

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ»

Кафедра математики



МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ЧИСЕЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ

**Текстова частина до курсової роботи
за спеціальністю „Прикладна математика” 113**

Керівник курсової роботи
доцент, кандидат техн. наук
Дутка В. А.

(підпис)

“ ____ ” _____ 2020 р.

Виконала студентка
Змитрович М. О.

“ ____ ” _____ 2020 р.

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ»

Кафедра математики факультету інформатики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри математики,
доцент, д.ф.м-н.

_____ Б.В. Олійник
(підпис)

„_____” _____ 2020 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ
на курсову роботу

студенту _____ факультету _____ курсу

ТЕМА _____

Вихідні дані:

- Текстова частина курсової роботи

Зміст ТЧ до курсової роботи:

Індивідуальне завдання

Вступ

1 Постановка задачі та аналіз предметної області

2 Дослідження технічних інструментів розробки

3 Функціональне проектування

Висновки

Список літератури

Додатки

Дата видачі „_____” _____ 2019 р. Керівник _____
(підпис)

Завдання отримав _____
(підпис)

Вступ	4
1. Особливості демографічних процесів	6
1.1. Демографічні проблеми в Україні	6
1.2. Перепис населення 2001 року	9
1.2.1. Статева приналежність	10
1.2.2. Міське та сільське населення	10
1.2.3. Вікова структура	11
1.3. Демографічні перспективи України	12
2. Математичні моделі для прогнозування чисельності населення	13
2.1. Експоненціальна модель	13
2.2. Модель Капіці	14
2.3. Логістична модель зростання	16
3. Моделювання та прогнозування чисельності населення України	16
3.1. Дані про чисельність України з 1950 по 2015 роки	16
3.2. Визначення екологічної ніші та коефіцієнту зростання для моделі динаміки чисельності населення України	17
3.2. Результати прогнозування чисельності України за допомогою моделі Ферхюльста	18
Висновок	25
Список літератури	26
Лістинг	27

Вступ

Питання демографії вважається одним із найважливіших для більшості країн світу, зокрема України, де статистика зміни чисельності населення за останні роки є невтішною. Прогнозування чисельності країни допомагає уникнути багатьох проблем перенаселення та неправильного розподілення ресурсів країни. Економіка, культура, політика, освіта, та навіть вартість природних ресурсів - все це фактори, на які безпосередньо впливає чисельність населення країни.

Народ - головна ознака сили держави, тому увага керівництва країн завжди зосереджена на демографічному стані населення. Моделювання та прогнозування чисельності населення дає необхідні дані для планування та оцінки економічного та цивілізаційного потенціалу країни державою. А також для розподілення державних ресурсів та бюджету, зокрема на соціальні виплати, розвиток промисловості по регіонам, пенсії, тощо.

Прогнозування чисельності України виявляється корисним і для її громадян. У першу чергу тому, що ці дані допомогли б правильно орієнтуватися в тих глобальних процесах, що зараз відбуваються у всьому світі та в Україні. Таким чином, населення матиме можливість активно брати участь у суспільних процесах і безпосередньо впливати на них.

Математичне моделювання використовує математичні та обчислювальні методи моделювання та дослідження явищ, що вивчаються у науках про життя [1]. Математичні моделі можуть приймати різні форми, включаючи динамічні системи, статистичні моделі та диференціальні рівняння.

Застосовуючи різні математичні моделі можна визначати динаміку статеві-вікового складу населення, процесів народжуваності та смертності, міграційних явищ, а також історичних та соціальних факторів, які впливають на зміни у структурі населення. Слід зазначити, що існує неможливість

прогнозу без певної міри неточності через випадковий характер деяких факторів, які неможливо точно описати або виміряти. Тобто кінцеві прогнози реалізуються з певною ймовірністю, яка залежить від довжини обраного інтервалу [2].

1. Особливості демографічних процесів

Демографічні питання завжди вважалися одними з найважливіших через їх прямий вплив на соціальний та економічний розвиток людства. На сьогодні, проблеми промисловості, енергетики, природних ресурсів та війн набувають постійний характер. І всі вони тісно пов'язані з глобальними демографічними змінами у суспільстві.

Предмет демографії — відтворення населення в його суспільно-історичній обумовленості, а саме спостереження та аналіз закономірностей та соціальної зумовленості смертності, народжуваності, чисельності шлюбів, повторного відтворення подружніх пар, а також населення загалом як єдності цих процесів [4].

Демографічна ситуація у світі викликає певне занепокоєння: стрімке зростання чисельності населення в країнах третього світу та депопуляція населення у економічно розвинених. Все це не може не привернути пильну увагу державних керівників та світової громади. Більше того, проблема народонаселення визнана всіма країнами світу як значуща.

1.1. Демографічні проблеми в Україні

За оцінками ООН, Україна показує найгіршу статистику з усіх країн колишнього СРСР за показниками природного приросту [11]. Це свідчить про існуючу демографічну проблему та потенційний ризик депопуляції країни.

