

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра військової підготовки

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

на тему: «Застосування кліматичного підходу для визначення температури туманоутворення радіаційних туманів»

Виконав курсант групи В-19  
Спеціальності 103 «Науки про Землю»  
курсант Перелазний Артем Юрійович  
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Керівник майор  
Яцишен Анатолій Олегович

Консультант канд. геогр. наук, доцент  
Грушевський Олег Миколайович

Рецензент канд. геогр. наук, доцент  
Прокоф'єв Олег Милославович

Одеса 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра військової підготовки

Освітній ступень бакалавр

Спеціальність 103 Науки про Землю

(шифр і назва)

Освітня програма «Організація метеорологічного та геофізичного  
забезпечення Збройних Сил України»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник кафедри військової підготовки

полковник **Олег ГРУШЕВСЬКИЙ**

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

курсанту **ПЕРЕЛАЗНОМУ** Артему Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Застосування кліматичного підходу для визначення  
температури туманоутворення радіаційних туманів»

керівник роботи Яцишен Анатолій Олегович

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора ОДЕКУ від 29 квітня 2023 року № 56 «С»

2.Строк подання курсантом роботи 12 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: дані з автоматизованого робочого місця синоптика  
на станції Гостомель коли спостерігався радіаційний туман за період з  
01.01.2010 по 31.12.2020р, а також радіозондування на станції Київ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити):

1) відбір вихідних даних з випадками радіаційного туману на станції

Гостомель за період з 01.01.2010 по 31.12.2020р.

2) побудова добово-річного розподілу туманів

3) визначення фактичної температури туманоутворення для відібраних  
випадків туману, розрахунок її середніх багаторічних значень для певного  
часу доби і сезону року

4) апроксимація розподілу середніх значень температури туманоутворення  
аналітичною функцією

5) розрахунок похибок між фактичними значеннями температури туманоутворення і значеннями, розрахованими за різними методами

5. Перелік графічного матеріалу: Графіки відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення визначеною за методом Сандерса, Кірюхіна і Зверева за різні місяці року на станції Гостомель. Графіки апроксимації добового ходу температури туманоутворення з використанням фактичної температури та методів прогнозу за різними місяцями року зі згладжуванням поліноми 5-ої степені.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Грушевський О. М., к.геогр.н., доц		
2	Грушевський О. М., к.геогр.н., доц		

7. Дата видачі завдання: 08 травня 2023 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Отримання завдання та пошук літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи бакалавра	08.05 – 12.03.23	87	добре
2.	Відпрацювання 1 та 2-го розділів роботи	13.03 – 18.05.23	86	добре
3.	Рубіжна атестація	19.05 – 23.05.23	84	добре
4.	Обробка вхідних даних та розрахункової частини	24.05 – 31.05.23	85	добре
5.	Відпрацювання 3-го розділу	01.06 – 09.06.23	85	добре
6.	Відпрацювання вступної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків	10.06 – 13.06.23	84	добре
7.	Перевірка роботи на плагіат, підготовка презентації, доповіді	14.06.23		
8.	Подання роботи на рецензування	15.06.23		
9.	Подання роботи до навчальної частини	16.06.23		
10.	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	19.06.23	85	добре

курсант

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Артем ПЕРЕЛАЗНИЙ**

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи майор

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Анатолій ЯЦИШЕН**

(ім'я та прізвище)

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Умови утворення туманів та їх класифікація.....	8
1.1 Синоптичні умови утворення туманів.....	8
1.2 Класифікація туманів.....	11
1.3 Фізико-метеорологічні закономірності утворення туманів.....	12
1.4 Аеросиноптичні умови утворення туманів.....	14
2. Методи прогнозу температури туманоутворення.....	16
2.1 Визначення температури туманоутворення за методом Сандерса.....	16
2.2 Визначення температури туманоутворення за методом Зверева.....	19
2.3 Визначення температури туманоутворення за методом Кирюхіна.....	24
3. Параметризація прогнозу температури туманоутворення з використанням кліматичних характеристик туманів.....	27
3.1 Загальна характеристика вихідних даних та процедури апроксимації.....	27
3.2 Апроксимація добово-річного розподілу повторюваності туманів та визначення її ефективності на станції Гостомель.....	29
3.3 Розрахунок похибок між фактичними значеннями температури туманоутворення і значеннями, розрахованими за різними методами....	40
Висновки.....	49
Перелік посилань.....	51
Додатки.....	53

## ВСТУП

Туман – помутніння повітря в приземному шарі, обумовлене наявністю в ньому зважених крапель води, крижаних кристалів або їх суміші, при горизонтальній видимості менше одного кілометра хоча б в одному напрямку.

Туман є небезпечним для авіації явищем погоди, яке може унеможливити здійснення посадки і зльоту літального апарату, в значній мірі ускладнити бойове застосування авіації. Однак у деяких випадках туман може бути сприяючим фактором, наприклад під час проведення прихованих приготувань до проведення операцій наземними військами, і бути навпаки маскуючим явищем для візуального виявлення розташування військ, техніки і аеродромів.

Утворення радіаційних туманів залежить від місцевих фізико-географічних особливостей і має локальний характер. Ці тумани не розподіляються рівномірно по великій площі, але утворюються у вигляді окремих "плям" або плямистих зон. Наприклад, дослідження показують, що у певних районах гірських хребтів радіаційний туман формується через вплив вітру та особливості місцевого рельєфу. Крім того, аналізи вказують на те, що при певних погодних умовах радіаційні тумани можуть утворюватися поблизу водних джерел або на болотистих місцевостях.

Утворення туману відбувається зверху вниз. З практики відомо, що від моменту виявлення помутніння під інверсією до утворення туману на аеродромі проходить 20-30 хв., а іноді 1-2 год.

Після сходу Сонця туман розсіюється через швидке прогрівання підстильної поверхні. Інтенсивне підвищення температури у шарі туману знищує температурну інверсію і призводить до випаровування крапель туману. Завдяки вертикальним рухам, водяний пар переноситься у верхні шари атмосфери. Цей процес поступово поліпшує видимість в тумані.

*Актуальність* обраної тематики обумовлена тим, що прогноз горизонтальної видимості, погіршення якої зокрема пов'язане з можливим утворенням туману, є одним з небезпечних для авіації явищ, та є складовою метеорологічного забезпечення польотів.

*Метою* даної роботи є розрахунок, а також оптимізація оптимальної місцевої поправки для покращення прогнозу радіаційного туману за методом Сандерса, Зверева і Кирюхіна.

*Завдання, що вирішувались у рамках дослідження для досягнення мети:*

– відбір вихідних даних з випадками радіаційного туману на станції Гостомель за період з 01.01.2010 по 31.12.2020р;

– побудова добово-річного розподілу туманів;

– визначення фактичної температури туманоутворення для відібраних випадків туману, розрахунок її середніх багаторічних значень для певного часу доби і сезону року;

– апроксимація розподілу середніх значень температури туманоутворення аналітичною функцією;

– розрахунок похибок між фактичними значеннями температури туманоутворення і значеннями, розрахованими за різними методами.

Для виявлення місцевої поправки використовувалися архівні дані з автоматизованого робочого місця синоптика на станції Гостомель. Цей архівний матеріал охоплював фактичний стан погоди з 2010 по 2020 рік.

Протягом цього періоду відбиралися випадки радіаційного туману для подальшого дослідження. У цих випадках реєструвалися значення температури, які є індикатором температури туманоутворення. Температура вимірювалася наближено до моменту утворення туману на поверхні землі. Отримані дані надають можливість провести детальний аналіз і встановити характеристики туману та механізми його утворення.

Бакалаврська робота складається з вступу, трьох розділів, висновки і списку використаних джерел.

У першому розділі надано загальну інформацію про тумани, їх характеристики, класифікацію та умови утворення.

Другий розділ присвячений методам прогнозу температури туманоутворення для радіаційних туманів, запропонованим різними авторами.

У третьому розділі представлені результати розрахунків температури туманоутворення за допомогою трьох методів. Показано добово-річний хід туманів для обраного періоду. Визначено коефіцієнти детермінації за місяцями року і обчислені похибки між фактичною температурою туманоутворення і прогностичними методами.

У розділі висновки наведено основні результати дослідження.

У додатках представлені допоміжні матеріали.

## 1. УМОВИ УТВОРЕННЯ ТУМАНІВ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

### 1.1 Синоптичні умови утворення туману

Прогнозування туманів розпочинається з оцінки синоптичних умов, які сприяють їх виникненню. Цей початковий етап визначає, чи наявні умови для певного виду туману. Оцінка сприятливих синоптичних умов допомагає встановити, чи відповідає поточна погодна ситуація параметрам, необхідним для утворення туману. Такий аналіз має велике значення для точного прогнозу туманних умов і надання відповідного попередження. Радіаційний туман утворюється, коли повітря над поверхнею землі охолоджується до точки роси і конденсується, утворюючи туман. Це найбільш поширений тип туману і він зазвичай утворюється вночі, коли низька інтенсивність сонячного світла зменшує теплову енергію, яка допомагає утримувати повітря в русі.

