи групи показників, як наприклад: середня заробітня плата, природній приріст населення, з метою збільшення продуктивної сили та покращення економічної привабливості регіону.

Висновок до розділу 3

Даний розділ було присвячено розв'язанню економіко-математичної задачі за допомогою програмної реалізації, а також прогнозуванню показника урбанізації для всіх областей.

З отриманих даних було формалізовано та побудовано програмну реалізацію описаної динамічної моделі процесів урбанізації по кожній області України.

Для перевірки точності роботи моделі, було застосовано чотири метрики MSE, R², MAE, RMSE та порівнюючи зі статистичними даними по рівню міграційного потоку по областям, отримали показники на рівні 0.0729, 0.8874, 0.2043, 0.2700, для відповідних метрик. Це тестування показало ефективність створеної моделі та її помірну точність, що є достатнім результатом для даного дослідження.

Був економічно обґрунтований стан урбанізації в кожній з областей, на основі результатів, які були отримані під час вирішення економіко-математичної задачі.

Було здійснено прогнозування показника урбанізаційного процесу на 10 періодів 2022 року. Відповідні прогнозовані дані були також порівнянні з статистичними даними, та отримані відповідні показники точності прогнозу.

ВИСНОВКИ

Урбанізація є незворотнім процесом як на глобальному рівні, так і в межах окремих країн. Глобальні економічні, політичні та культурні процеси сприяють подальшій урбанізації. В Україні основними тенденціями урбанізації є зростання частки міського населення та укрупнення міст.

В рамках моєї роботи, було ознайомлено з теоретичними та практичними аспектами урбанізаційних процесів. Під час роботи над теоретичною частиною, мною було дослідженні моделі та теорії урбанізаційних процесів іноземних та вітчизняних вчених, переглянуті підходи до трактування визначення урбанізації як економічного явища країни, вивчено історичні аспекти утворення агломерацій та розвитку урбанізації в Україні з моменту заснування її як державної одиниці, оцінено стан урбанізації областей в країні з періоду набуття незалежності, розглянуто позитивні та негативні сторони утворення агломерацій, описано рекомендації та загальні підходи міжнародних організацій для розробки ефективної політики розвитку урбанізації в країнах.

Основною задачею моєї роботи було моделювання та прогнозування урбанізаційних процесів в Україні. Так мною було проаналізовано існуючі підходи до моделювання урбанізації та розроблено динамічну систему урбаністичного розвитку, яка враховує множину факторів впливу, дає змогу проводити якісне моделювання внутрішніх міграційних процесів та прогнозувати рівень урбанізації певного регіону на майбутні періоди. Було побудовано систему диференційних рівнянь та обґрунтовано метод розв'язання задачі, що полягає в застосуванні чисельного інтегрування Рунге-Кутта 4-го порядку точності для отримання даних динаміки міграційного потоку.

Реалізація економіко-математичної моделі полягала у використанні статистичних даних по кожній області в Україні для подальшого моделювання та прогнозування. Таким чином, перевіряючи точність змодельованих даних, шляхом порівняння їх з реальними, була підтверджена точність та адекватність утвореної системи. Отримані дані було обґрунтовано з економічної точки зору.

Наступним етапом роботи стало прогнозування даних за допомогою моделі ARIMA, результати якої також мали високу точність. Мета прогнозування полягала в тому, що аналітика та моніторинг прогнозів відіграє важливу роль в питанні формування економіко-географічної політики країни, з метою коригування міграційних процесів, для збільшення потенціалу та добробуту регіонів, особливо за умов військового стану в країні.

Враховуючи результати, державні інституції можуть впроваджувати коригуючі регулятивні політики з метою впливу на окремі показники чи групи показників, як наприклад: середня заробітна плата, природній приріст населення, з метою збільшення продуктивної сили та покращення економічної привабливості регіону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Urbanization KF Gotham, AJ King - The Wiley Blackwell Companion to Sociology, 2019
2. Урбанизация. Материалы Всемирного банка для учащихся [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.un.org/ru/youthink/urbanization.shtml>.
3. Time To Think Urban: UN-Habitat brochure 2013. 24th Session Governing Council, NAIROBI, 15-19 APRIL 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://unhabitat.org/time-to-think-urban-un-habitat-brochure-2013>.
4. UNFPA. Urbanization [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.unfpa.org/urbanization>. 15. Рейтинг урбанизации стран мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gtmarket.ru/ratings/urbanization-index/info>.
5. Урбанизация и здоровье [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.who.int/globalchange/ecosystems/urbanization/ru/>.
6. Lewis, Arthur. 1954. “Economic development with unlimited supplies of labor,” The Manchester School 22: 139–191.
7. Fei, J.C.H. and G. Ranis. 1964. Development of the Labor Surplus Economy: Theory and Policy. Homewood, IL: Richard D. Irwin
8. Davis, Kingsley and Hilda Hertz Golden. 1954. “Urbanization and the development of preindustrial areas,” Economic Development and Cultural Change 3(1): 6–26.
9. Harris, John R. and Michael P. Todaro. 1970. “Migration, unemployment and development: A two-sector analysis,” American Economic Review 60(1): 126–142.
10. Preston, Samuel H. 1979. “Urban growth in developing countries: A demographic reappraisal,” Population and Development Review 5(2): 195–215.