Згідно розподіленню населення Європи в 2017 році, Україна посідає сьоме місце за кількістю населення. Хоча ще декілька років до того була п'ятою. Ця невтішна статистика свідчить про значне погіршення демографічної ситуації в країні. За прогнозами Організації Об'єднаних Націй Україна входить у п'ятірку країн-лідерів за швидкістю скорочення населення і до 2050 року може втратити 18 відсотків своїх громадян.

Після 1993 народонаселення України зменшилось більше ніж на 15 відсотків. Цьому сприяла криза 90-х років, яка залишила багатьох людей безробітними. Криза була обумовлена багатьма соціально-економічними проблемами держави та значно вплинула на всі демографічні процеси у суспільстві. Так, станом на 2005 рік показник народжуваності в країні становив 1,2 дитини на жінку, що вважалось найнижчим показником серед країн Європи. Все через те, що держава не могла забезпечити родини з дітьми прийнятними умовами та фінансуванням через низький рівень економіки країни. Загалом, зменшення народжуваності в Україні становить загрозу для подальшого розвитку нації. У 2001 році керівництво держави запровадило реформу по збільшенню виплат за дитину, що трохи покращило ситуацію. Станом на 2013 рік сумарний показник народжуваності становив 1,5 дитини на одну жінку, що краще порівняно з 2011 роком, але все одно недостатньо. Показник народжуваності має бути більшим за 2,2 дитини на одну жінку для розширеного відтворення населення.

Крім того, за даними останніх років, в Україні сильно страждає інститут браку. Кількість шлюбів стрімко зменшується, зростає число розлучень, а частка бездітних та одnodітних сімей навпаки збільшується. Тенденція погіршення існує вже не перше десятиріччя, але з кожним роком ситуація стає ще більш невтішною. За даними управління інформаційною політикою Міністерства юстиції України, у 2017 році кількість розлучень становила 33 тисячі, а у 2018 році - майже 54 тисяч, що ще більше погіршує демографічні перспективи держави.

Ще одна ознака демографічної кризи України - низький рівень сфери забезпечення здоров'я. Зростає смертність від факторів, спричинених війною на Донбасі. За останні роки відбувається збільшення смертей від інфекційних хвороб. Високий рівень захворювань, в тому числі хронічних, все частіше виявляють у чоловіків та жінок працездатного віку, а також підлітків. Обстеження стану здоров'я по країні демонструють невтішні результати -

Україна одна з перших по кількості захворювань. Наразі, тільки один з п'яти підлітків може вважатися повністю здоровим. Поширюється алкоголізм та наркоманія, так звані соціальні хвороби. Все це свідчить про незадовільне забезпечення сфери охорони здоров'я в країні.

Всі ці фактори призводять, до від'ємного показника приросту чисельності населення. За статистичними даними, у 2002 році він становив –7,5 відсотків, у 2004 році –7,0 відсотків, потім зріс у 2005 році до – 7,6 відсотків, а станом на 2008 зменшився до – 6,0 відсотків.

Таблиця 1.1 - Демографічні показники. Дані на 2018 рік без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях [5] [6].

	2001	2005	2010	2018
Загальна чисельність наявного населення на кінець року (тис. осіб)	48 457,1	46 9587,4	45 795,9	42386,4
Кількість народжених (на 1000 наявного населення)	7,7	9,0	10,8	8,7
Кількість померлих (на 1000 наявного населення)	15,3	16,6	15,2	14,8

Кількість шлюбів (на 1000 наявного населення)	6,4	7,1	6,7	6,0
Сальдо міграції (на 1000 наявного населення)	-3,4	0,1	0,4	1,0

1.2. Перепис населення 2001 року

5 грудня 2001 року був зроблений великий крок для України - відбувся перший за часів незалежної держави Всеукраїнський перепис населення. Інший подібний перепис був проведений ще 1989 році. Його метою було виявити та зафіксувати поточну соціальну структуру суспільства у цифровому вигляді та передати важливі дані про оновлене українське населення для нащадків.

Всеукраїнський перепис населення створив якісну інформаційну базу щодо соціально-економічних змін, які сталися в державі з часів набуття незалежності. Перепис виявив основні тенденції розподілу громадян за різними етнічно-соціальними групами і враховував інформацію про регіональну та статеву приналежність громадян, освітній та мовний фактори, сімейний склад, міграційну активність, вікову структуру населення, тощо. Більше того, в переписі були враховані громадяни України, які на той час працювали за кордоном.

Так, станом на 2001 рік, було зафіксовано 48 млн. 457 тис. осіб, що є більше ніж на 3 млн. осіб меншим ніж у 1993 році. За уточненими даними кількість фактично проживаючих в Україні була ще меншою та становила 48 млн. 241 тис. осіб.

