

Конкурсна робота
**«Дослідження факторів впливу на динаміку зміни
середньорічної температури в Україні»**
під шифром
klimat-factory

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ I. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА СЕРЕДНЬОРІЧНУ ТЕМПЕРАТУРУ В УКРАЇНІ.....	5
РОЗДІЛ II. ПРОГНОЗУВАННЯ СЕРЕДНЬОРІЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В УКРАЇНІ НА ОСНОВІ ARIMA МОДЕЛЕЙ.	13
ВИСНОВКИ.....	18
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	19

ВСТУП

Актуальність дослідження. В зв'язку з тенденцією температури в останні роки підвищуватись, дослідження того за рахунок яких саме факторів відбувається ця зміна досить важлива, так як це допоможе краще оцінювати як саме температура буде змінюватись в майбутньому. В свою чергу, інформація про те які зміни в температурі потрібно очікувати, є досить важливою як для звичайного населення, так і для певних галузей виробництва. Робота присвячена дослідженню наявності впливу певних факторів на показник температури на території України, та побудові моделей для прогнозу подальших змін.

Об'єктом дослідження є середньорічна температура в Україні.

Предметом дослідження є фактори впливу на динаміку зміни середньорічної температури в Україні.

Мета дослідження: аналіз впливу факторів на середньорічну температуру в Україні.

У відповідності до мети були поставлені наступні завдання:

1. Визначити фактори що можуть впливати на динаміку зміни середньорічної температури в Україні;
2. Встановити наявність впливу факторів на показник середньорічної температури в Україні;
3. Побудувати моделі зміни середньорічної температури в Україні з урахуванням факторів що на неї впливають.
4. Порівняти отримані моделі, зробити прогнози.

Методи дослідження: збір, зведення і групування статистичних даних; кореляційний аналіз; статистичне моделювання та прогнозування.

Практична цінність. Результати даної роботи можуть стати корисним джерелом інформації для прийняття певних управлінських рішень в деяких галузях промисловості.

Наукова новизна. Прогнозування середньорічної температури на основі ARIMA моделей із введенням передаточних функцій-факторів.

Апробація результатів. Результати даної роботи було висвітлено у статті «Дослідження факторів впливу на динаміку зміни середньорічної температури в Україні» у Наукових записках молодих вчених №8 (2021) [7].

Структура роботи. Робота складається з двох розділів. В першому розділі розглядаються температурний показник, та фактори що на нього потенційно можуть впливати, в другому будуються моделі що описують середньорічну температуру, та прогнозуються її зміни. Робота містить 10 рисунків та 4 таблиці. Список використаних для написання роботи джерел містить 16 позицій.

РОЗДІЛ І. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА СЕРЕДНЬОРІЧНУ ТЕМПЕРАТУРУ В УКРАЇНІ

Огляд літератури і стан проблеми. Дослідження змін температури є частиною питання зміни клімату, яке є досить актуальним в наш час, так як зміна клімату впливає на різні сфери людської діяльності. Так, наприклад, в статті «Comprehensive climate factor characteristics and quantitative analysis of their impacts on grain yields in China's grain-producing areas» [8] питання зміни клімату розглядається як фактор, що впливає на урожайність в Китаї, і показник температури виступає як один з важливих факторів що відображає ці зміни. Стаття «Climate factors influencing effective use of geothermal resources in SE Poland: the Lublin trough» [9] розглядає вплив кліматичних змін на ефективність використання геотермальних ресурсів. Окрім дослідження впливу кліматичних змін на певні показники, також проводились і дослідження факторів що впливають на ці кліматичні зміни. Так, стаття «Main factors influencing climate change: A review» [10] є оглядом основних факторів різного характеру що впливають на кліматичні зміни, в тому числі і на зміни температури. Серед розглянутих факторів в статті особлива увага була надана процесам пов'язаним з зовнішнім впливом Сонця. Також є статті які описують можливі наслідки кліматичних змін, або підвищення температури в наслідок впливу таких факторів як наприклад викиди в атмосферу вуглекислого газу. Як приклади, можна навести такі публікації як «Парникова Земля: життя під загрозою - попри зменшення викидів CO₂» [11] та «Про вуглекислий газ та орбітальні цикли Землі. Чи існує глобальне потепління» [12], хоча в цих двох статтях говориться про зв'язок викидів вуглекислого газу та парникових газів в атмосферу і показника температури, і не проводиться більш глибоких досліджень та спроб побудови певних моделей, їх існування вказує на зацікавленість людей в інформації стосовно температурних та кліматичних змін, та тому як вони зміняться в майбутньому. Як підтвердження цього факту, є публікації, які мають за мету доступно розповісти про те, який середній показник температури, та інших кліматичних показників слід очікувати в

майбутньому в тому чи іншому регіоні світу. Прикладом такої публікації є стаття «Understanding climate change from a global analysis of city analogues» [14] в якій кліматичні та температурні зміни що очікують певні регіони через певний час, показуються на аналогії з кліматом в певних містах в цей час. А в дослідженні «Climate change: Does international research fulfill global demands and necessities?» [13] вказується факт того, що освідомленість населення про можливі майбутні зміни температури, та клімату в цілому, пов'язано з кількістю досліджень та публікацій присвячених даній проблемі в їх країнах, і тому дослідження і висвітлення їх результатів є досить важливим.