Для утворення радіаційного туману потрібні такі синоптичні та метеорологічні умови:

- ясна погода: у нічний час, коли сонце відсутнє, мало хмар. Ясна ніч забезпечує зниження температури повітря внизу над поверхнею землі;
- низька вітрова швидкість: мале або відсутнє вітрове рухання допомагає утримувати повітря в нижніх шарах атмосфери та запобігає розсіюванню туману;
- низький вміст водяної пари: повітря повинно бути відносно сухим, щоб утворювати радіаційний туман. Вологість повітря повинна бути менше 100% і температура повітря повинна бути поруч з точкою роси;
- різниця між денною та нічною температурою: радіаційний туман зазвичай утворюється, коли нічна температура на 5 – 10 градусів нижча за денну;
- різниця в температурі над поверхнею землі: поверхня землі може



охолоджуватись швидше за повітря, що знаходиться над нею, зокрема, над

– вологими поверхнями, наприклад, вологою землею чи піском. Це зменшує температуру повітря біля поверхні землі і може призводити до утворення радіаційного туману [1].

В глибині материка переважають радіаційні тумани. Найбільш часто вони утворюються у тилівій частині антициклону, в його західній та північній частинах, а також на гребні і мало градієнтному баричному полі. На рис. 1.1 – 1.3 наведені приклади сприятливої синоптичної обстановки для виникнення радіаційного туману.

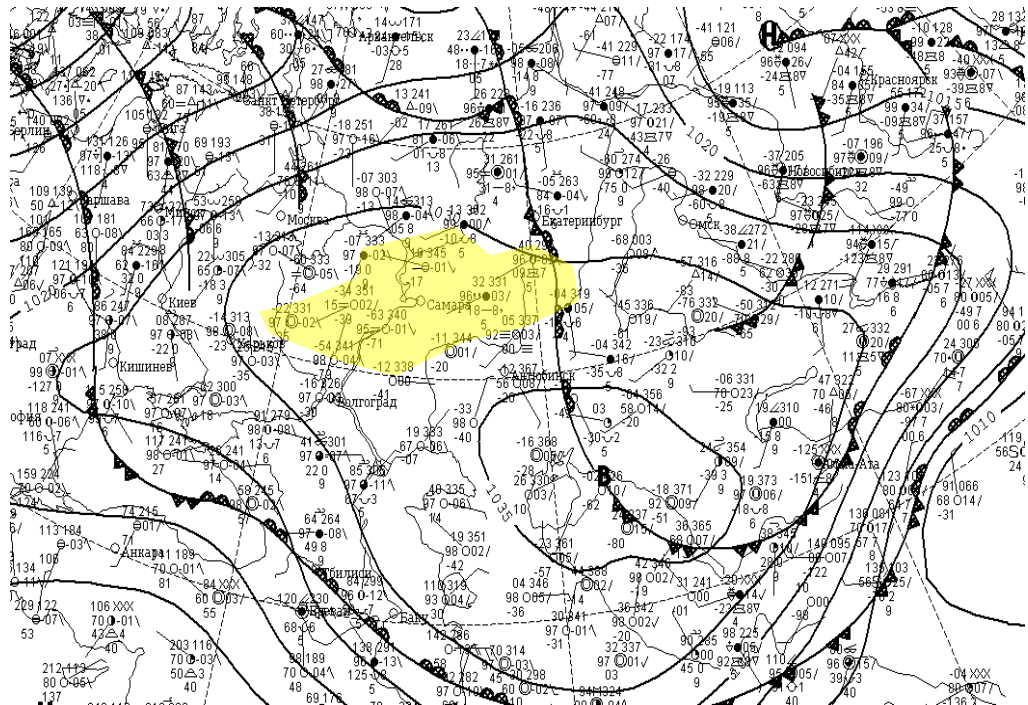


Рис.1.1 – Радіаційний туман у теплому секторі

В глибині материка переважають радіаційні тумани. Найбільш часто вони утворюються у тилівій частині антициклону, в його західній та північній частинах, а також на гребні і мало градієнтному баричному полі. На (рис. 1.1 – 1.3) наведені приклади сприятливої синоптичної обстановки для виникнення радіаційного туману.

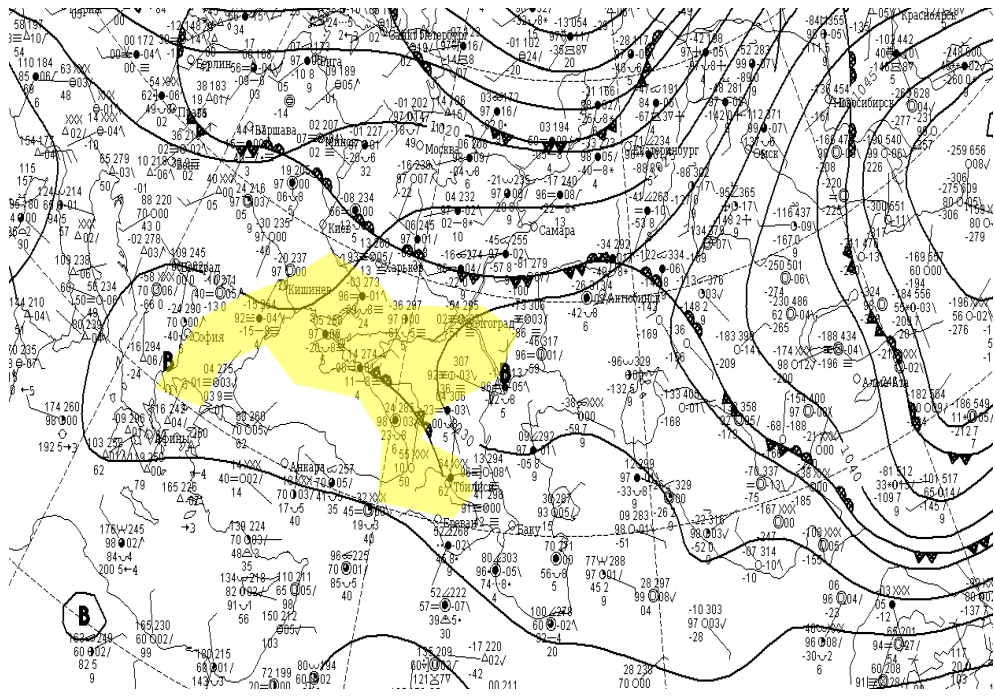


Рис.1.2 – Радіаційний туман на гребні антициклону

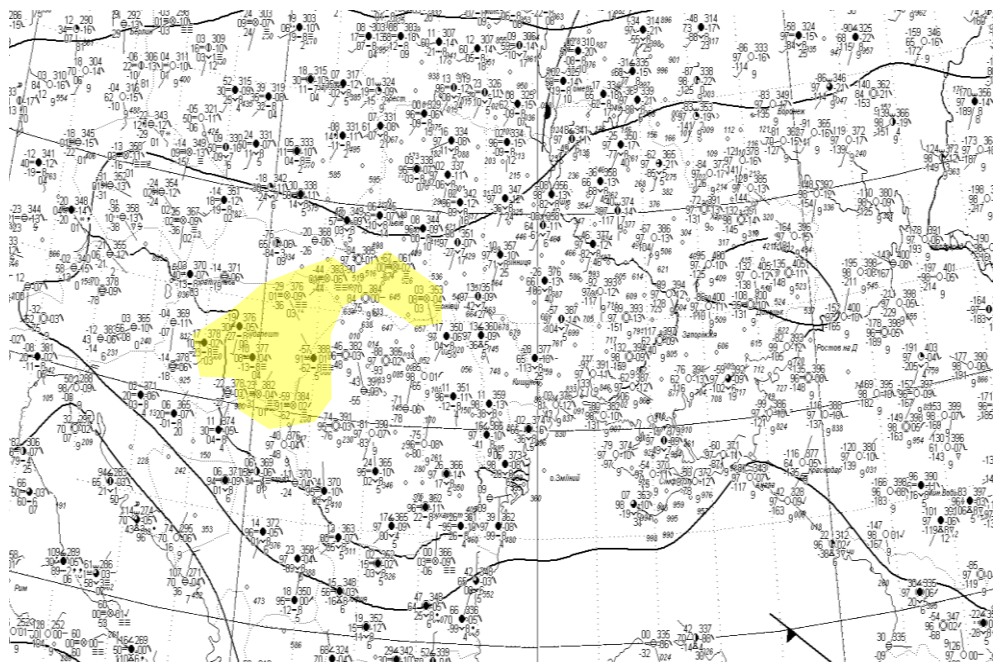


Рис. 1.3 – Радіаційний туман в мало градієнтному баричному полі

Адвективно-радіаційний туман переважно виникає в західних і північних частинах антициклонів. Дослідження показали, що його формування спостерігається на західній периферії антициклону в 40%

випадків [2]. Крім того, виявлено, що туман може утворюватися в теплому секторі рухомих циклонів в 17,8% випадків і на східній периферії малорухомих циклонів в 30,4% випадків. Ці аналізи дозволяють краще розуміти розподіл і характеристики адвективно-радіаційного туману [3].

## 1.2 Класифікація туманів

Тумани можна класифікувати за декількома ознаками, такими як походження, склад, структура, розмір та інтенсивність. Нижче наведено кілька основних видів класифікації туманів:

1. Тумани за походженням поділяються на:

– радіаційні тумани, що утворюються внаслідок охолодження повітря за нічних умов;

– адвекційні тумани, що утворюються при перенесенні теплого і вологого повітря над холодною поверхнею;

– конвективні тумани, що утворюються при швидкому охолодженні теплого і вологого повітря внаслідок контакту з холодною поверхнею.

2. Тумани за складом поділяються на:

– водяні тумани, які складаються з невеликих крапель води;

– льодові тумани, які складаються з льодових кристалів;

– сухі тумани, що складаються з повітря зі зниженою вологістю та без видимих частинок.

3. Тумани за структурою поділяються на:

– однорідні тумани, які мають однорідний склад і відсутність видимих шарів або зон;

– багаторівневі тумани, що мають видимі шари або зон, що відрізняються за складом і температурою.