1.2.1. Статева приналежність

За даними 2001 року, Населення України складалося з 22 млн. 441 тис. чоловіків, що становило 46,3 відсотків та 26 млн. 16 тис. жінок, що становило 53, 7 відсотків від усього населення. Статева статистика за період між 1989 роком та 2001 років значно покращилась, та відсоток співвідношення трохи збільшився. Так, станом на 1989-2001 кількість чоловіків на 1000 жінок становила приблизно 827 в містах та 774 в сілах, а в 2001 вже збільшилась до 847 та 868 відповідно. У селах такий стрімкий ріст було зумовлено вимиранням покоління жінок, чиї чоловіки загинули в результаті війни.



Рисунок 1.1 - Діаграма статевої структури населення України за даними перепису населення 2001 року

1.2.2. Міське та сільське населення

Перепис 2001 року виявив стрімкий процес урбанізації - близько 67,2 відсотків населення проживає у містах, що є більшим за $\frac{2}{3}$ всього населення. Загальна кількість міст в період з 1898 по 2001 рік виросла з 434 до 454. У 20 містах чисельність збільшилась чи зменшились приблизно на 1 тисячу, а по

4 містам дані сильно розійшлися і збільшення доходило до тисяч мешканців, зокрема в Києві.

В містах виявились більш високі коефіцієнти природнього руху. Як наслідок, більш високий коефіцієнт народжуваності в містах порівняно з сільською місцевістю.

1.2.3. Вікова структура

Дані за віковою структурою населення були невтішними через виявлений рівень прогресуючого старіння населення. А також зниження долі молодшого покоління.

Зниження рівня народжуваності призвело до падіння відсотку молодих людей віком до 16 років. За даними 2001 року, їх відсоток складав 18,1, коли ще у 1989 - 23. Чисельність народжень зменшилась на 44,7 відсотків та складала 390,7 тис., що є сильно меншим за 691 тис. народжених у 1989 році. Загальний коефіцієнт народжуваності теж змінився на 5,2 відсотки. Причини такого падіння зумовлені багатьма факторами, серед яких економічні, фізичні, соціальні та психологічні. Кількість прихильників традиції багатодітних сімей зменшується. Потреба у батьківстві замінюється низкою інших потреб. Заможні люди все частіше оцінюють витрати грошей та часу на виховання дітей та забезпечення їх потреб.

Зміни стосувалися не тільки дітей, а і молодих людей працездатного віку, їх відсоток у суспільстві впав з 29,1 до 28 відсотків, що можна було пояснити зниженням сальдо міграції. При цьому, кількість людей віком 60 років та більше зростає з 18,9 до 21,4 відсотків.

Загалом, не тільки Україна зіткнулась з проблемою депопуляції. Близько 17 країн Європи на той час знаходяться на межі переходу до нульового приросту населення.

1.3. Демографічні перспективи України

За даними ІЛО станом на 2024 рік на кожні 100 працівників припадатиме 155 непрацюючих громадян, що є значно більшим порівняно з 137 непрацюючих громадян станом на 2015 рік (Таблиця 1.3) [10].

Таблиця 1.3 – Співвідношення працюючих та безробітних осіб

Коефіцієнт залежності	Визначення	2010	2015	2020	2025
Коефіцієнт демографічної залежності	Діти віком 0-14 років та пенсіонери віком 65+ років (на 100 осіб населення)	43	45	50	53
Коефіцієнт економічної залежності 1	Особи віком більше 15 років, що не входять до зайнятого населення, на 100 зайнятих осіб	82	83	87	94
Коефіцієнт економічної залежності 2	Діти віком 0-14 років та особи віком більше 15 років, що не входять до зайнятого населення, на 100 зайнятих осіб	112	116	123	130
Коефіцієнт трудової залежності	Діти віком 0-14 років та особи віком більше 15 років, що не входять до зайнятого населення або є безробітними (на 100 зайнятих осіб)	130	137	146	155

Згідно песимістичним прогнозам сальдо міграції стабілізується на тому рівні, який є зараз. А тенденція емі наших громадян залишиться. Наразі, найпопулярніша країна серед українських заробітчан, які отримали офіційний дозвіл на працю, є Польща. За даними Євростату станом на 2017 рік, їх частка становить 38 відсотків. Серед інших країн можна виокремити Чехію, Італію, Німеччину та Португалію.