Враховуючи все вище сказане, а також те що подібних досліджень для даних показників саме зібраних на території України мало, дослідження впливу факторів на показник середньорічної температури та подальше прогнозування зміни показника середньорічної температури як важливої складової клімату в цілому, є актуальним. Тому у даній роботі ми спробували провести власне дослідження у цьому напрямку.

Дані з якими ведеться наша робота були отримані з дослідження [1] та наступних ресурсів: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/> та <https://worldbank.org/>.

Перед початком дослідження ведемо такі умовні позначення:

Y - Температурний показник вплив на динаміку якого розглядається. Визначається як середньорічна температура на території України (в °C).

X_1 - Показник CO_2 (Вуглекислого газу). Визначається як річні викиди вуглекислого газу виробництвом на території України (в млн. тон). Показник базується на територіальних викидах, тому не враховує викиди пов'язані з експортованими товарами.

X_2 - Площа лісів на території України (в кв. км).

X_3 - Парникові гази. Визначається як сумарні викиди парникових газів, в еквіваленті вуглекислого газу на території України (в млн. тонн).

X_4 - Площа знищених лісів. Показник враховує як площу лісів знищену діяльністю людей, так і втрачену в наслідок природних явищ на території України (в гектарах).

Слід зауважити, що частина цих показників наявна лише за відносно невеликий проміжок часу, і прогнози що будуть будуватися, будуть базуватися саме на даних цього проміжку часу.

Розглянемо як вказані показники змінювались протягом часу. Для цього, побудуємо та розглянемо їх графіки.

Першим розглянемо температурний показник, Y . Його графік наведено нижче (Рис.1).

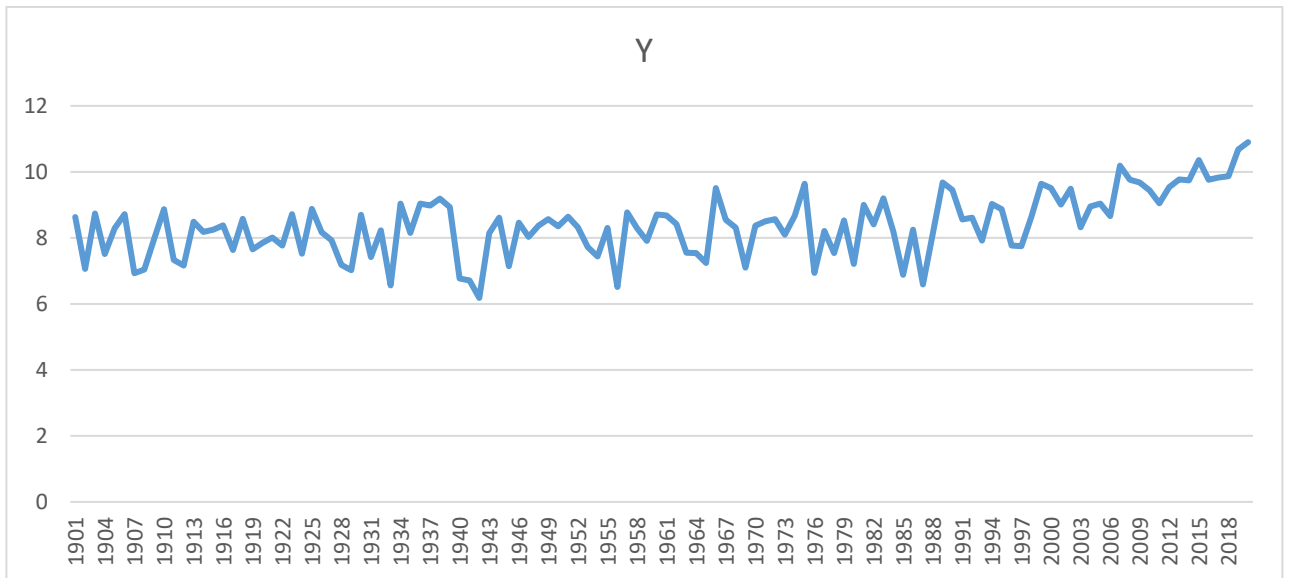


Рис.1. Графік динаміки зміни середньорічної температури в Україні

Проаналізувавши наведений графік, можна сказати, що значення цього показника постійно змінюються, але тримаються в деякому околі певного рівня. Але, як ми можемо бачити, в останні роки всі коливання цього показника зміщуються вгору, що говорить про підвищення цього рівня, а отже температури в цілому. Це можна побачити краще, якщо на основі цього ряду побудувати ряд, значення якого будуть визначатися як:

$$y_n^* = \frac{1}{5} (y_{n-2} + y_{n-1} + y_n + y_{n+1} + y_{n+2}),$$

тобто ряд що складається з середніх значень проміжків в 5 років. Його графік наведено нижче (Рис.2).