4. Тумани за розміром поділяються на:

– мікротумани, які мають розміри менше 100 метрів;

– мезотумани, які мають розміри від 100 до 1000 метрів;

– макротумани, які мають розміри більше 1000 метрів.

5. Тумани за інтенсивністю поділяються на:

- помірні тумани, які зменшують видимість на 500 метрів або менше;
- густі тумани, які зменшують видимість на менше 200 метрів[4].

Ці класифікації можуть використовуватися окремо або в поєднанні одна з одною, в залежності від потреби. Наприклад, радіаційні тумани можуть бути багаторівневими, а адвективні тумани можуть бути густими. Також, багаторівневі тумани можуть бути складнішими за структурою, ніж однорівневі тумани.

Додатково до цих класифікацій, існує також класифікація туманів за їх впливом на транспорт. Наприклад, у Великій Британії, Метеорологічне агентство Великої Британії використовує таку класифікацію:

1. Туман, що зменшує видимість від 1000 метрів до 100 метрів.
2. Туман, що зменшує видимість від 100 метрів до 50 метрів.
3. Щільний туман, що зменшує видимість менше 50 метрів.

Ці класифікації допомагають метеорологам та іншим спеціалістам зрозуміти характеристики туману та підготувати відповідні заходи безпеки для людей та руху транспорту [5].

### 1.3 Фізико-метеорологічні закономірності утворення туманів

Утворення туманів пов'язане зі специфічними фізико-метеорологічними процесами, які відбуваються в атмосфері. Основними факторами, які впливають на утворення туманів, є насиченість повітря водяною парою, температура та відносна вологість повітря, а також метеорологічні умови, такі як вітер та атмосферний тиск.

Один з найбільш поширених механізмів утворення туманів - це охолодження повітря, що містить водяну пару до точки роси. Цей процес може відбуватися через контакт з холодною поверхнею, наприклад, на землі, або шляхом зміни тиску в атмосфері. Відносна вологість повітря

збільшується, коли температура знижується до точки роси, при якій водяна пара перетворюється на рідку воду.

Інший механізм утворення туманів – це змішування повітря різних температур і вологості. Коли тепле та вологе повітря змішується з холодним та сухим повітрям, температура на границі між цими ділянками повітря може знизитися до точки роси, що призводить до утворення туману.

Також утворення туману може бути пов'язане з метеорологічними явищами, такими як конвекція, адвекція та радіаційна охолодження. Наприклад, адвекційний туман утворюється, коли тепле та вологе повітря переноситься над холодним поверхнею, такою як океан або земля. Адвекційний туман може виникати, коли вітер, що дме над водою, принесе вологу атмосферу на суходіл, де тепле повітря не може висушувати її належним чином [6].

Знання про фізико – метеорологічні процеси, які призводять до утворення туманів, допомагає розуміти причини їх появи та розробляти ефективні методи боротьби з ними. Наприклад, знання про точку роси може допомогти у передбаченні утворення туману, тоді як знання про метеорологічні умови, які призводять до адвекційного туману, може допомогти у його запобіганні.

Також важливим фактором утворення туманів є місцева географія та природні умови, такі як близькість до водних поверхонь, рельєфу землі та типу рослинності. Наприклад, тумани можуть утворюватися над річками, озерами та іншими водними джерелами через випаровування води у теплу пору року, що може призвести до насиченості повітря водяною парою.

Утворення туманів також може бути пов'язане з тепловими ефектами, зумовленими антропогенними факторами, такими як викиди від автомобілів та промислові викиди. Ці ефекти можуть призводити до зниження видимості в повітрі та утворення туманів.

Загалом, фізико – метеорологічні процеси, які відбуваються в атмосфері, взаємодіють з природними та антропогенними факторами, що призводить до

утворення туманів. Розуміння цих процесів може допомогти при прогнозуванні туманів, розробці стратегій боротьби з ними та управлінні ризиком для транспорту, землеробства та інших галузей, які можуть бути чутливими до туманів [7].

#### 1.4 Аеросиноптичні умови утворення туманів

Аеросиноптичні умови також можуть впливати на утворення туманів. Аерозолі, такі як пил, сажа, мікроорганізми та інші частинки, можуть служити як ядра конденсації, на яких утворюються краплі води в атмосфері. У певних умовах, коли концентрація цих аерозолів є досить високою, вони можуть стимулювати утворення туману.

Наприклад, смог, що містить велику кількість пилу та інших частинок, може викликати утворення туману, особливо в умовах недостатньої циркуляції повітря та низької відносної вологості. У таких умовах частинки смогу можуть виступати як ядра конденсації, де волога атмосфера починає конденсуватися на них, утворюючи туман.

Крім того, велика кількість аерозольних частинок, що випускаються в атмосферу в результаті промислової діяльності, може призвести до утворення туманів в міських районах. У цих випадках, забруднене повітря може утворювати аерозольні ядра конденсації, що збільшують шанси на утворення туману [8].

Крім того, висока концентрація сірководню та інших викидів від промислових підприємств може сприяти утворенню туманів. Ці речовини можуть призводити до утворення сульфатних та нітратних частинок, які можуть служити як ядра конденсації для утворення крапель води в атмосфері.

Деякі природні процеси також можуть стимулювати утворення туманів шляхом утворення аерозольних частинок, що служать як ядра конденсації. Наприклад, при виверженні вулканів можуть викидатися в атмосферу великі

кількості попелу та інших частинок, що можуть стимулювати утворення туманів.

Також, природні лісові пожежі можуть викликати утворення туманів шляхом випуску частинок у повітря. У таких умовах, частинки диму та інші аерозольні частинки можуть служити як ядра конденсації, що призводить до утворення крапель води в атмосфері [9].

Нарешті, відносна вологість повітря є ще одним важливим фактором в утворенні туманів. Висока відносна вологість може призводити до конденсації водяної пари в атмосфері, утворюючи краплі води, що стають основою для туману. Умови, коли відносна вологість повітря досягає 100%, називаються точкою роси. Якщо температура повітря спадає нижче точки роси, то відбувається конденсація водяної пари, що може призвести до утворення туману.

Узагальнюючи, утворення туманів залежить від декількох факторів, таких як наявність ядер конденсації, відносна вологість повітря, температура повітря та метеорологічні умови. Різні комбінації цих факторів можуть призводити до утворення різних типів туманів [10].

## 2. МЕТОДИ ПРОГНОЗУ ТЕМПЕРАТУРИ ТУМАНОУТВОРЕННЯ

### 2.1 Визначення температури туманоутворення за методом Сандерса

Метод Сандерса – це один з методів визначення температури туманоутворення. Цей метод ґрунтується на спостереженнях за температурним градієнтом на поверхні землі та вище її. Метод Сандерса базується на спостереженнях за температурним градієнтом на поверхні землі та вище її, а також за температурою точки роси. Цей метод дає можливість оцінити температуру, при якій відносна вологість повітря досягає 100%, що може призвести до утворення туману.

За методом Сандерса, температуру туманоутворення можна визначити, якщо виміряти температуру повітря та температуру точки роси на висоті 2 метри від землі. Якщо температура повітря та температура точки роси приблизно рівні, то це означає, що навколишнє повітря насичене водяною парою та є потенційним для утворення туману [11].

На рис. 2.1 показані різні варіанти розподілу кривих температурних точок роси та стратифікації, і відповідно до цього наведені методи різного знаходження точок туману.

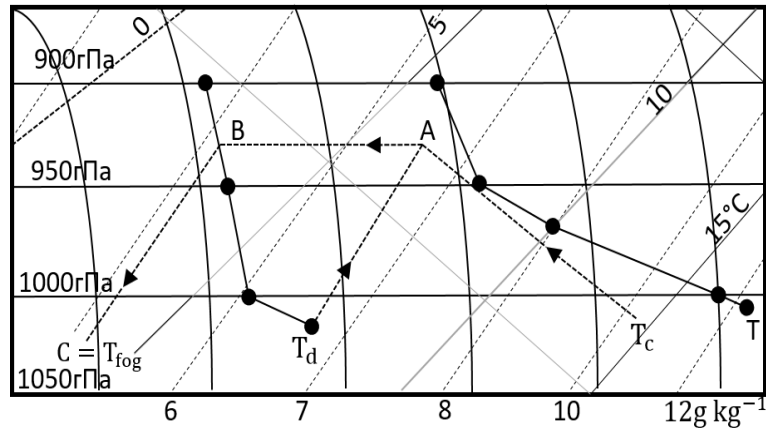
Тип 1 (показаний на рис. 2.1 а) характеризується наявністю суперadiaбатичного розподілу кривої стратифікації від поверхні землі. У цьому випадку криву стратифікації осереднюють від рівня, де розподіл температури стає нормальним, тобто від точки, де відбувається падіння температури зі збільшенням висоти. Після цього, за загальноприйнятою методикою, розпочнеться рівень конденсації та значення точки туману (описано вище).