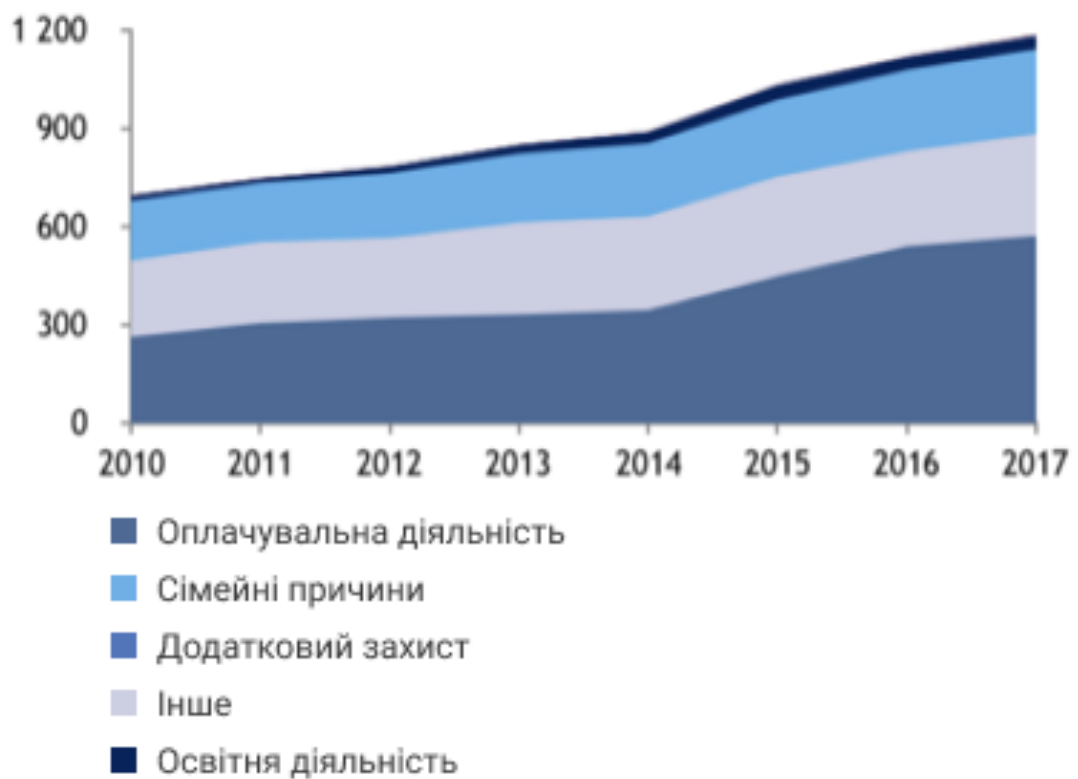


Рисунок 1.3 – Дозволи, які мають громадяни України в країнах ЄС.
2010-2017 роки

2. Математичні моделі для прогнозування чисельності населення

2.1. Експоненціальна модель

Томас Р. Мальтус запропонував математичну модель приросту населення у 1798 році. Ця модель часто називається експоненціальною і широко використовується в галузі екології населення. Експоненціальна модель - це модель, яка спирається на припущення, що населення зростає із швидкістю, пропорційною чисельності населення в даний момент часу із

постійним коефіцієнтом пропорційності. Це припущення є розумним для ідеального середовища. Однак воно не враховує такі фактори як присутність хижаків, недостатність харчування та слабкий імунітет від захворювань.

Рівняння Мальтуса також можна охарактеризувати як приблизний фізичний закон. Адже, зі збільшенням чисельності населення спроможність навколишнього середовища підтримувати населення знижується. Доступність їжі на душу населення зменшується, відходи можуть накопичуватися та рівень народжуваності має тенденцію до зниження, а рівень смертності навпаки до зростання.

Модель Мальтуса виражається простим диференціальним рівнянням:

$$\frac{dN}{dt} = \beta N$$

N - загальний розмір населення і β - постійний темп зростання, визначений як різниця між рівнем народжуваності та смертністю для певної чисельності населення.

Визначаємо розв'язок диференціального рівняння першого порядку:

$$N(t) = N_0 \exp(\beta t) = N_0 e^{\beta t}$$

Параметр β можна оцінити з рівняння:

$$\beta = \frac{\ln N(t) - \ln N_0}{t}$$

2.2. Модель Капіці

Російський вчений Сергій Капіца запропонував нову модель феноменологічного росту населення Землі. Ця модель враховує саме інформаційний фактор, такий як синхронізація демографічних та історичних процесів. Наприклад, глобальне потепління, пандемії, війни, процес

глобалізації, тощо. Саме інформаційна взаємодія відрізняє людство від тварин, зростання яких можна описати лінійними законами.

Згідно моделі Капіці, людство наразі знаходиться у стані демографічного переходу. За принципом квадратичного зростання, після поступового збільшення кількості людства відбудеться демографічний вибух. Ця модель дозволяє по новому подивитися на демографічні процеси, показує стійкість зростання чисельності людства та пропонує причини демографічних переходів.

Існує припущення, що раніше відбувалися менш виражені, але схожі демографічні процеси при найбільш сприятливих умовах. Для прикладу можна згадати появу перших цивілізацій у Месопотамії та Єгипті, яке відбувалося у приблизно однакові історичні періоди.

Модель Капіці не спирається на біологічні фактори, на відміну від більшості моделей. Навпаки, допускає, що народжуваність та смертність мало змінюються з часом, а зростання чисельності людства пропорційне самому людству:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N^2}{K^2}$$

У наведеному нелінійному рівнянні швидкість росту прирівнюється колективній взаємодії. Іншими словами, швидкість зростання повністю залежить від стану системи в даний момент часу і дорівнює квадрату населення світу. У фізиці багатьох частинок таким же чином описується добре відома колективна взаємодія, яка в теорії газів є взаємодією Ван-дер-Ваальса [3].