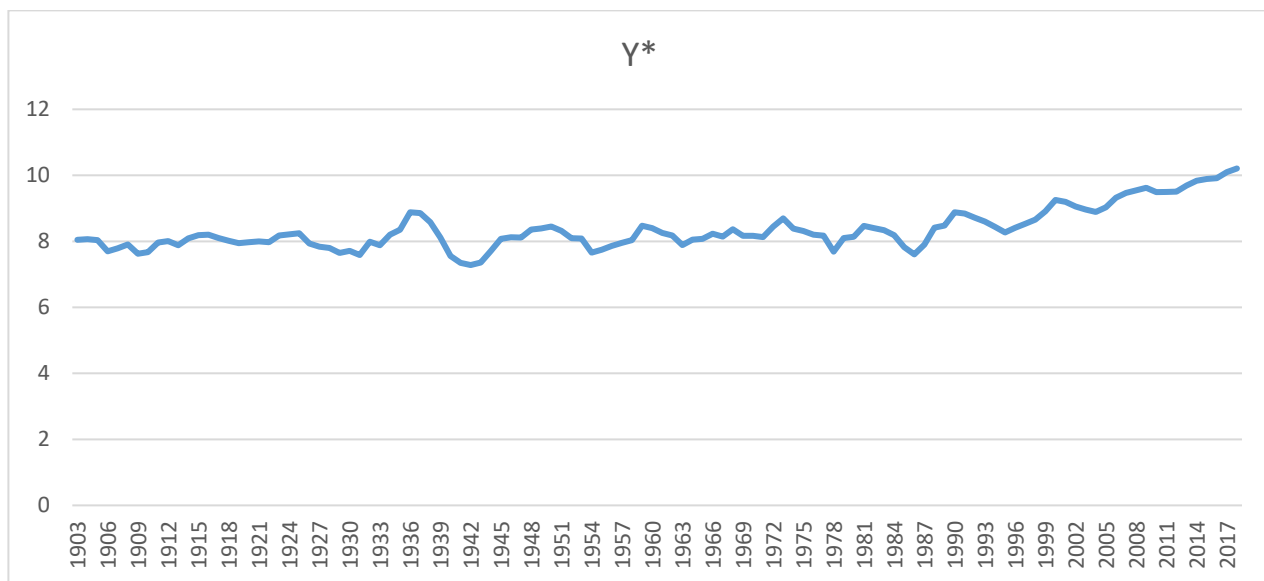


Рис.2. Згладжений графік динаміки зміни середньорічної температури в Україні

Враховуючи обидва графіки, можна зробити висновок, що середньорічна температура на території України дійсно підвищилась за останні роки, і ця зміна є досить суттєвою.

Далі розглянемо показник викидів CO_2 . Його графік наведено нижче (Рис.3).

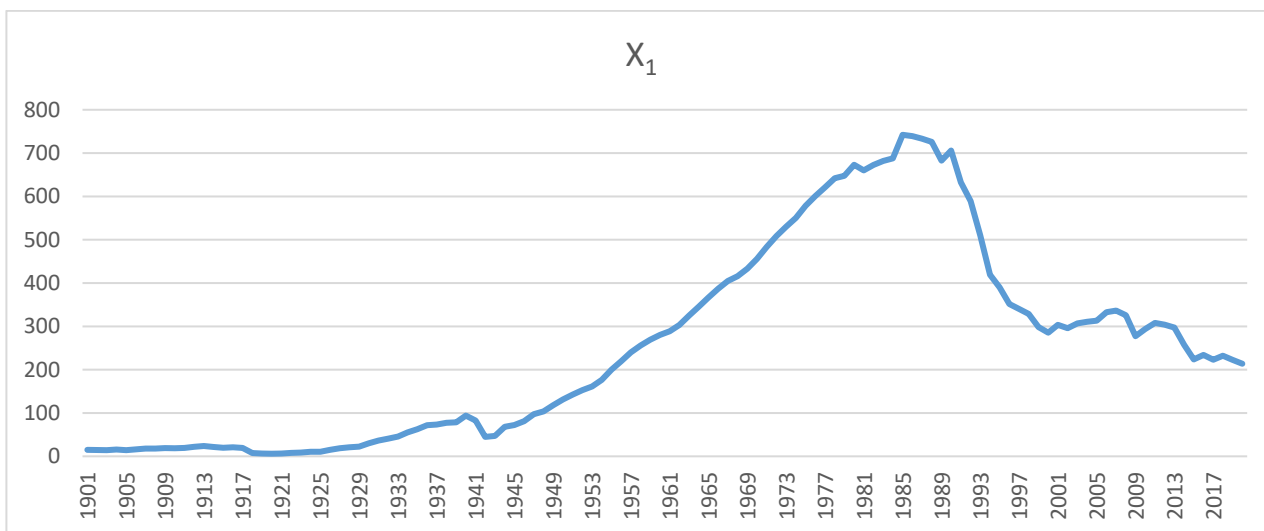
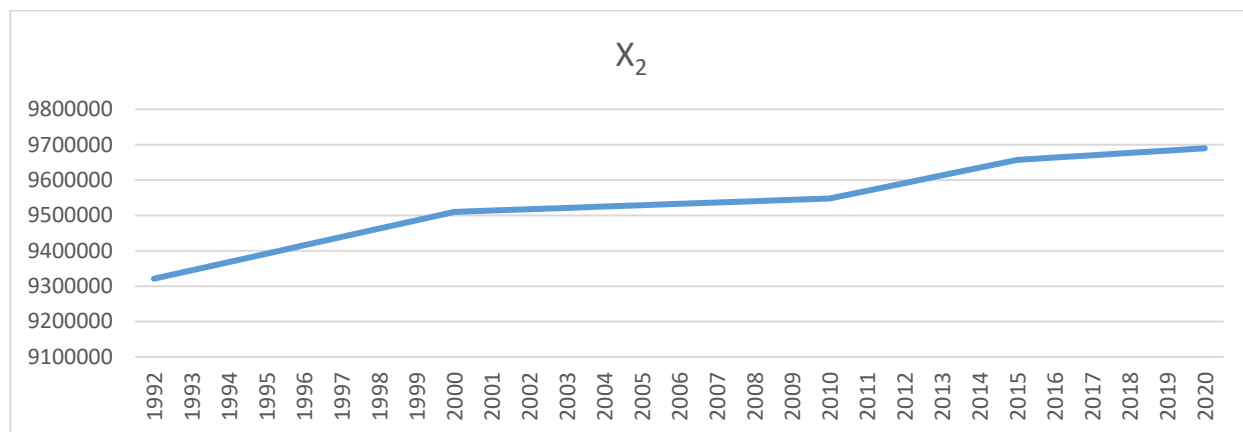