Тип 2 (рис. 2.1 б). Якщо на будь-якому рівні крива точки ростуть з нормальним розподілом, який швидко змінюється на стрімке збільшення, а потім знову падає, то від останнього рівня зі збільшенням значення точки

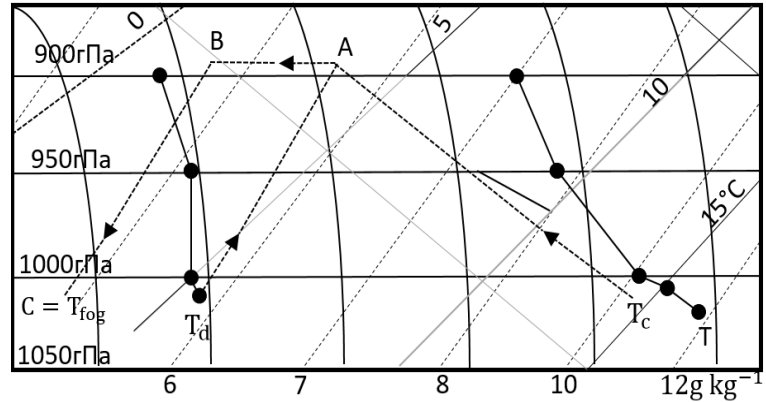


росту відбувається прямою лінією, і попередній процес повторюється. Далі, за описаним вище методом, знаходять рівень конденсації та значення точки туману [12].

Тип 3 (рис. 2.1 в). Якщо точка роси на поверхні знаходиться ліворуч від точки роси на вищому рівні, то є два способи визначення точки туману:

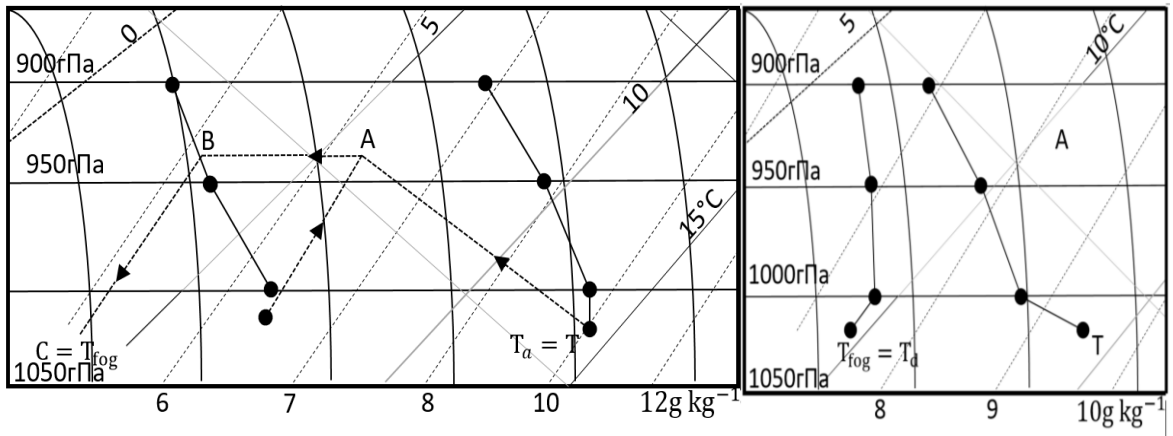


а)



б)

Далі необхідно порівняти цю температуру з температурою повітря на поверхні землі. Якщо на поверхні землі температура нижча, ніж на висоті 2 метри, то це може вказувати на умови, які сприяють утворенню туману.



в)

Рис. 2.1 – Показана оцінка точки туману за методом Сандерса з поправками, внесеними до полуденних зондувань за різних умов [12].

Наприклад, у нічний час земля випромінює тепло, тому що немає сонячного світла, тому температура на поверхні землі може бути нижчою, ніж у повітрі на висоті 2 метри. Якщо ж температура повітря на поверхні землі вища за температуру на висоті 2 метри, то це може свідчити про те, що умови не сприятливі для утворення туману.

Для більш точного визначення температури туманоутворення за методом Сандерса, можна використовувати висотні метеорологічні дані, що дають можливість вимірювати температуру та вологість повітря на різних висотах. В такому випадку, температура туманоутворення визначається як середнє значення температури на висотах, де відносна вологість повітря досягає 100%.

Метод Сандерса є досить простим та ефективним методом для визначення температури туманоутворення. Однак, він не є точним і може давати неточні результати у випадку зміни погодних умов. Необхідно враховувати, що температура туманоутворення може відрізнятися для різних типів туману [13].

Також слід пам'ятати, що метод Сандерса дозволяє визначити температуру туманоутворення на конкретній метеорологічній станції, а не

взагалі для певної місцевості. Тому, для отримання більш точних результатів, необхідно проводити вимірювання на декількох станціях в різних точках місцевості.

Незважаючи на деякі обмеження, метод Сандерса є корисним інструментом для прогнозування утворення туману та допомагає у плануванні дій, щоб запобігти можливим негативним наслідкам. Також цей метод використовується у метеорологічних дослідженнях та дослідженнях клімату, щоб оцінити умови утворення туманів у певних місцевостях [14].

## 2.2 Визначення температури туманоутворення за методом Зверева

Метод Зверева - це інший метод визначення температури туманоутворення, який базується на взаємозв'язку між температурою та точкою роси. Метод Зверева є одним з підходів до прогнозування температури туманоутворення. Цей метод базується на вимірюванні температури повітря на певній висоті та порівнянні її з точкою наступної насичення повітря. Метод Зверева може бути корисним інструментом для прогнозування моменту туманоутворення. Він дозволяє встановити, коли температура повітря досягне значення, необхідного для утворення туману. Однак, варто зазначити, що цей метод має свої обмеження і потребує точних вимірювань температури та належного аналізу даних для надійного прогнозування туману. Цей метод досить простий у використанні та дозволяє отримувати достатньо точні результати, особливо на низьких висотах. Таким чином, метод Зверева дозволяє прогнозувати момент, коли температура повітря досягне значення, при якому утвориться туман. [15].

1. Для розробки прогнозу туману використовують діаграми, процес визначення яких складається з кількох кроків. На початку, за даними про температуру і вологість повітря за попередні 18 (19) годин, визначається зниження температури повітря, яке є необхідним для утворення серпанка  $\Delta T_H$  та туману  $\Delta T_T$ . Цей процес наглядно показаний на (рис 2.2)

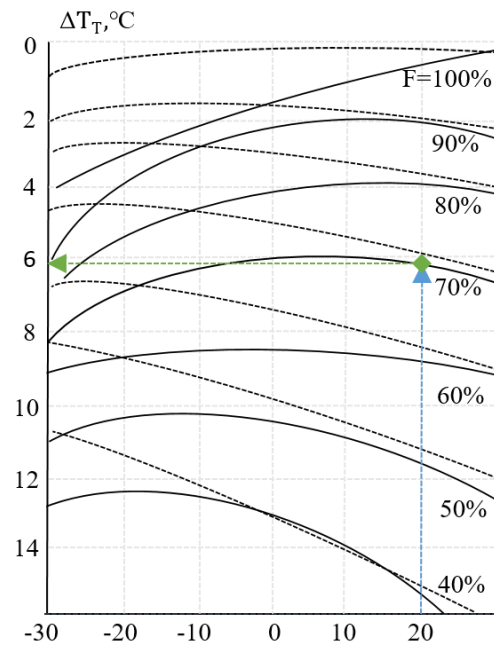


Рис. 2.2 – Номограма, за допомогою якої можна застосувати необхідне зниження нічної температури, щоб утворився туман (для серпанку показані пунктирні криві) [16].

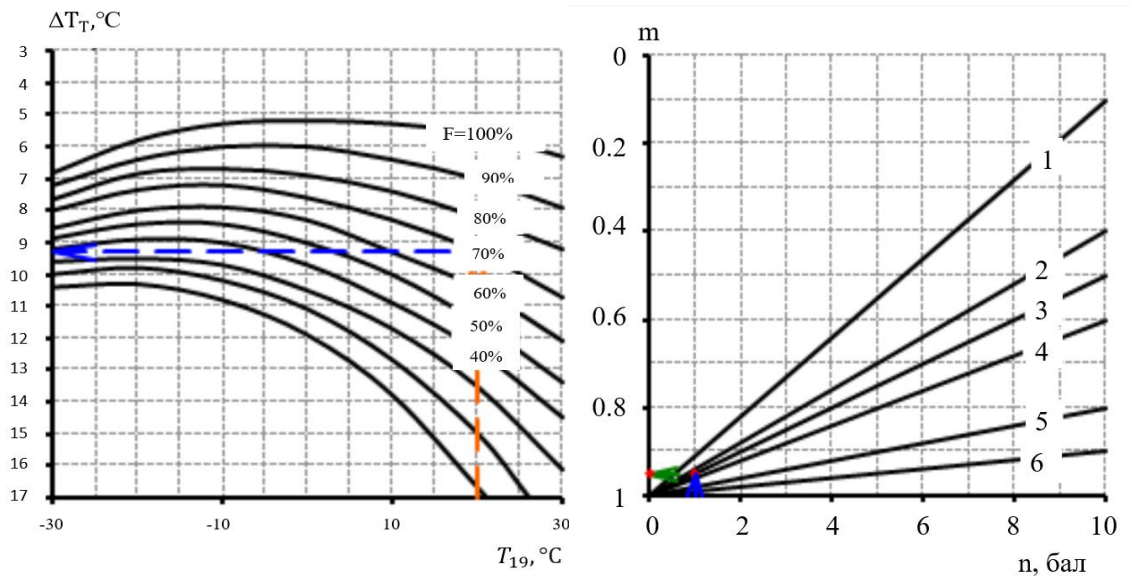


Рис. 2.3 – Наведено номограми для розрахунку нічного зниження температури, що виникає при ясному небі, позначеному як  $\Delta T_H$  (а) та коефіцієнтом  $m$  (б) [16].

2. Обчислюється виправлене значення зниження температури  $\Delta T_H$  (випр), яке дорівнює значенню  $\Delta T_{H\pm\varphi}$ .

3. За даними про хмарність на ніч розраховується коефіцієнт  $m$ , який враховує вплив хмарності на нічне зниження температури.