2.3. Логістична модель зростання

Бельгійський математик Ферхюльст описав, що приріст населення залежить не тільки від його чисельності, але також і від того, наскільки ця чисельність віддалена від його верхньої межі.

Логістична модель - це розширення експоненціальної моделі, що включає умови, які не були враховані в моделі Мальтуса. Логістична функція має форму літери S. Середня швидкість народжуваності є деяка позитивна постійна, яка не залежить від часу t і розміру популяції $x(t)$ (додатне r). А середня смертність пропорційна розміру популяції (негативне $r \cdot x(t)$).

Логістичне рівняння Ферхюльста має наступний вигляд:

$$\frac{dP}{dt} = rP \left(1 - \frac{P}{K} \right), P = P(t), t > 0 \quad (1)$$

$K > 0$ – ємність екологічної ніші популяції, а r – коефіцієнт зростання.

Розв'язок рівняння Ферхюльста має вигляд:

$$P(t) = \frac{P_0 K e^{rt}}{K + P_0 (e^{rt} - 1)} \quad (2)$$

3. Моделювання та прогнозування чисельності населення України

3.1. Дані про чисельність України з 1950 по 2015 роки

Таблиця 3.1 – Чисельність населення України з 1950 по 2015 [8].

Рік	Населення	Рік	Населення
1950	36 905	1990	51 838
1955	39 506	1995	51 728
1960	42 469	2000	49 429
1965	45 133	2001	48 240
1970	47 127	2005	47 280

1975	48 881	2010	45 962
1980	50 044	2015	42 844
1985	50 941	2020	41 902

Перша половина XX століття виявилася для України нелегким випробуванням. Політичні репресії, голодомор, депортації та війни – все те, через що довелося пройти українському народу. З різними оцінка українське населення втратило близько 16 млн. осіб [9].

Тому після 50-х років відбулося швидке відновлення демографічних показників країни. Таким чином, після військового періоду і до 1970 року чисельність зросла на 12,5%, до 1990 – ще на 9,7%. Найбільшим показником чисельності населення України вважається 1993 рік. Тоді він складав 52 млн. 200 тис. осіб. Проте, після 1995 починається поступовий процес депопуляції. Від 2000 і до 2015 року Україна втратила 18,3% населення.

3.2. Визначення екологічної ніші та коефіцієнту зростання для моделі динаміки чисельності населення України

Використаємо дані, наведені в таблиці 3.1 для визначення коефіцієнтів K та r з рівняння (2). Для періоду з 1950 по 1990 роки характерний стрімкий процес відтворення населення після військового періоду. А вже після 1993 року починається зворотній процес та спад чисельності населення. Тому буде доцільно окремо розглянути ці часові проміжки.

Для першого проміжку визначаємо в моделі Ферхюльста за початковий момент часу 1950 рік, якому відповідає $t_0 = 0$, $t_1 = 20$ (1970 рік) і $t_2 = 40$ (1990 рік) з відповідними значеннями чисельності населення України:

$$P_0 = P(1950) = 36,905; \quad P_1 = P(1970) = 47,127; \quad P_2 = P(1990) = 51,498$$

Тоді за формулою, отриманою з використанням розв'язку (2) рівняння (1):

$$K = \frac{P_1(2P_0P_2 - P_1(P_0 + P_2))}{P_0P_2 - P_1^2} \quad (3)$$

через однакові проміжки часу в 20 років, дістанемо значення

$$K = 54,498 \text{ (млн. осіб).}$$

а за формулою

$$r = \frac{1}{t_1} \ln \left(\frac{P_1(K - P_0)}{P_0(K - P_1)} \right) \quad (4)$$

отриманою також із (2) для рівних проміжків часу $[t_0, t_1]$ і $[t_1, t_2]$,
дістанемо значення коефіцієнту зростання

$$r = 0,056 \text{ (1/рік).}$$

Для другого визначаємо в моделі Ферхюльста за початковий момент часу 1990 рік, якому відповідає $t_0 = 0$, $t_1 = 20$ (2010 рік) і $t_2 = 30$ (2020 рік) з відповідними значеннями чисельності населення України:

$$P_0 = P(1990) = 51,838; P_1 = P(2010) = 45,962; P_2 = P(2020) = 41,902$$

Тоді за формулою, отриманою з використанням розв'язку (3) дістанемо значення:

$$K = 27,669 \text{ (млн. осіб).}$$

а за формулою (4) дістанемо значення коефіцієнту зростання:

$$r = 0,007912 \text{ (1/рік).}$$

3.2. Результати прогнозування чисельності України за допомогою моделі Ферхюльста

Будуємо графік за отриманою логістичною моделлю за період з 1950 по 2050 роки:

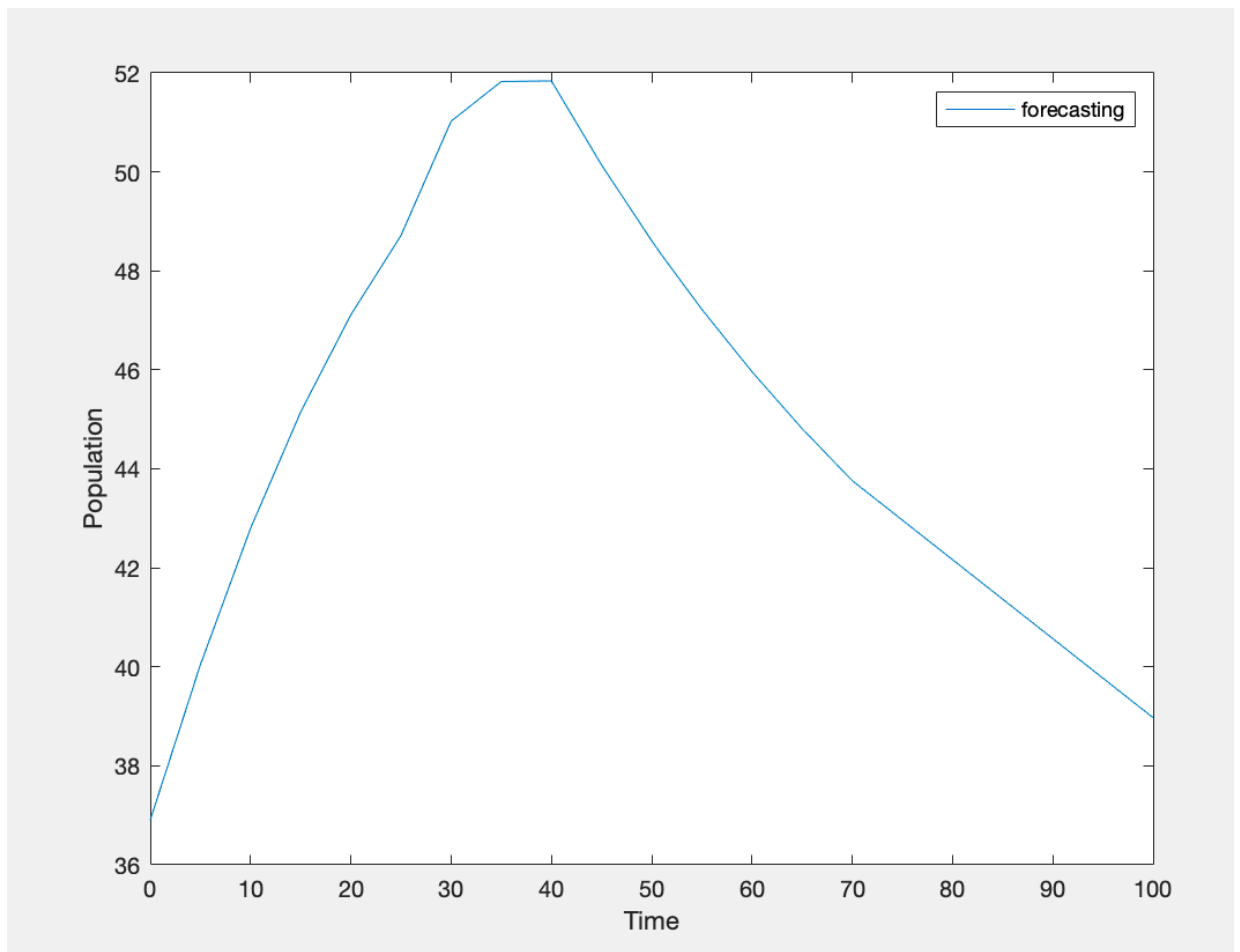


Рисунок 3.1 – Графік зміни чисельності населення України за моделлю Ферхюльста з 1950 по 2050 роки

Таблиця 3.2.1 – Прогноз населення за моделлю Ферхюльста

Рік	Прогнозовані дані	Рік	Прогнозовані дані
1950	36 905	2001	48 320
1951	37 630	2002	48 037
1952	38 207	2003	47 760
1953	38 837	2004	47 489
1954	39 452	2005	47 222
1955	40 052	2006	46 960
1956	40 637	2007	46 704

1957	41 206	2008	46 452
1958	41 758	2009	46 205
1959	42 295	2010	45 962
1960	42 797	2011	45 724
1961	43 319	2012	45 489
1962	43 807	2013	45 260
1963	44 278	2014	45 035
1964	44 734	2015	44 813
1965	45 150	2016	44 595
1966	45 596	2017	44 381
1967	46 005	2018	44 171
1968	46 397	2019	43 964
1969	46 774	2020	43 761
1970	47 111	2021	43 562
1971	47 485	2022	43 365
1972	47 819	2023	43 172
1973	48 139	2024	42 982
1974	48 446	2025	42 796
1975	48 714	2026	42 612
1976	49 020	2027	42 436
1977	49 289	2028	42 254
1978	49 547	2029	42 079
1979	49 792	2030	41 907
1980	50 002	2031	41 738
1981	50 250	2032	41 571
1982	50 464	2033	41 407