11. Oluwasola O. (2007). Social System, Institution and Structures; Urbanization Poverty and Changing of life. Paper presented at the Session of the Foundation for Environmental Development and Education in Nigeria.

12. Quigley J. M. (2007). Urbanization, Agglomeration and economic Development. Paper presented at the World Bank Seminar on Growth and Development, Washington, D.C.

13. Shabu, Terwase (2010). The relationship between urbanization and economic development in developing countries. International journal of Economic Development research and Investment, vol.1 (2 and 3), 30-36.

14. Demographic Encyclopedic Dictionary (1985), <http://demography.academic.ru/>

15. Alvin Toffler (2000), "The Third Wave. Translator: Andriy Eevs", edited by Victor Shovkun. Publishing House "Universe". Kiev. 480 p

16. Заставецький Т.Б. Стадійність розвитку урбанізаційного процесу в Україні / Т.Б. Заставецький // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія «Географія». – 2014. – № 2. – С. 17–21

17. УКРАЇНА Огляд процесів урбанізації. Міжнародний банк реконструкції та розвитку / Світовий банк. 2015. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/787061473856627628/pdf/ACS15060-REVISED-PUBLIC-UKRANIAN-ukr-web-text-cover.pdf>.

18. Komarnicka, G., Shipulina Y. & Illiashenko, N. (2017). The impact of urbanization on the innovative development of Ukrainian regions Marketing and Management of Innovations, 3, 336-345. <https://doi.org/10.21272/mmi.2017.3-31>

19. Atlas of Migration - Displacement Ukraine (AoM 2022). URL: https://migration-demography-tools.jrc.ec.europa.eu/atlas-migration/AoM_stories/AoM_UKR?selection=EU27_2020#Intro.

20. Представництво Управління Верховного комісара ООН у справах біженців (УВКБ ООН) в Україні. URL: <https://www.unhcr.org/ua/>.
21. Kliuiko T. (2013). Suchasni osoblyvosti procesiv suburbanizaciji [Modern features of suburbanization processes]. Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography, no. 1(61), pp. 63–66.
22. Mitchell C. J. A. (2004). Making sense of counterurbanization. Journal of Rural Studies, vol. 20, no. 1, pp. 15–34.
23. Matvjejeva V. (2014). Urbanizacija ta innovaciji: vzajemnyj vplyv i shljakhy rozv'jazannja spilnykh problem [Urbanization and innovation: mutual influx of hatreds and specific problems]. Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Eastern European National University. International relations, no. 14, pp. 13–20.
24. Vychenko L. A. (2011). Aktualjni pytannja rozvytku misjkykh aghlomeracij [Topical issues of urban agglomeration development]. Actual problems of public administration, no. 2, pp. 207–213.
25. Лук'яненко І. Г. Аналіз часових рядів. Побудова ARIMA, ARCH/GARCH моделей з використанням пакета EViews 6.0: Практичний посібник для роботи в комп'ютерному класі / І. Г. Лук'яненко І. Г., В. М. Жук. – К.: НаУКМА; Аграр Медіа Груп, 2013. – 187 с.
26. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and practice. OTexts, 2013. 292 p.
27. Вища математика : Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи №2 " Чисельні методи розв'язання задачі Коші для звичайних диференціальних рівнянь " із застосуванням системи Mathcad студентів 1-2 курсів денної та заочної форм навч. інж. та інж.-пед. спец. / Укр. інж.-пед. акад. ; упоряд.: О. М. Литвин, О. О. Литвин, О. П. Нечуйвітер, Ю. І. Першина. – Харків : [б. в.], 2016. –19 с.
28. G.P. Box, G.M. Jenkins, Time Series Analysis: Forecasting and Control, Holden-Day, San Francisco, CA, 1976