4. За значеннями виправленого нічного зниження температури  $\Delta T_H$  (випр), швидкості вітру та коефіцієнта, збільшення можливого зниження температури повітря в нічну годину  $\Delta T_H$  (рис. 2.4).

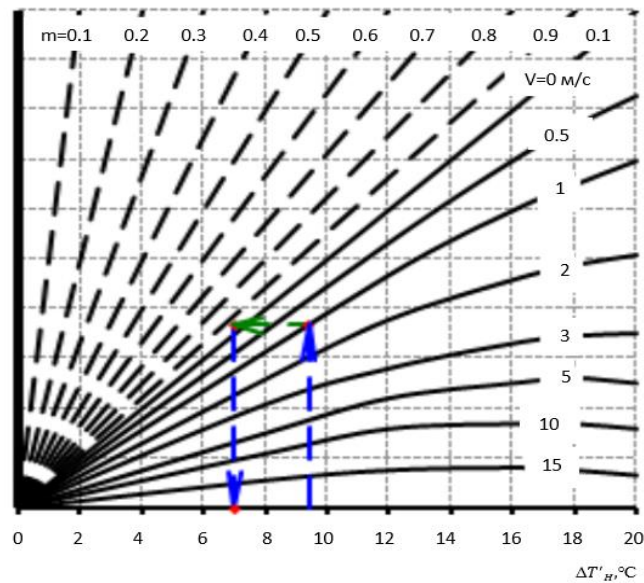


Рис.2.4 – Номограма, яка визначає вплив на нічне зниження температури з урахуванням рівня хмарності та швидкості вітру [16].

5. Для визначення можливості виникнення туману (серпанка) порівнюючи значення  $\Delta T_T$  ( $\Delta T_D$ ) і  $\Delta T_H$ . Якщо  $\Delta T_H$  більше за  $\Delta T_T$  і  $\Delta T_D$ , тоді очікується утворення туману. Якщо значення  $\Delta T_T$  більше за  $\Delta T_H$  і  $\Delta T_D$ , тоді утворення туману не очікується, а прогноз передбачає утворення серпанку.

6. Якщо туман утворюється, необхідно встановити час його виникнення. Для цього необхідно обчислити відношення зниження температури повітря від точки роси до нічного зниження температури та порівняти його з графіком (рис. 2.5).

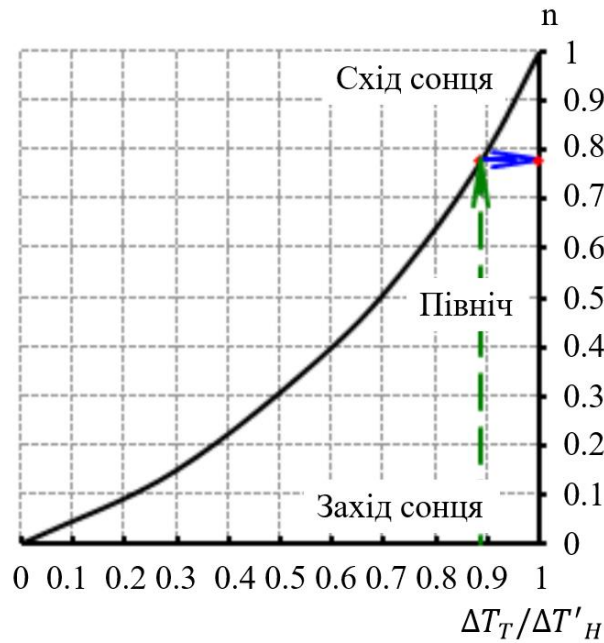


Рис.2.5 – Графік для прогнозу часу утворення туману.

7. Графік показує відображення ночі  $n$  до моменту утворення туману, при чому повна тривалість ночі показана одиницею ( $n = 1$ ). Наприклад, якщо тривалість ночі становить 10 годин, захід Сонця відбувається о 20:00, а на графіку значення  $n$  дорівнює 0,5, то туман утвориться о першій годині ночі. Чим вище значення відношення зниження температури повітря від точки зростання до нічного зниження температури, тим ближче до сходу Сонця відбувається утворення туману [16].

Метод Зверева базується на фізичному законі, що описує залежність між насиченою паровою кількістю води в повітрі та його температурою. Цей закон був сформульований відомим фізиком та метеорологом з України Володимиром Зверевим у 1950-х роках. Метод Зверева використовує цей закон для визначення температури, при якій насичена парова кількість у повітрі стає достатньо високою, щоб утворився туман.

Для використання методу Зверева необхідно провести вимірювання температури повітря та відносної вологості на різних висотах, зазвичай на висоті 2 – 3 метри. Потім використовуючи формулу, яка базується на

рівнянні Клаузіуса-Клапейрона, можна визначити точку роси на кожній вимірювальній висоті. Далі необхідно знайти середню температуру, при якій точка роси дорівнює температурі повітря на кожній з вимірювальних висот. Ця середня температура і є температурою туманоутворення за методом Зверева.

Однією з переваг цього методу є те, що він дає більш точні результати в порівнянні з методом Сандерса в разі складних метеорологічних умов, таких як вітер, змінність температури та вологості повітря на різних висотах, та інших факторів. Однак, цей метод також має деякі обмеження, зокрема, він використовується для прогнозування утворення туману на конкретній метеорологічній станції, а не взагалі для певної місцевості.

За цим методом, температура туманоутворення може бути визначена, якщо відносна вологість повітря більше 70%. Якщо відносна вологість менша за 70%, то формула стає непридатною.

Дані  $T$  і  $R$  показують можливе зниження за 18 (19) годин температури (рис. 2.5), яке потрібне для утворення серпанку  $\Delta T_H$  і туману  $\Delta T_T$  [17].

Метод Зверева може використовуватися для прогнозування утворення туманів в теплий період року, коли нічна температура повітря не падає нижче  $0^\circ\text{C}$ . Він також може бути корисним для швидкої перевірки умов утворення туману на місцевості, особливо в сільському господарстві та лісовому господарстві, де важливо вчасно реагувати на умови, які можуть призвести до утворення туману та спричинити негативні наслідки для врожаю або лісових насаджень.

Метод Зверева є достатньо точним і дозволяє визначити температуру туманоутворення з точністю до декількох градусів. Однак, як і в інших методах, результати розрахунків можуть бути неточними в разі наявності неочікуваних метеорологічних умов, таких як вітер, який зміщує туман відносно площини землі [18].

### 2.3 Визначення температури туманоутворення за методом Кирюхіна

Метод Кирюхіна – це один із способів визначення температури туманоутворення. Цей метод базується на вимірюванні точки роси і температури повітря в момент утворення туману. Він розроблений українським науковцем В.І. Кирюхіним у 1930-х роках і виявлено одним із найпростіших і найбільш ширших методів визначення температури туманоутворення.

Цей метод може бути корисним для прогнозування туману та інших видів вологості в певному регіоні, враховуючи параметри вологості та температури повітря. Однак слід пам'ятати, що метод Кирюхіна є емпіричним та може бути недостатньо точним в деяких випадках, тому його результати потребують уточнення та порівняння з іншими методами визначення температури туманоутворення [19].

Метод Кирюхіна обґрунтовується на аналізі лише одного параметра - відносної вологи повітря, тоді як інші фактори, такі як тиск, вітер, температура повітря та інші, також впливають на утворення туману. Тому, якщо ці інші фактори є значними, метод може давати неточні результати.

Важливо зазначити, що цей метод є лише орієнтовним, індивідуальні особливості атмосферних умов можуть спричинити зміну фактичної температури туманоутворення. Також метод Кирюхіна менш точний у порівнянні з іншими методами, наприклад, з методом Сандерса. Цей метод дозволяє визначити температуру туманоутворення з точністю до  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Отже, метод Кирюхіна може бути корисним інструментом для прогнозування туману, але вимагає певної підготовки та аналізу даних. Також важливо пам'ятати, що цей метод не є абсолютно точним і може залежати від різних факторів [20].

На рисунку 2.6 представлена номограма Кирюхіна, яку можна розділити на дві частини за значенням  $\Delta T$ . У нижній частині номограми використовуються фактичні значення температури і відносної вологості для



визначення необхідного зниження температури до насичення повітря. У верхній частині номограми показується додаткове зниження температури, необхідне для виникнення туману певної інтенсивності.

Отже загальне зниження температури, необхідне для виникнення туману певної інтенсивності, дане рівняння має вигляд:

$$\Delta T_T = (\Delta T_1 + \Delta T_2), \quad (2.1)$$

Виходячи з формули (2.1), температура туманоутворення буде розраховуватися за формулою:

$$T_T = T + \Delta T_T, \quad (2.2)$$

Метод Б.В. Кирюхіна дозволяє знайти за значеннями температури і відносної вологості повітря необхідне зниження температури для досягнення насичення ( $\Delta T_1$ ) і додаткове зниження температури для виникнення туману різної інтенсивності ( $\Delta T_2$ ) зображено на (рис. 2.6).