1983	50 667	2034	41 246
1984	50 861	2035	41 087
1985	51 024	2036	40 931
1986	51 222	2037	40 777
1987	51 390	2038	40 625
1988	51 549	2039	40 476
1989	51 701	2040	40 328
1990	51 838	2041	40 184
1991	51 487	2042	40 041
1992	51 167	2043	39 900
1993	50 797	2044	39 762
1994	50 465	2045	39 625
1995	50 139	2046	39 491
1996	49 820	2047	39 358
1997	49 508	2048	39 228
1998	49 202	2049	39 098
1999	48 902	2050	38 972
2000	46 608	2051	38 847

Порівнюємо отримані розрахунки з фактичними даними. Для цього використаємо наявні дані за кожне п'ятиріччя з 1950 по 2020 та дані 2001 (перепису населення). Розраховуємо відсоток похибки.

Таблиця 3.2.2 – Прогноз населення та статистичні дані

Рік	Статистичні дані	Прогнозовані дані	Похибка, %
1950	36 905	36 905	0

1955	39 506	40 052	1.36
1960	42 469	42 797	0.77
1965	45 133	45 150	0.04
1970	47 127	47 111	0.03
1975	48 881	48 714	0.34
1980	50 044	50 002	0.08
1985	50 941	51 024	0.16
1990	51 838	51 838	0
1995	51 728	50 139	3.07
2000	49 429	48 608	1.66
2001	48 240	48 320	0.17
2005	47 280	47 222	0.12
2010	45 962	45 962	0
2015	42 844	44 812	4.59
2020	41 902	43 761	4.44