Рис.3. Графік динаміки зміни викидів CO_2 в Україні

Зміни цього показника в першу чергу зумовлені діяльністю яка спричиняє велику кількість викидів вуглекислого газу - наприклад генерацією

електроенергії за рахунок спалювання вугілля, або деяких інших видів палива. Цей факт легко підтвердити, якщо порівняти величину цього показника, і структуру енергетики країни в відповідні роки. Тому зараз, коли частка вугілля в енергетиці порівняно невисока, цей показник значно знизився, ніж наприклад 20 років тому, і як ми можемо бачити з графіку, має тенденцію спадати далі.

Далі розглянемо графік показника площі лісів (Рис.4).



за 1992-2020 роки

З графіку ми можемо побачити, що цей показник, в цілому, повільно, але постійно збільшується.

Наступний показник – викиди парникових газів. Його графік наведено нижче (Рис.5).

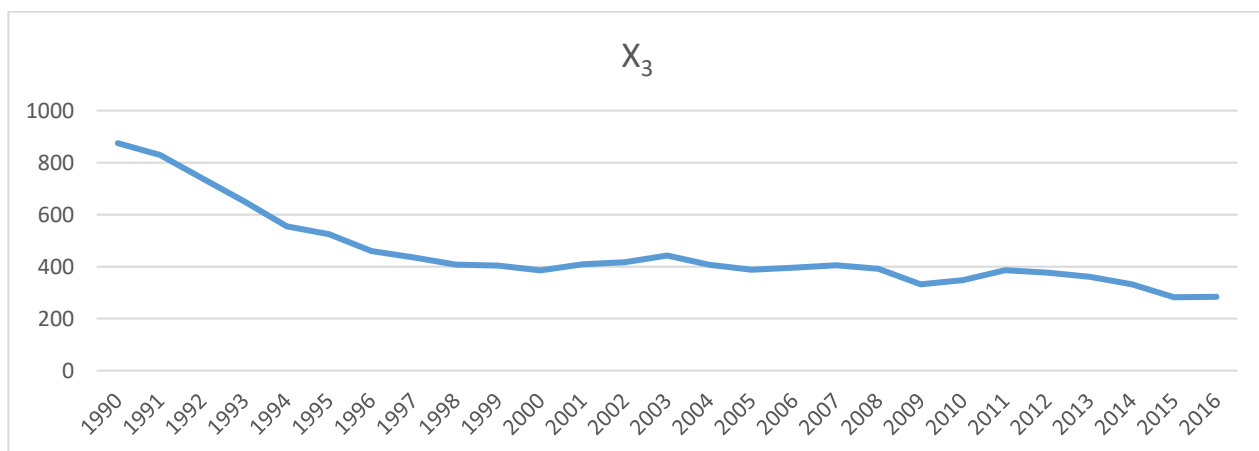
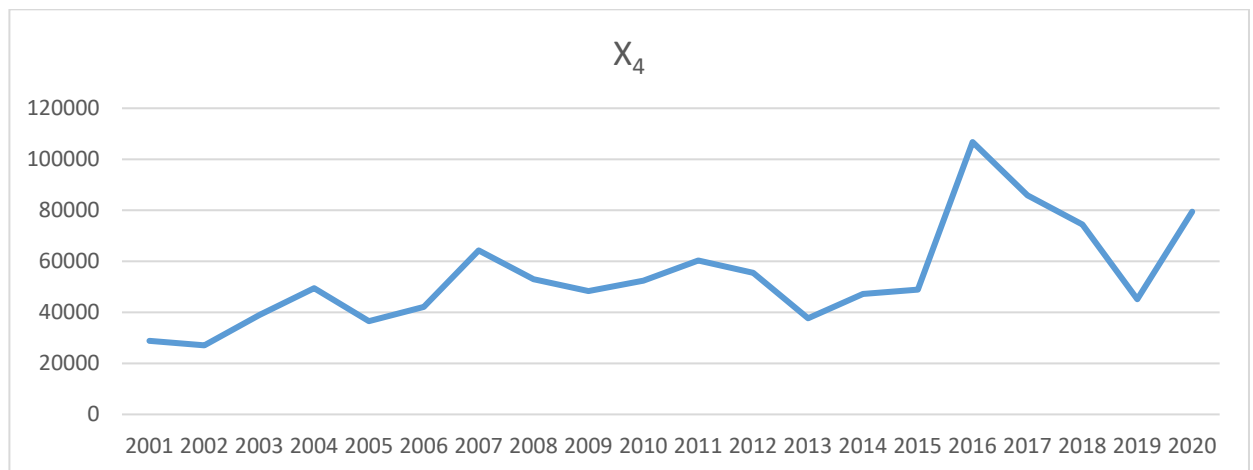


Рис. 5. Графік динаміки зміни викидів парникових газів в Україні за 1990-2016 роки

З наявних даних можна побачити, що рівень викидів парникових газів в країні стрімко знижався, після чого цей спад дуже сповільнився, але показник зберіг тенденцію до спаду.