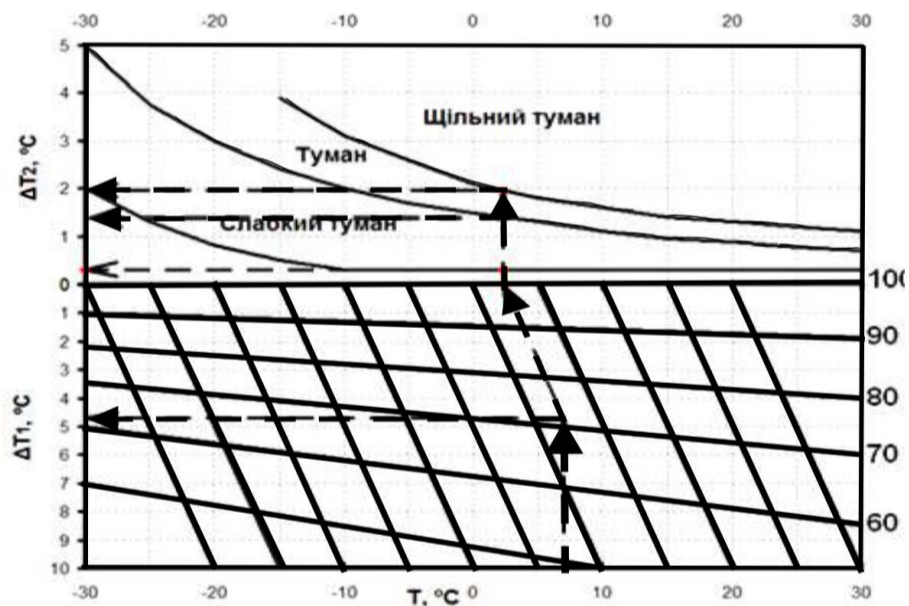


Рис.2.6 – Номограма Б.В Кирюхіна для визначення величини  $\Delta T_T$

Слід звернути на верхню частину номограми, де представлені криві лінії для слабкого, помірного і сильного туману відповідно до видимості 1000, 500 та 200 метрів. Замість стандартних ліній можна використовувати інші, що відповідатимуть мінімальним значенням, встановленим на вашому аеродромі, наприклад, видимість 800 або 400 метрів. Цей підхід дозволить прогнозувати не лише факт виникнення туману, але й його інтенсивність, що є важливим для безпеки та ефективності аеродрому [21].

Отримана температура туманоутворення буде орієнтовним значенням температури, при якій може виникнути туман. Варто зазначити, що метод Кирюхіна є лише наближенням і не дозволяє точно передбачити утворення туману, після чого він не враховує багатьох чинників, які впливають на цей процес [22].

### 3. ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ПРОГНОЗУ ТЕМПЕРАТУРИ ТУМАНООУТВОРЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ КЛІМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУМАНІВ

#### 3.1 Загальна характеристика вихідних даних та процедури апроксимації

Вихідні дані, використовувані для параметризації прогнозу температури туманоутворення з використанням кліматичних характеристик туманів, включають статистичні дані про температуру, місяць року, час доби.

Процедура апроксимації включає наступні кроки:

1. Підготовка даних. Вихідні дані підлягають обробці та підготовці. Це може включати фільтрацію шуму, видалення аномальних значень та нормалізацію даних для подальшого аналізу.

2. Аналіз даних. Виконується детальний аналіз вихідних даних для виявлення залежностей та закономірностей між температурою туманоутворення та іншими параметрами. Це може включати побудову графіків, обчислення статистичних показників та проведення кореляційного аналізу.

3. Вибір апроксимуючої функції. На основі аналізу даних вибирається підходящий математичний апарат для апроксимації температури туманоутворення. У даному випадку може використовуватись поліноміальна функція 5-го степеня для моделювання залежності.

4. Побудова апроксимуючої моделі. За допомогою вибраної апроксимуючої функції побудовується модель, яка описує залежність температури туманоутворення від кривих прогностичних методів таких як за Сандерсом, Зверева і Кирюхіна.

5. Перевірка та налаштування моделі. Побудована модель перевіряється на незалежних наборах даних, і вона може бути налаштована для досягнення кращої точності прогнозу.

6. Прогнозування температури туманоутворення. За допомогою апроксимуючої моделі можна прогнозувати температуру туманоутворення на основі кліматичних характеристик.

Прогноз радіаційного туману базується на порівнянні температури туманоутворення і мінімальної температури. Зазвичай використовується температура, зареєстрована під час заходу Сонця. Найпоширенішим способом визначення температури туманоутворення є використання графічних залежностей, що враховують температуру повітря, відносну вологість і температуру точки роси.

Проте, важливо враховувати кліматологію туманів і адаптувати метод до конкретних умов спостереження. Фіксований час, обраний як вихідний показник, вважається найбільш інформативним для прогнозу в даному місці і в певний сезон року.

Цей підхід дозволяє зробити прогноз температури туманоутворення на основі наявних даних і враховувати особливості клімату, що дозволяє отримати точніші результати.

Для дослідження туманів на станції Гостомель було проведено обчислення їх частоти з 1 січня 2010 року по 31 грудня 2020 року. Аналізувалося, як часто туман спостерігався в різних місяцях та часах доби. Розглядалися всі години, коли туман був зафіксований.

Крім цього, використовувалися значення температури туманоутворення, визначені за методом Сандерса, Зверева і Кирюхіна. Метод Сандерса ґрунтується на даних радіозондування, отриманих о 00:00 СГЧ, що відповідає середньо годинному часу, протягом того ж періоду. Метод Зверева ґрунтується на визначення температури і вологості за попередній день в теплий період року за 13 годину дня а в холодний період року за 19 годину вечора і входженнями з цими даними в графіки. В свою чергу метод Кирюхіна базується на тій же основі, що і метод Зверева визначається температура, береться за попередню добу в залежності за період року

температура і вологість і за допомогою графіку дізнаємось температуру при якій можливе виникнення туману.

Такий аналіз дозволив не тільки встановити частоту туманів, а й порівняти фактичні значення температури туманоутворення з результатами, отриманими за допомогою методів Сандерса, Зверева і Кирюхіна для станції Гостомель.

3.2 Апроксимація добово-річного розподілу повторюваності туманів та визначення її ефективності на станції Гостомель

В даній роботі були проведені дослідження кліматичних умови на станції Гостомель. Для отримання статистичних даних про температуру утворення туманів, був складений добово-річний розподіл, із використанням середніх значень для кожної комбінації місяця року та часу доби.

Для порівняння, використовувались прогностичні моделі за методами Сандерса, Зверева і Кирюхіна, одержали аналогічний розподіл температури утворення туманів. Ці методи дозволяють оцінити показники туманоутворення на основі додаткових даних.

Дані дослідження дають змогу отримати більш повну картину клімату на станції, зокрема стосовно утворення туманів. Зважаючи на різноманітні фактори, такі як місяць року та час доби, можна зрозуміти, які умови є найсприятливішими для утворення туману на станції Гостомель.

Такий підхід дозволяє розуміти, як змінюється температура туманоутворення в залежності від часу і надає більш точне уявлення про кліматичні умови, пов'язані з утворенням туманів.

Під час аналізу графіка добово – річного розподілу повторюваності туманів на станції Гостомель (див. рис. 3.1) виявлено цікаві закономірності. Більшість випадків туману спостерігається протягом перехідних сезонів: вересні – грудні та пізньої весни. Виявлено пікові часи туману між 02:00 та 06:00 ранку, а також між 18:00 та 20:00 вечора. Цікавим фактом є відсутність

радіаційного туману протягом усього дня, зокрема між 08:00 та 16:00. Отримані результати надають додаткові відомості про розподіл туману, що можуть бути корисними для подальших досліджень та прогнозування туманних явищ у даній області.

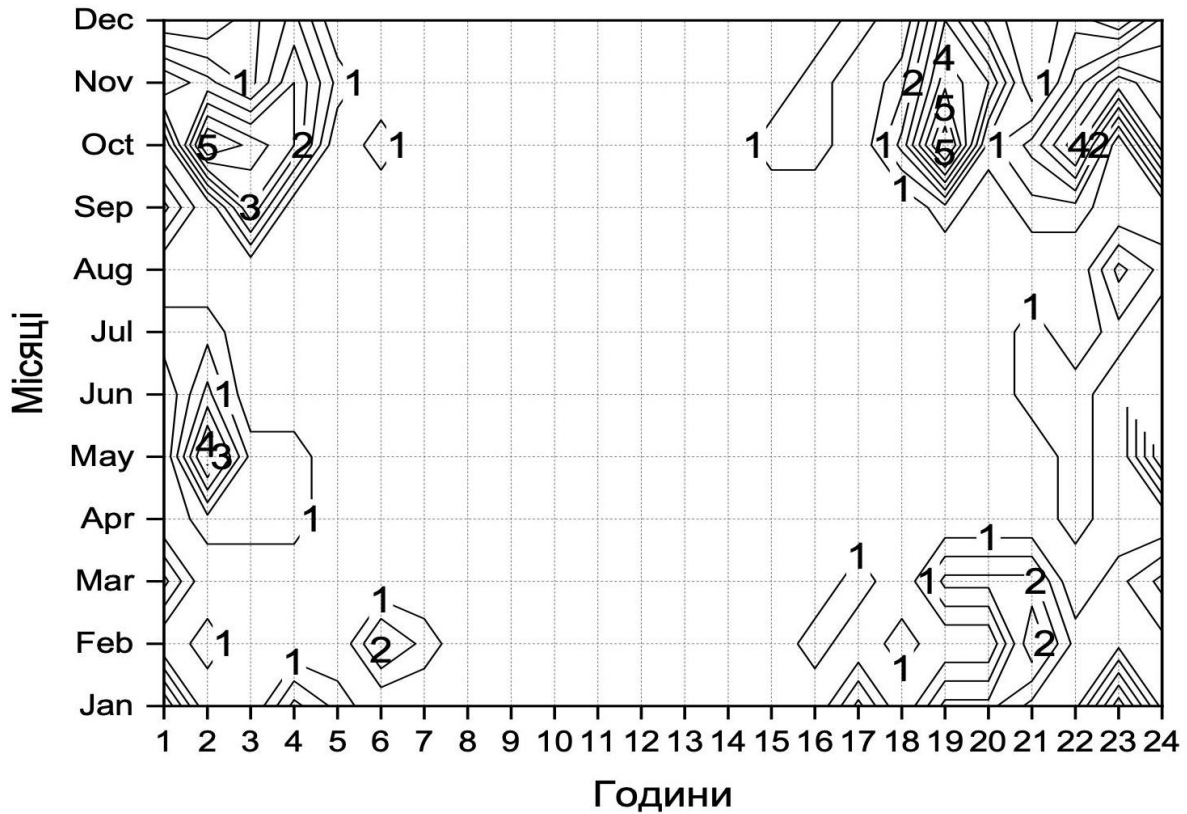


Рис.3.1 – Добово – річний хід повторюваності туманів на ст. Гостомель в період з 1 січня 2010 року по 31 грудня 2020 року.