29. Гукалова І.В. Категорія «урбанізація» у понятійній площині соціальної географії та інших наук / І.В. Гукалова, Н.В. Омельченко // Вісник Одеського національного університету. Серія : Географічні та геологічні науки. – 2015. – Т. 20, Вип. 2 (25). – 104 с.
30. The Python Standard Library. Python documentation. URL: <https://docs.python.org/3/library/index.html>
31. Shervin Minaee. Popular Machine Learning Metrics. Part 1: Classification & Regression Evaluation Metrics. Towards Data Science: October 28, 2019. URL: <https://towardsdatascience.com/20-popular-machine-learningmetrics-part-1-classification-regression-evaluation-metrics-1ca3e282a2ce>
32. Barrett G. B. The Coefficient of Determination: Understanding r squared and R squared. The Mathematics Teacher. 2000. Vol. 93, no. 3. P. 230–234. URL: <https://doi.org/10.5951/mt.93.3.0230>
33. Белас, А. О., and П. І. Бідюк. "Вибір критерію якості для оцінювання прогнозів нелінійних нестационарних процесів." (2021).
34. Ночовний, О. О. Інформаційна система для прогнозування котирування акцій методами машинного навчання : магістерська дис. : 122 Комп'ютерні науки / Ночовний Олександрович. – Київ, 2020. – 86 с.
35. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
36. Войціцька К. М., Ревенко А. Є. Класифікація урбанізованих територій для цілей публічного управління. Економіка, управління та адміністрування. 2023. № 4(106). С. 93–102. URL: [https://doi.org/10.26642/ema-2023-4\(106\)-93-102](https://doi.org/10.26642/ema-2023-4(106)-93-102)
37. Polishchuk A. S. The Main Trends of Globalization and Urbanization and Taking into Account their Impact in the Process of Managing the Development of Regions of Ukraine. Business Inform. 2020. Vol. 12, no. 515. P. 133–141. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-12-133-141>

ДОДАТКИ

Додаток А

```

import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.integrate import odeint

wages_time_series = pd.read_excel('wages_time_series.xlsx')
rent_time_series = pd.read_excel('rent_time_series.xlsx')
air_quality_time_series = pd.read_excel('air_quality_time_series.xlsx')
infrastructure_time_series =
pd.read_excel('infrastructure_time_series.xlsx')
culture_time_series = pd.read_excel('culture_time_series.xlsx')
population_time_series = pd.read_excel('population_time_series.xlsx')
cost_of_living_time_series =
pd.read_excel('cost_of_living_time_series.xlsx')
unemployment_time_series = pd.read_excel('unemployment_time_series.xlsx')

alpha = np.array([0.3, 0.2, 0.1, 0.15, 0.1, 0.05, 0.05, 0.05])
beta = np.array([0.2, 0.25, 0.1, 0.05, 0.15, 0.1, 0.1, 0.05])

num_regions = len(wages_time_series.columns)

init_state = np.concatenate((wages_time_series.iloc[0],
rent_time_series.iloc[0], air_quality_time_series.iloc[0],
infrastructure_time_series.iloc[0], culture_time_series.iloc[0],
population_time_series.iloc[0], cost_of_living_time_series.iloc[0],
unemployment_time_series.iloc[0], np.zeros(num_regions)))

num_days = len(wages_time_series)

time_points = np.arange(num_days)

def migration_flow(state, t, alpha):
    W, H, A, E, C, U, P, dP, dU = state[:num_regions],
state[num_regions:2*num_regions], state[2*num_regions:3*num_regions],
state[3*num_regions:4*num_regions], state[4*num_regions:5*num_regions],
state[5*num_regions:6*num_regions], state[6*num_regions:7*num_regions],
state[7*num_regions:8*num_regions], state[8*num_regions:]

    m = np.zeros((num_regions, num_regions))
    for i in range(num_regions):
        for j in range(num_regions):
            if i != j:
                m[i, j] = alpha[0] * (wages_time_series.iloc[int(t), j] -
wages_time_series.iloc[int(t), i]) + \
                    alpha[1] * (rent_time_series.iloc[int(t), i] -
rent_time_series.iloc[int(t), j]) + \