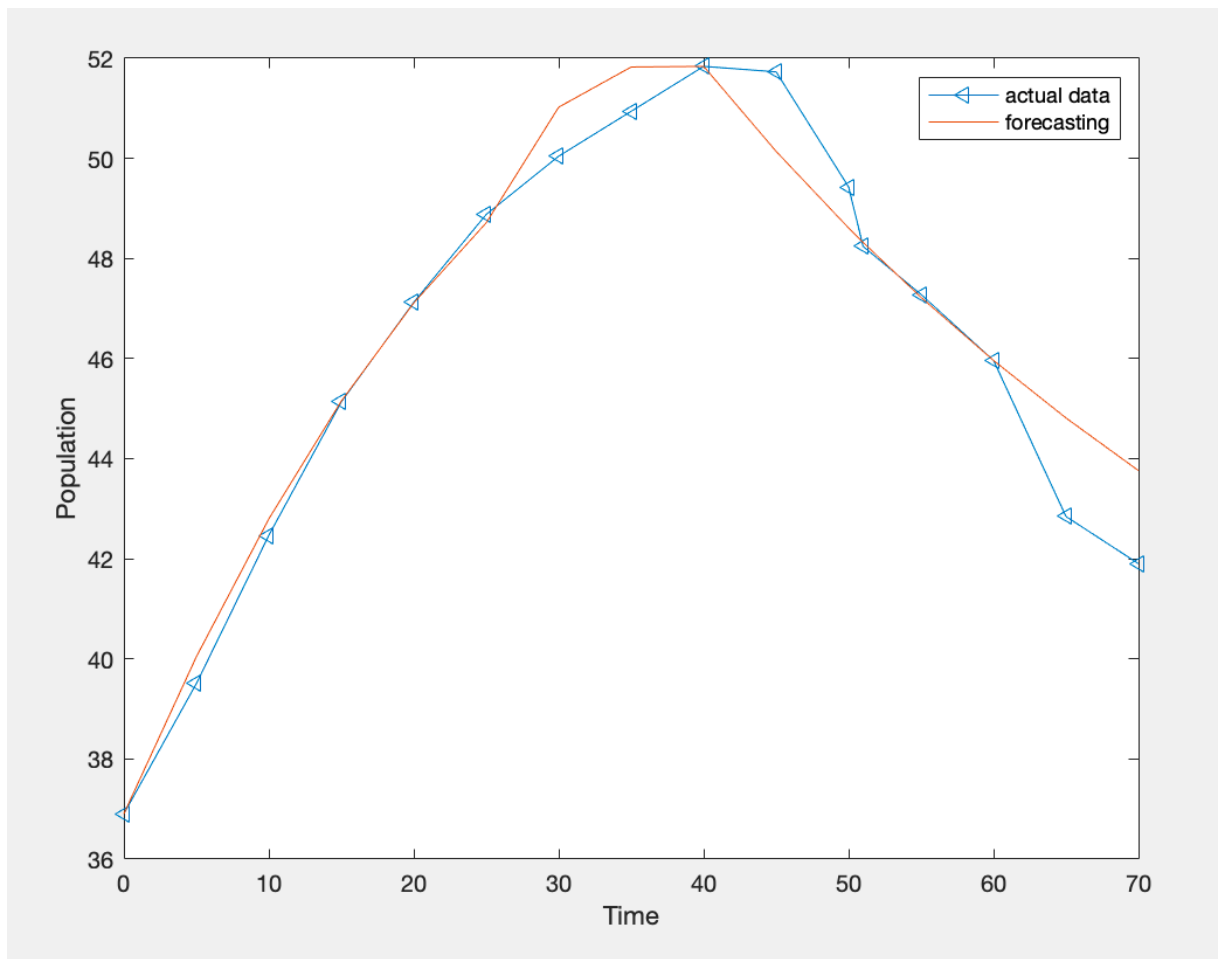


Рисунок 3.2 – Графіки змін чисельності населення України за отриманою моделлю Ферхюльста та згідно статичних даних з 1950 по 2050

На рис. 3.2 можемо побачити, що отримана логістична модель дає подібні результати до реальних даних у період швидкого відтворення популяції з 1950 по 1990 роки. На цьому проміжку середнє значення похибки дорівнює 0,01% .

Після 1990 року помічаємо процес депопуляції населення. Тут максимальнє значення похибки – 4,59%, а середнє – 2,44%. Такий різкий спад можна пояснити рядом соціально-економічних факторів. Криза 90-х сильно вдарила по багатьох аспектах життя українців: різке зменшення народжуваності, збільшення відсотку смертності, від’ємне сальдо міграції.

Загальний відсоток похибки – 1,83%.

Логістична модель спрогнозувала, що у 2050 році чисельність населення України буде складати 38 млн. 972 тис. осіб. Після аналізу демографічних проблем країни, можемо також спрогнозувати тенденцію до спаду.

Висновок

Були розглянуті основні чинники, які впливали на демографічні процеси України. А також проблема депопуляції населення України, спричинена кризою 90-х, спад тенденції багатодітності та збільшення рівню смертності населення через проблеми системи охорони здоров'я.

Були розглянуті існуючі моделі прогнозування чисельності населення, зокрема експоненціальна, логістична та модель Капіці.

Для прогнозування чисельності населення України була обрана логістична модель. Шляхом вирішення рівняння Ферхюльста було з'ясовано, що ємність середовища для України становить 54, 488 млн. осіб в період з 1950 по 1989 роки та 27,669 млн. осіб. з 1990 по 2050. Отримані темпи росту добре співпадають зі справжнім становищем з 1950 по 2020.

Згідно, побудованої логістичної моделі Україну чекає продовження зменшення кількості населення, що також впливає з проаналізованих статистичних даних у розділі 1. Отриманий прогноз, щодо чисельності населення України станом на 2050 рік становить 38, 972 млн. осіб.

Список літератури

1. Glenn - Mathematical Models in Biology, 2005
2. Капіца С. П. - Феноменологическая теория роста населения Земли
3. Капіца С. П. - Доклад на засіданні Президиума РАН 24 лютого 2003 года
4. Дорошенко Л. С. - Демографія
5. Дані Укрстату по чисельності населення України - http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/ds/nas_rik/nas_u/nas_rik_u.html
6. Укрсensus, дані про населення України - <http://database.ukrcensus.gov.ua/Mult/Dialog/Saveshow.asp>
7. Тульський М. – Підсумки перепису населення 2001 - <http://www.demoscope.ru/weekly/2003/0113/analit03.php>
8. World Population Prospects: The 2012 Revisionб 2018
9. Населення України – Вікіпедія - https://uk.wikipedia.org/wiki/Населення_України#cite_note-FOOTNOTEНаціональний_атлас_України2007-3
10. Vox Ukraine – Демографічні перспективи України
11. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019).

Лістинг

Population_prediction.m

```
t=[0:61];
years=[0:101];
t1 = [0:39];

format long

P2 = [36.905*54.498*
(exp(1).^(0.0556.*t1))./(54.498+36.905*((exp(1).^(0.0556.*t1))-
1)),51.838*27.669*
(exp(1).^(0.007912.*t))./(27.669+51.838*((exp(1).^(0.007912.*t))-1))];

plot(years,P2)
legend('forecasting')
xlabel('Time')
ylabel('Population')
```

Compare.m

```
t=[0,5,10,11,15,20,25,30];
years=[0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,51,55,60,65,70];
t1 = [0,5,10,15,20,25,35,40];

format long

P2 = [36.905*54.498*
(exp(1).^(0.0556.*t1))./(54.498+36.905*((exp(1).^(0.0556.*t1))-
1)),51.838*27.669*
(exp(1).^(0.007912.*t))./(27.669+51.838*((exp(1).^(0.007912.*t))-1))];

p=[36.905,39.506, 42.469, 45.133,47.127, 48.881, 50.044, 50.941,51.838,
51.728,49.429,48.240,47.280,45.962,42.844,41.902
];

plot(years,p,'<- ',years,P2)
legend('actual data','forecasting')
xlabel('Time')
ylabel('Population')
```