Останній показник динаміку якого ми розглянемо – показник площі знищення лісів (Рис.6).



за 2001-2020 роки

Як ми можемо бачити, цей показник є досить непостійним, але в загальному, має тенденцію до збільшення.

Для подальшої роботи з вказаними рядами даних, необхідно перевірити їх відповідність нормальному розподілу, для визначення того який критерій застосувати для знаходження їх кореляцій.

Для перевірки відповідності даних нормальному розподілу за критерієм Колмогорова-Смирнова [2, 16] використаємо статистичний пакет SPSS. Далі наведені отримані результати.

Таблиця 1. Результати відповідності нормальному розподілу за критерієм Колмогорова-Смирнова

	Колмогорова-Смирнова		
	Статистика	ст.св.	Значимість
Y	,138	16	,200*
X ₁	,238	16	,016
X ₂	,255	16	,006
X ₃	,182	16	,163
X ₄	,191	16	,120

На основі отриманого результату, ми можемо сказати, що не всі показники мають нормальний розподіл, а саме розподіли змінних X_1 та X_2 не відповідають нормальному розподілу, так як значення їх похибок (0,016 та 0,006) менше за обраний рівень 0,05. Тому для подальшого обрахунку кореляцій, буде застосовуватись кореляція Спірмена, так як вона не залежить від того чи є дані нормально розподіленими.

Використовуючи статистичний пакет SPSS обрахуємо парні кореляції Спірмена [5, 15] між показниками. Слід зауважити, що кореляції будуть обраховуватись лише за період, для якого наявні дані по показникам. Отримані результати наведено нижче:

Таблиця 2. Коефіцієнти парної кореляції

			Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
P _o Спірмена	Y	Коеф. кореляції	1,000	-,626**	,797**	-,761**	,488*
		Знач. (двостороння)	.	,003	,000	,000	,029
	X ₁	Коеф. кореляції	-,626**	1,000	-,759**	,821**	-,278
		Знач. (двостороння)	,003	.	,000	,000	,235
	X ₂	Коеф. кореляції	,797**	-,759**	1,000	-,958**	,624**
		Знач. (двостороння)	,000	,000	.	,000	,003
	X ₃	Коеф. кореляції	-,761**	,821**	-,958**	1,000	-,537*
		Знач. (двостороння)	,000	,000	,000	.	,015
	X ₄	Коеф. кореляції	,488*	-,278	,624**	-,537*	1,000
		Знач. (двостороння)	,029	,235	,003	,015	.

** . Кореляція значуща на рівні 0,01 (двостороння).

* . Кореляція значуща на рівні 0,05 (двостороння).

Проаналізуємо отримані результати. Як ми можемо бачити всі парні кореляції можна вважати значущими. Але, якщо розглянути самі значення коефіцієнтів кореляції, то виникають питання щодо їх змісту. Так наприклад, збільшення території лісів, не сприяє підвищенню температури, але коефіцієнт кореляції між цими показниками додатній, і навпаки, відомо що викиди вуглекислого газу, та інших парникових газів дійсно пов'язані з підвищенням температури, але ми маємо від'ємні кореляції між цими показниками та температурою.

Є велика ймовірність того, що зв'язок між показником викидів вуглекислого газу та середньорічною температурою таки існує, але він має нелінійний характер. Це буде перевірено на основі того як вплине включення цих показників в якості незалежних змінних на якість побудованих моделей.

В випадку з площею лісів, додатна кореляція не несе змісту, так як зі збільшенням площі лісів, збільшується ефективність поглинання вуглекислого газу, що повинно в свою чергу призводити до сповільнення росту температури, а не навпаки. Тому, можна сказати, що даний коефіцієнт кореляції також можливо не відображає реальний зв'язок, або вплив показника несуттєвий. Тому, цей показник не буде враховуватись під час побудови моделей.

РОЗДІЛ II. ПРОГНОЗУВАННЯ СЕРЕДНЬОРІЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В УКРАЇНІ НА ОСНОВІ ARIMA МОДЕЛЕЙ

Враховуючи характер показників, недоцільно будувати звичайні лінійні регресійні моделі. Тому будуть використовуватися ARIMA моделі.

ARIMA - інтегрована модель авторегресії - змінного середнього - модель і методологія аналізу часових рядів. Будь-яка ARIMA модель має три параметри [4]:

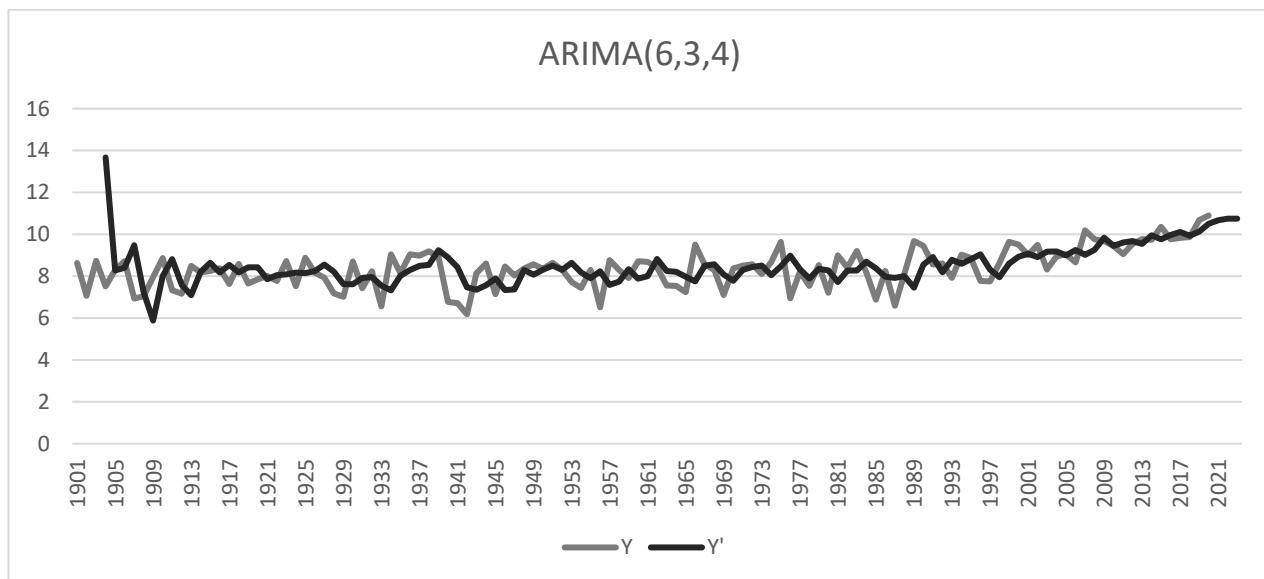
Авторегресія (p). Кількість порядків авторегресії в моделі. Порядки авторегресії задають, які попередні значення з ряду використовувалися для передбачення поточних значень. Наприклад, порядок авторегресії 2 означає, що для передбачення поточного значення використовувалося на два періоди більш раннє значення з ряду.

Диференціювання (d). Задає порядок обчислення різниць, який можна застосовувати до ряду для оцінки моделей. Обчислення різниць необхідно при наявності трендів (ряди з трендами зазвичай нестационарні, а моделювання ARIMA передбачає стаціонарність) і використовується для видалення цих ефектів. Порядок обчислення різниць відповідає степені тренду ряду - різниці першого порядку враховують лінійні тренди, різниці другого порядку - квадратичні, і так далі.

Ковзне середнє (q). Кількість порядків змінного середнього в моделі. Порядки змінного середнього задають, як відхилення від середнього значення ряду попередніх значень і використовуються для передбачення поточних значень. Наприклад, порядки змінного середнього 1 і 2 вказують, що відхилення від середнього значення ряду для кожного значення за минулі два періоди будуть розглядатися для передбачення поточних значень ряду.

За допомогою статистичного пакету SPSS були побудовані ARIMA моделі з різними параметрами використовуючи всі наявні дані показника Y. Проаналізувавши ці моделі, було встановлено, що найкраще наближення для

цього показника дає модель $ARIMA(6,3,4)$ зі зміщенням на 1 рік. Для порівняння прогнозованих значень Y' зі зміщенням та без зміщення з емпіричними були побудовані наступні графіки (Рис.7 та Рис.8):



Емпіричні значення Y та прогнозовані Y' без зміщення

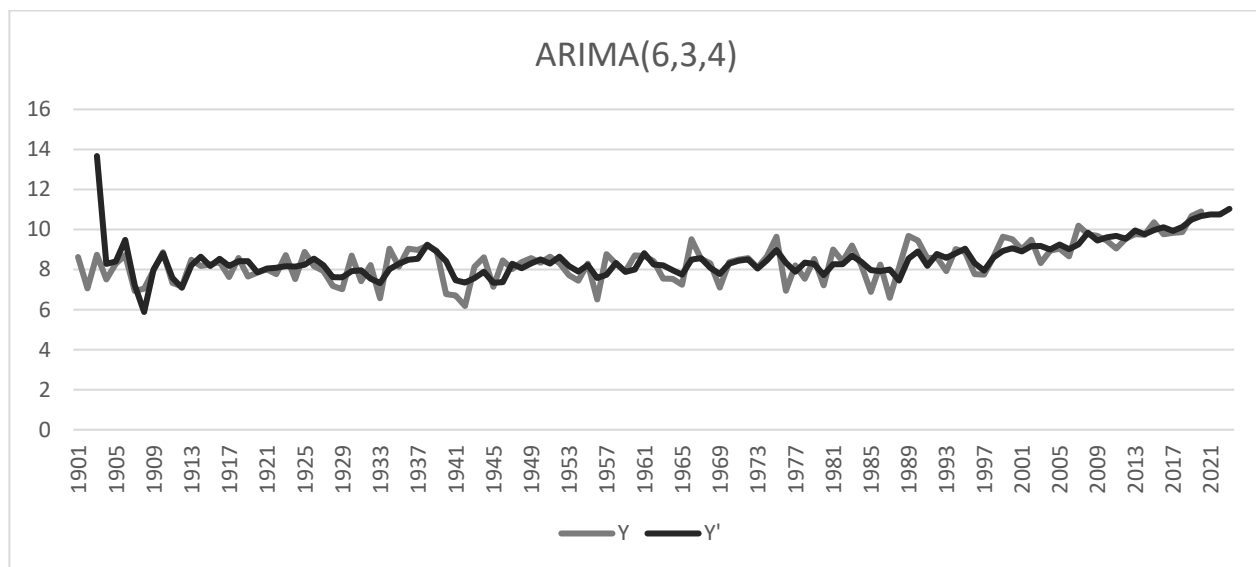


Рис.8. Емпіричні значення Y та прогнозовані Y' зі зміщенням

Враховуючи необхідність будувати наступні моделі використовуючи вибірку меншого розміру через обмеженість наявних даних для незалежних факторів, було побудовано модель з аналогічними параметрами, але на основі меншої кількості даних, для порівняння.