```

```

        alpha[2] * (air_quality_time_series.iloc[int(t),
j] - air_quality_time_series.iloc[int(t), i]) + \
        alpha[3] *
(infrastructure_time_series.iloc[int(t), j] -
infrastructure_time_series.iloc[int(t), i]) + \
        alpha[4] * (culture_time_series.iloc[int(t), j] -
culture_time_series.iloc[int(t), i]) + \
        alpha[5] * (U[j] - U[i]) + \
        alpha[6] *
(cost_of_living_time_series.iloc[int(t), j] -
cost_of_living_time_series.iloc[int(t), i]) + \
        alpha[7] * (unemployment_time_series.iloc[int(t),
i] - unemployment_time_series.iloc[int(t), j])
    M = np.sum(m, axis=1)
    dP_new = M
    dU_new = np.zeros(num_regions)
    for i in range(num_regions):
        dU_new[i] = beta[0] * P[i] + beta[1] *
wages_time_series.iloc[int(t), i] + beta[2] * rent_time_series.iloc[int(t),
i] + beta[3] * air_quality_time_series.iloc[int(t), i] + beta[4] *
infrastructure_time_series.iloc[int(t), i] + beta[5] *
culture_time_series.iloc[int(t), i] + beta[6] *
cost_of_living_time_series.iloc[int(t), i] + beta[7] *
unemployment_time_series.iloc[int(t), i]
    return np.concatenate((W, H, A, E, C, U, P, dP_new, dU_new))

result = odeint(migration_flow, init_state, time_points, args=(alpha,))

columns = wages_time_series.columns
migration_data = pd.DataFrame(result[:, -num_regions:], columns=columns)
migration_data.to_excel('migration_flow.xlsx', index=False)
!pip install geopandas matplotlib
import geopandas as gpd
import matplotlib.pyplot as plt

import matplotlib.ticker as ticker
import matplotlib.image as mpimg
from matplotlib import animation
from matplotlib.animation import FuncAnimation
from matplotlib.offsetbox import (TextArea, DrawingArea, OffsetImage,
AnnotationBbox, OffsetBox)

from matplotlib.colors import Normalize
from matplotlib.cm import ScalarMappable
from matplotlib.patches import Patch
ukraine = gpd.read_file(r'UKR_ADM1.shp')
fig, ax = plt.subplots(figsize=(12,10))
ukraine.plot(linewidth=0.5, edgecolor='grey', legend=False, color='white',
ax=ax)
ax.set_axis_off()
plt.show()
ukraine.head()

```

```

ukraine['Name'].unique()
import pandas as pd
import numpy as np
migration_data = pd.read_excel('migration_flow.xlsx')

column_mapping = {
    'Вінницька': 'Vinnytsia Oblast',
    'Волинська': 'Volyn Oblast',
    'Дніпропетровська': 'Dnipropetrovsk Oblast',
    'Донецька': 'Donetsk Oblast',
    'Житомирська': 'Zhytomyr Oblast',
    'Закарпатська': 'Zakarpattia Oblast',
    'Запорізька': 'Zaporizhia Oblast',
    'Івано-Франківська': 'Ivano-Frankivsk Oblast',
    'Київська': 'Kyiv Oblast',
    'Кіровоградська': 'Kirovohrad Oblast',
    'Луганська': 'Luhansk Oblast',
    'Львівська': 'Lviv Oblast',
    'Миколаївська': 'Mykolaiv Oblast',
    'Одеська': 'Odessa Oblast',
    'Полтавська': 'Poltava Oblast',
    'Рівненська': 'Rivne Oblast',
    'Сумська': 'Sumy Oblast',
    'Тернопільська': 'Ternopil Oblast',
    'Харківська': 'Kharkiv Oblast',
    'Херсонська': 'Kherson Oblast',
    'Хмельницька': 'Khmelnytskyi Oblast',
    'Черкаська': 'Cherkasy Oblast',
    'Чернівецька': 'Chernivtsi Oblast',
    'Чернігівська': 'Chernihiv Oblast'
}

migration_data = migration_data.rename(columns=column_mapping)

migration_data.to_excel('migration_flow_updated.xlsx', index=False)
migration_data = pd.read_excel('migration_flow_updated.xlsx')

start_date = pd.to_datetime('2021-01-01')
end_date = pd.to_datetime('2021-12-31')
dates = pd.date_range(start=start_date, end=end_date)

new_data = pd.DataFrame(columns=['Region', 'Migration Flow', 'Date'])

for region in migration_data.columns:
    region_data = pd.DataFrame({
        'Region': [region] * len(dates),
        'Migration Flow': migration_data[region].values,
        'Date': dates
    })
    new_data = pd.concat([new_data, region_data], ignore_index=True)