Використовуючи кліматологію туманів на ст. Гостомель, був отриманий статистичний добовий розподіл температури туманоутворення шляхом обчислення середніх значень для кожного поєднання місяця року та часу доби. Такий же розподіл було отримано і для температури туманоутворення за методом Сандерса, Зверева та Кирюхіна.

Підбір апроксимуючої функції, що виражає залежність між добово-річним розподілом туманів і значеннями температури туманоутворення, був здійснений шляхом використання поліноміальної функції п'ятого ступеня.

Апроксимації даних добово-річного розподілу температури туманоутворення поліномом 5-ої степені виду:

$$P(x) = a_5x^5 + a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 \quad (3.1)$$

де,  $P(x)$  – представляє собою апроксимоване значення температури туманоутворення;

$x$  – відповідає змінній, що характеризує добовий розподіл (наприклад, години доби або періоди місяця);

$a_5, a_4, a_3, a_2, a_1, a_0$  – є коефіцієнтами полінома, які визначаються під час апроксимації і використовуються для знаходження оптимального підгону під досліджувані дані.

Кожен коефіцієнт в поліномі відповідає вагові, яке контролює внесок відповідного члену степеневого ряду до апроксимації даних. Використання полінома 5-ої степені дозволяє враховувати більш складні залежності між змінною  $x$  і температурою туманоутворення, що дозволяє краще підганяти апроксимацію під спостережені дані.

За допомогою графіків (рис. 3.2), було побудовано криві температури туманоутворення для кожного місяця року. На графіках представлені фактичні криві температури туманоутворення, а також криві, отримані з прогностичних методів, таких як метод Сандерса, метод Зверева і метод Кирюхіна. Для кожної кривої було виведено поліном 5-го степеня, і були розраховані значення детермінації.

Отримані графіки розглядаються як кліматичний розподіл температури туманоутворення на станції Гостомель. Цей розподіл може бути використаний для порівняння прогностичною температурою туманоутворення з фактичною. Такий підхід дозволяє оцінити точність кожного прогностичного методу і зробити порівняння між ними. Можна визначити, який метод найкраще відповідає фактичним даним і має найвищий рівень детермінації.

За допомогою порівняння коефіцієнтів детермінації було встановлено, що найефективнішою апроксимацією добово-річного розподілу фактичної температури туманоутворення є поліном 5-ої степені. Коефіцієнти детермінації для цієї апроксимації знаходяться в діапазоні ( $R^2 = 0,72 - 0,97$ ).

Ця математична модель демонструє високу відповідність нашим даним. Коефіцієнт детермінації  $R^2$  вказує на рівень пояснюючої здатності апроксимації до варіацій у даних. У даному випадку, значення цього коефіцієнта становить ( $R^2 = 0,72 - 0,97$ ), що свідчить про його високу точність.

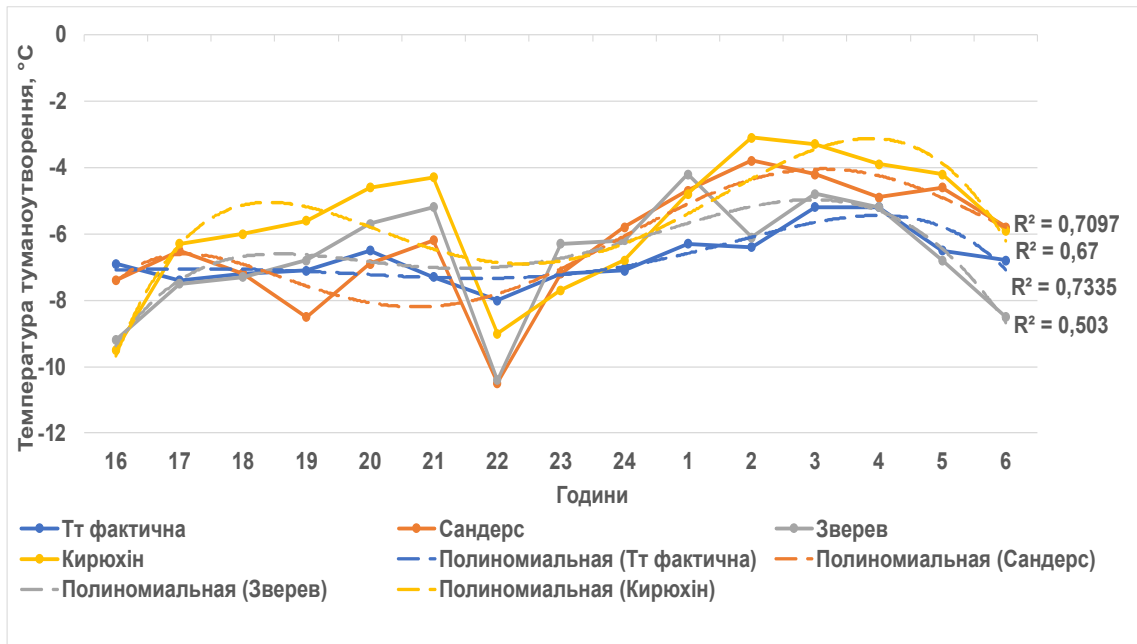
Застосування полінома 5-ої степені дозволяє нам уявити складну залежність між фактичною температурою туманоутворення та часом року. Це допомагає нам краще зрозуміти та передбачити кліматичні умови, пов'язані з утворенням туманів.

За допомогою полінома 5-го степеня ми можемо аналізувати складну залежність між температурою туманоутворення і часом року. Цей підхід дозволяє нам краще розуміти і прогнозувати кліматичні умови, пов'язані з утворенням туманів.

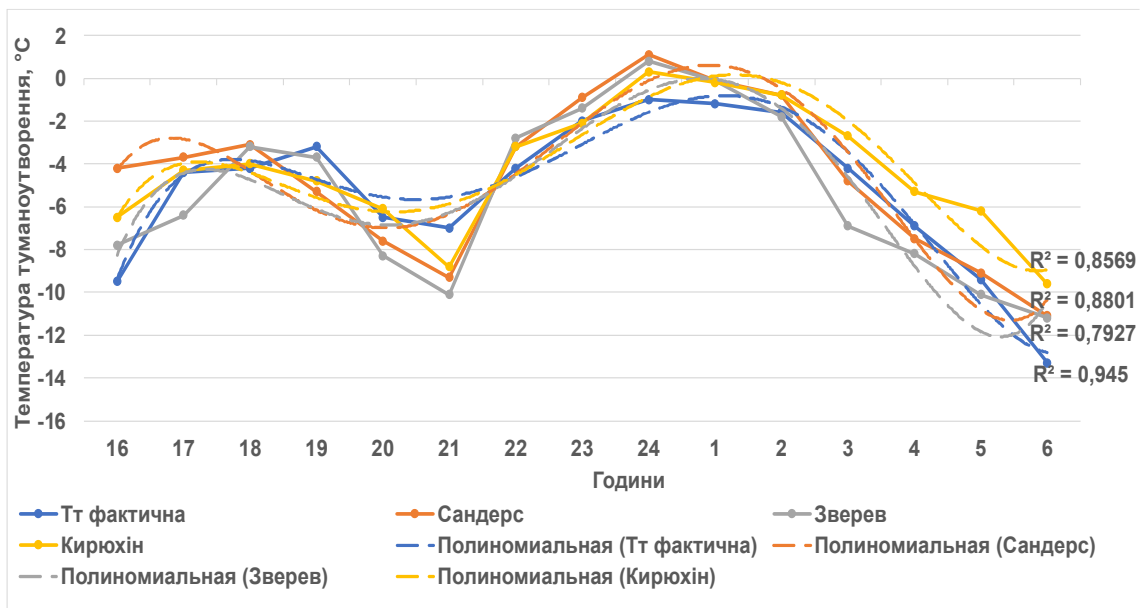
Для визначення типового добового ходу температури туманоутворення кожного місяця року використовується функція розподілу добово-річної повторюваності (див. рис. 3.1). Графіки представлені з 16:00 до 06:00 для зручності, оскільки ймовірність утворення радіаційних туманів поза цим інтервалом дуже низька.

На рисунку 3.2 представлені результати аналізу добового ходу температури туманоутворення на станції протягом січня і лютого. У дослідженні порівнювалися різні методи прогнозу з фактичною температурою.