Використовуючи отримані моделі, були зроблені прогнози показника на 3 роки. Отримані прогнози наведено нижче (Табл. 3), для зручності прогноз для моделі зі зміщенням на 1 рік позначимо як Y'' , а значення для моделі на основі меншої вибірки було позначено як Y''' .

Таблиця 3. Прогнозовані значення на основі моделі ARIMA (6,3,4)

Рік	Прогнозовані значення		
	Y' ($R^2=0,89$)	Y'' ($R^2=0,89$)	Y''' ($R^2=0,72$)
2021	10,67	10,75	10,98
2022	10,75	10,75	10,95
2023	10,75	11,03	11,19

Як ми можемо бачити, прогноз зроблений на основі меншої кількості даних (Y''') мало відрізняється від прогнозу на основі всіх даних (Y''). Але, коефіцієнт R^2 що вказує на те, як добре прогнозні данні описують емпіричні, для моделі на основі меншої вибірки помітно зменшився, що говорить про зменшення точності прогнозу при зменшенні розміру вибірки.

Наступним кроком буде введення незалежних змінних, що впливають на Y , та побудова моделі з їх врахуванням. Введемо в якості передаточної функції незалежну змінну X_1 . Опираючись на обрану раніше модель ARIMA(6,3,4), підберемо параметри для передаточної функції показника X_1 . Порівнявши різні моделі, було встановлено, що найкраще наближення до емпіричних даних дає модель з параметрами $X_1(1,1,1)$. Для порівняння прогнозованих значень з емпіричними був побудований наступний графік (Рис.9):

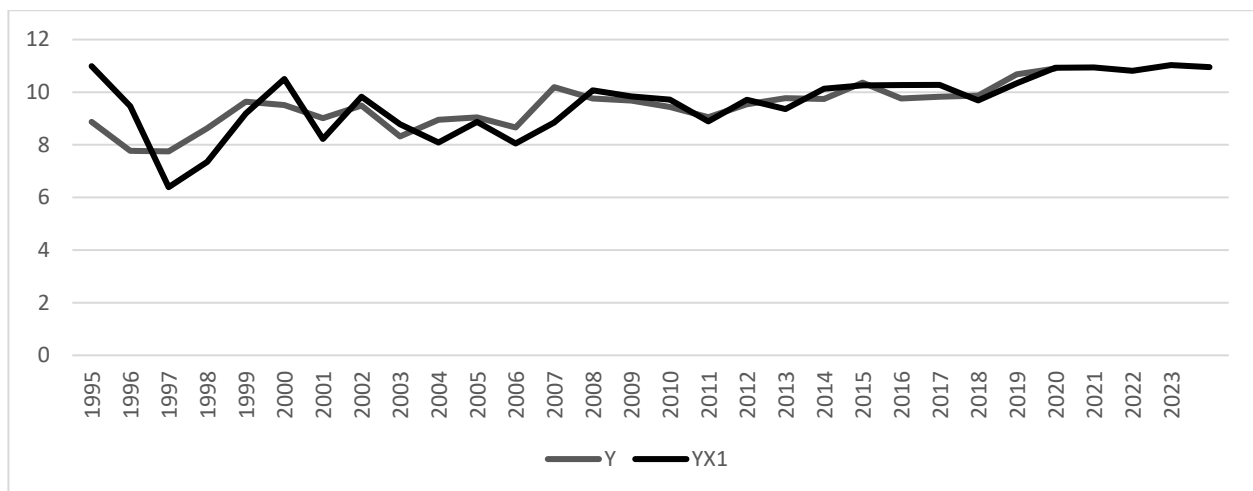


Рис.9. Емпіричні значення Y та прогнозовані ARIMA(6,3,4), $X_1(1,1,1)$.

Як ми можемо бачити, прогнозовані значення добре відповідають, емпіричним ближче до кінця часового ряду.

Введемо в модель наступний фактор - X_3 . Аналогічно, порівнявши моделі, було обрано модель з параметрами передаточної функції $X_3(1,0,1)$. Порівняти прогнозовані дані з емпіричними можна за допомогою графіків наведених нижче Рис.10:



Y та прогнозовані ARIMA(6,3,4), $X_3(1,0,1)$.

Не складно помітити, що отримані прогнозні значення за допомогою цієї моделі, візуально краще відповідають емпіричним, що говорить про покращення моделі при введенні цієї незалежної змінної, в порівнянні з попередньою.

При введенні останньої незалежної змінної, X_4 , не було встановлено такої моделі, яка б добре відповідала емпіричним даним, тому було прийняте рішення не вводити її.

Для моделей показника Y з X_1 та з X_1 і X_3 також були побудовані прогнози на 3 роки. Вони наведені в таблиці (Табл. 4) разом з прогнозом лише на основі Y , вибірки аналогічного розміру, для порівняння.