```

```

new_data.to_excel('migration_flow_transformed.xlsx', index=False)
import pandas as pd
import numpy as np
import geopandas as gpd
import matplotlib.pyplot as plt
import os

import matplotlib.ticker as ticker
import matplotlib.image as mping
from matplotlib import animation
from matplotlib.animation import FuncAnimation
from matplotlib.offsetbox import (TextArea, DrawingArea, OffsetImage,
                                  AnnotationBbox, OffsetBox)

from matplotlib.colors import Normalize
from matplotlib.cm import ScalarMappable
from matplotlib.patches import Patch

ukraine = gpd.read_file(r'UKR_ADM1.shp')
migration_flow_transformed_normalized =
pd.read_excel('migration_flow_transformed_normalized.xlsx')
migration_flow_transformed_normalized['Date'] =
pd.to_datetime(migration_flow_transformed_normalized['Date'])

output_folder = "/content/animation_frames"
os.makedirs(output_folder, exist_ok=True)

def save_frame(frame, date):
    frame.savefig(os.path.join(output_folder, f"frame_{date.strftime('%Y-%m-%d')}.png"))

def init():
    ukraine.plot(ax=ax, color='lightgrey', edgecolor='black')
    ax.xaxis.set_visible(False)
    ax.yaxis.set_visible(False)
    ax.axis('off')
    ax.set_title('', fontsize=20, pad=10)

    return ax,

def animate(date):
    ax.clear()
    current_data =
migration_flow_transformed_normalized[migration_flow_transformed_normalized[
'Date'] == date]
    map_for_date = ukraine.merge(current_data, how='left', left_on='Name',
right_on='Region')
    map_for_date.plot(column='Migration Flow', cmap='coolwarm',
linewidth=0.1, ax=ax, edgecolor='grey',
                      legend=False,
vmin=migration_flow_transformed_normalized['Migration Flow'].min(),

```

```

        vmax=migration_flow_transformed_normalized['Migration
Flow'].max(), missing_kwds={'color': 'lightgrey', 'hatch': '///'})

    ax.set_title(f'Migration Flow Ratio', fontsize=25, pad=30,
weight='bold')
    date_pd = pd.to_datetime(str(date))
    date_formatted = date_pd.strftime('%B %Y')

    ax.annotate(date_formatted, xy=(0.5, 0), xytext=(0, 0),
                xycoords='axes fraction', textcoords='offset points',
ha='center', fontsize=14,
                color='grey', weight='bold')

    ax.xaxis.set_visible(False)
    ax.yaxis.set_visible(False)
    ax.axis('off')

    save_frame(fig, date)

fig, ax = plt.subplots(figsize=(12, 6))

norm = Normalize(vmin=migration_flow_transformed_normalized['Migration
Flow'].min(),
                 vmax=migration_flow_transformed_normalized['Migration
Flow'].max())
cbar = fig.colorbar(ScalarMappable(norm=norm, cmap='coolwarm'), ax=ax,
                    orientation='horizontal', pad=0.05, fraction=0.046,
                    aspect=20, shrink=0.3)

cbar.set_label('Migration Flow Ratio', fontsize=12)

dates =
pd.to_datetime(migration_flow_transformed_normalized['Date']).unique()

def frames_generator():
    for date in dates:
        yield date

ani = FuncAnimation(fig, animate, frames=frames_generator(), init_func=init,
blit=False)

ani.save('migration_flow.gif', writer='pillow', fps=8, dpi=300)

plt.show()

import cv2
import os

folder_path = '/content/animation_frames'
```

```

image_files = [f for f in os.listdir(folder_path) if
os.path.isfile(os.path.join(folder_path, f))]

image_files.sort()

first_image_path = os.path.join(folder_path, image_files[0])
first_image = cv2.imread(first_image_path)
height, width, _ = first_image.shape

output_video_path = '/content/animation_video.mp4'

fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v')
fps = 4
video_writer = cv2.VideoWriter(output_video_path, fourcc, fps, (width,
height))

for image_file in image_files:
    image_path = os.path.join(folder_path, image_file)
    image = cv2.imread(image_path)

    video_writer.write(image)

video_writer.release()

print("Відео створено та збережено у:", output_video_path)
from sklearn.metrics import mean_squared_error, r2_score
import numpy as np
!pip install scikit-learn

y_pred = [0,416, 0,4707, 0,6728, 0,8181, 0,476, 0,3348, 0,62, 0,4005, 0,496,
0,5724, 0,6968, 0,5499, 0,5496, 0,6048, 0,5008, 0,4275, 0,5568, 0,4131,
0,6504, 0,5526, 0,4616, 0,5148, 0,3464, 0,5264]

y_true = [0,52, 0,523, 0,841, 0,909, 0,595, 0,372, 0,775, 0,445, 0,62,
0,636, 0,871, 0,611, 0,687, 0,672, 0,626, 0,475, 0,696, 0,459, 0,813, 0,614,
0,577, 0,572, 0,433, 0,658]

mse = mean_squared_error(y_true, y_pred)

r_squared = r2_score(y_true, y_pred)

print(f'MSE: {mse}')
print(f'R-squared: {r_squared}')

mae = np.mean(np.abs(np.array(y_pred) - np.array(y_true)))
rmse = np.sqrt(np.mean((np.array(y_pred) - np.array(y_true))**2))

print("MAE:", mae)
print("RMSE:", rmse)
import pandas as pd
!pip install pmdarima