Таблиця 4. Прогнозовані значення з урахуванням факторів

Рік	Прогнозовані значення		
	Y''' ($R^2=0,72$)	YX_1 ($R^2=0,79$)	YX_1X_3 ($R^2=0,79$)
2021	10,98	10,81	11,74
2022	10,95	11,03	11,93
2023	11,19	10,95	12,38

В наведеній таблиці, ми можемо бачити окрім прогнозованих значень, коефіцієнти R^2 . Даний показник якості моделі збільшився при введенні додаткових факторів, що говорить про покращення моделі, при однаковому розмірі вибірки. Але, також, можна побачити що не зважаючи на візуальне покращення наближення прогнозованих значень до емпіричних в моделі з врахуванням двох факторів в порівнянні з моделлю з одним фактором, для них коефіцієнт R^2 однаковий, тому можна вважати що їх прогнози мають однакову точність. На основі прогнозованих значень, ми можемо сказати, що в наступні роки слід очікувати або незначного підвищення температури, або збільшення її на 1 градус. Але в обох випадках температура все таки підвищиться.

ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи було визначено фактори які можуть впливати на динаміку зміни показника середньорічної температури в Україні. Була перевірена наявність впливу цих показників на середньорічну температуру в Україні за допомогою кореляцій. Були побудовані ARIMA моделі для показника середньорічної температури, без та з урахуванням виділених факторів впливу. Серед побудованих моделей, було прийнято як модель що найкраще описує емпіричні дані модель ARIMA(6,3,4) з параметрами передаточних функцій для факторів (1,1,1) для показника викидів вуглекислого газу та параметрами (1,0,1) для показника викидів парникових газів. Показники площі лісів, та площі знищення лісів, не були включені до цієї моделі. Були спрогнозовані дані за 2021, 2022, 2023 роки на основі 5 різних моделей.

Враховуючи як вплинуло на якість побудованих моделей включення показників які напряду пов'язують з глобальним потеплінням, тобто викиди вуглекислого газу та інших парникових газів, можна сказати що явище глобального потепління дійсно існує, і впливає на температуру в Україні. Також, на основі зроблених прогнозів можна сказати, що слід скоріше очікувати підвищення температури, ніж її зменшення, так як прогнози говорять саме про підвищення температури на території України в наступні роки.

Зауважимо, що дане дослідження було виконане два роки тому, але через військовий стан, конкурс був відмінений і результати дослідження не були представлені. Наразі ми можемо оцінити отримані прогнози, порівнявши їх з фактичними значеннями середньорічної температури. Вже оприлюднені значення за 2021 рік (9.37 °C) та 2022 рік (10.04 °C) для України. Найближчими фактичні значення є до моделі ARIMA(6,3,4) зі зміщенням на 1 рік, для якої коефіцієнт детермінації був найвищим ($R^2=0,89$). Звичайно прогнозні значення дещо відрізняються від фактичних, але відхилення не є глобальними. Отже, модель, як охоплює найбільшу кількість показників за великий проміжок часу дала найкращі результати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hannah Ritchie and Max Roser (2020) - "CO₂ and Greenhouse Gas Emissions". *Published online at OurWorldInData.org*. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
3. Лупан І.В., Авраменко О.В., Акбаш К.С. Комп'ютерні статистичні пакети: навчально-методичний посібник. 2-е вид. Кіровоград: «КОД», 2015. – 236 с.
4. Наконечний С.І., Терещенко Т.О., Романюк Т.П. Економетрія: Підручник. – Вид. 3-тє, доп. та перероб. – К.: КНЕУ, 2004. – 502 с.
5. Лупан І.В., Авраменко О.В., Акбаш К.С. Комп'ютерні статистичні пакети: навчально-методичний посібник. 2-е вид. Кіровоград: «КОД», 2015. – 236 с.
6. IBM Knowledge Center. Спецификации для пользовательских моделей АРПСС URL: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSLVMB_sub/statistics_mainhelp_ddita/spss/trends/idh_idd_tab_arima_crit_model.html
7. Токарь В. Дослідження факторів впливу на динаміку зміни середньорічної температури в Україні. Наукові записки молодих учених №8 (2021). URL: <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1912/pdf>
8. Jieming Chou, Yuan Xu, Wenjie Dong, Tian Xian, Hong Xu, Zheng Wang, Comprehensive climate factor characteristics and quantitative analysis of their impacts on grain yields in China's grain-producing areas, *Heliyon*, Volume 5, Issue 12, 2019.
9. Ciapała, B., Jurasz, J., Janowski, M. et al. Climate factors influencing effective use of geothermal resources in SE Poland: the Lublin trough. *Geotherm Energy* 9, 3 (2021).

10. Nikolov, Todor & Petrov, Nikola. (2014). Main factors influencing climate change: A review. *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences*. 67. 1455-1476.

11. Парникова Земля: життя під загрозою - попри зменшення викидів CO₂ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-45116263>

12. Про вуглекислий газ та орбітальні цикли Землі. Чи існує глобальне потепління [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ecoindustry.pro/avtorski-statti/pro-vuglekyslyy-gaz-ta-orbitalni-tykly-zemli-chy-isnuye-globalne-poteplinya>

13. Klingelhöfer, D., Müller, R., Braun, M. et al. Climate change: Does international research fulfill global demands and necessities?. *Environ Sci Eur* 32, 137 (2020).

14. Bastin J-F, Clark E, Elliott T, Hart S, van den Hoogen J, Hordijk I, et al. (2019) Understanding climate change from a global analysis of city analogues. *PLoS ONE* 14(7): e0217592.

15. Лугінін О.Є. Статистика. Підручник. 2 е видання, перероблене та доповнене– К.: Центручбової літератури, 2007. – 608с.

16. Руденко В.М. Математична статистика. Навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 304 с.