```

```
from pmdarima import auto_arima

data = pd.read_excel('arima.xlsx', header=0, index_col=0)

forecast_data = pd.DataFrame(columns=data.columns)

for col in data.columns:
    time_series = data[col]

    model = auto_arima(time_series, seasonal=False, trace=False)
    forecast = model.predict(n_periods=10)

    forecast_data[col] = forecast

print(forecast_data)
```

Календарний план виконання кваліфікаційної роботи магістра

№	Етапи роботи	Терміни виконання	Відмітка керівника про виконання
1	Вибір теми кваліфікаційної роботи магістра	25.10.2023	
2	Розробка та затвердження завдання кваліфікаційної роботи магістра	01.11.2023	
3	Збір та опрацювання теоретичної бази для кваліфікаційної роботи	01.01.2024	
4	Підготовка теоретичного розділу 1	25.01.2024	
5	Підготовка розділу 2 про методологічні аспекти дослідження	29.02.2024	
6	Збір даних для проведення обрахунків	15.03.2024	
7	Побудова моделі	31.03.2024	
8	Проведення обрахунків	10.04.2024	
9	Оформлення отриманих результатів у розділі 3	15.04.2024	
10	Написання висновків	25.04.2024	
11	Остаточне оформлення результатів	30.04.2024	
12	Перевірка на плагіат	09.05.2024	
13	Попередній захист роботи	10.05.2024	
14	Рецензування	20.05.2024	
15	Подача роботи на кафедру	20.05.2024	
16	Захист роботи	27.05.2024	

Науковий керівник: Тетяна КРАВЕЦЬ _____
(підпис)

Студент: Ірина БАНУДІРНА _____
(підпис)

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Економічний факультет
Кафедра економічної кібернетики

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студента 2 курсу спеціальності 051 «Економіка»

ОНП «Економічна кібернетика»

Бандуріної Ірини Артемівни

1. Тема роботи: Моделювання процесів урбанізації в Україні
2. Термін завершення роботи: 10.05.2024 р.
3. Попередній захист роботи: 10.05.2024 р.
4. Об'єкт дослідження: урбаністичні процеси в містах України, які включають в себе динаміку розвитку міської інфраструктури, зміни в демографічній структурі, економічні трансформації, соціальні перетворення, а також екологічні аспекти міського життя.
6. Мета дослідження: моделювання та прогнозування урбанізаційних процесів в Україні за допомогою програмної реалізації
7. Завдання дослідження:
 - Здійснити огляд моделей та методів вивчення урбанізаційних процесів
 - Проаналізувати перебіг урбанізації в Україні
 - Дослідити питання урбанізації в світі
 - Здійснити постановку економіко-математичної задачі для даної теми
 - Оцінити параметри в рамках поставленої економіко-математичної моделі
 - Обрати модель для здійснення прогнозування урбанізації в Україні
 - Здійснити програмну реалізацію динамічної моделі урбанізації

- Прогнозувати перебіг урбанізаційних процесів в Україні в майбутніх періодах

Науковий керівник: Тетяна КРАВЕЦЬ _____
(підпис)

Студент: Ірина БАНДУРІНА _____
(підпис)

Затверджено на засіданні кафедри економічної кібернетики
протокол № 3 від 25 жовтня 2023 р.