а)



б)

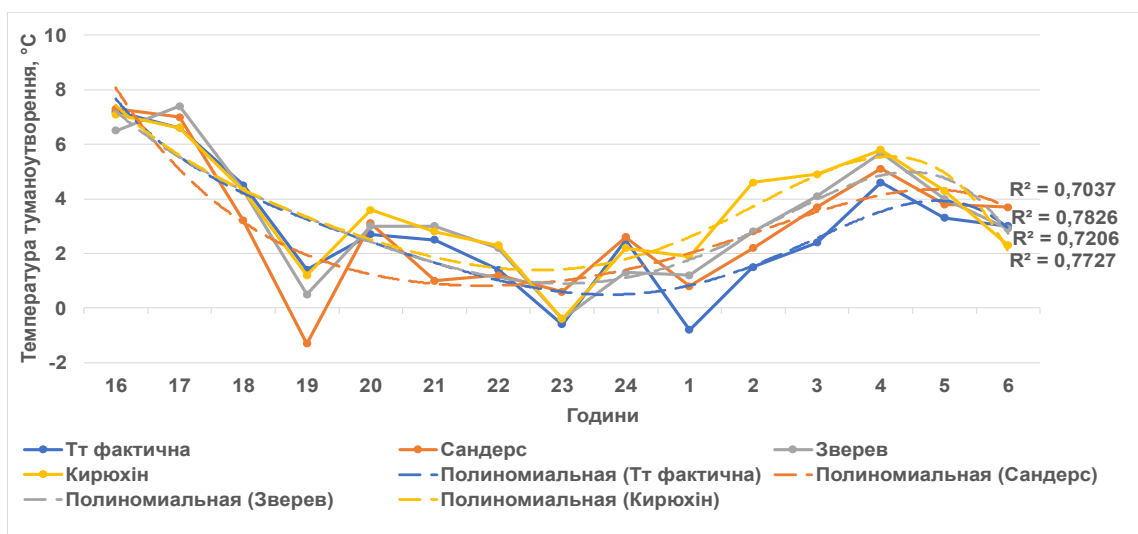
Рис.3.2 – Апроксимація добового ходу температури туманоутворення на ст. Гостомель з використанням фактичної температури та методів прогнозу за місяцями року зі згладжуванням поліноми 5-ої степені а) січень; б) лютий.

У січні найвищий коефіцієнт детермінації був отриманий для фактичної температури туманоутворення ( $R^2 = 0,7335$ ), а найнижчий - для методу Сандерса ( $R^2 = 0,67$ ).

У лютому спостерігалось найвище значення коефіцієнта детермінації для фактичної температури туманоутворення ( $R^2 = 0,945$ ), а найнижче - для методу Зверева ( $R^2 = 0,7927$ ).

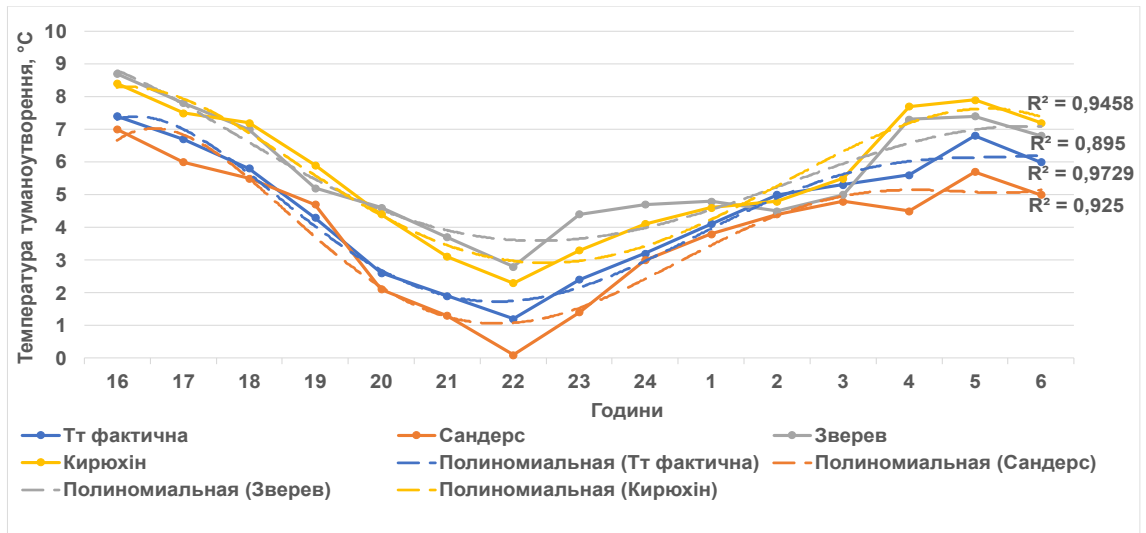
На рисунку 3.3 представлені результати аналізу добового ходу температури туманоутворення на станції протягом березня і травня. У дослідженні порівнювалися різні методи прогнозу з фактичною температурою.

У березні найвищий коефіцієнт детермінації був отриманий для фактичної температури туманоутворення ( $R^2 = 0,7826$ ), а найнижчий - для методу Сандерса ( $R^2 = 0,7037$ ).



в)

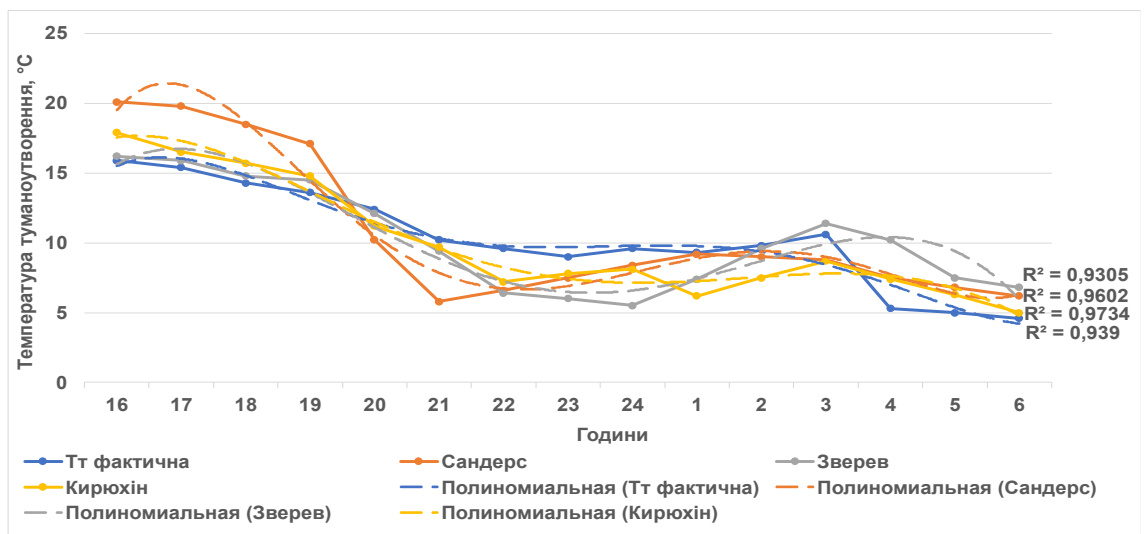
У травні спостерігалось найвище значення коефіцієнта детермінації для фактичної температури туманоутворення ( $R^2 = 0,9729$ ), а найнижче - для методу Зверева ( $R^2 = 0,895$ ).



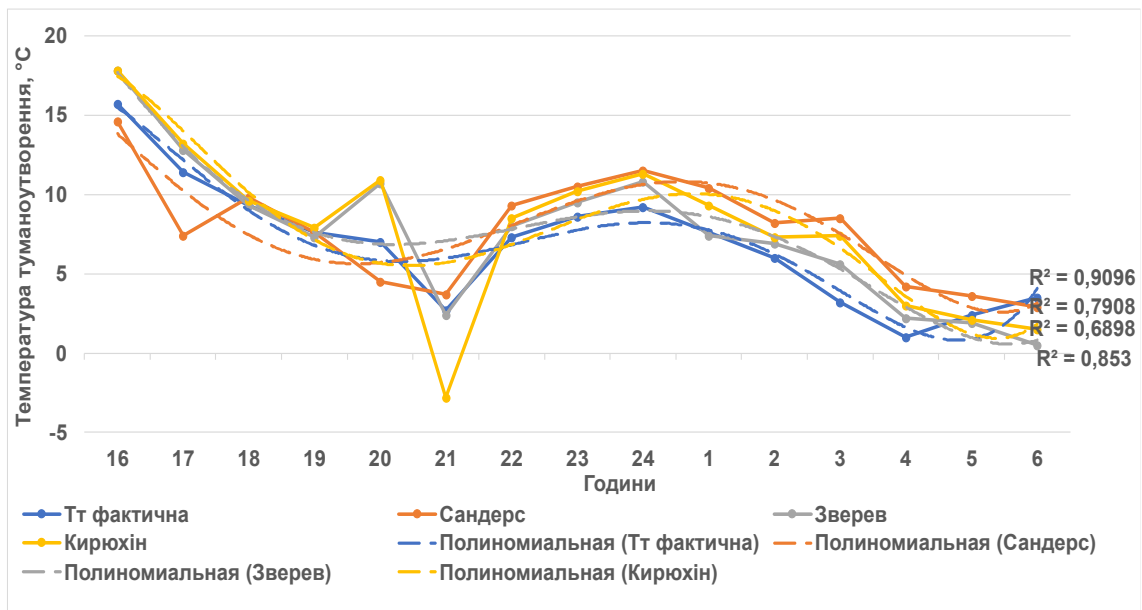
г)

Рис.3.3 – Апроксимація добового ходу температури туманоутворення на ст. Гостомель з використанням фактичної температури та методів прогнозу за місяцями року зі згладжуванням поліноми 5-ої степені в) березень; г) травень.

На рисунку 3.4 представлені результати аналізу добового ходу температури туманоутворення на станції протягом вересня і жовтня. У дослідженні порівнювалися різні методи прогнозу з фактичною температурою.



д)



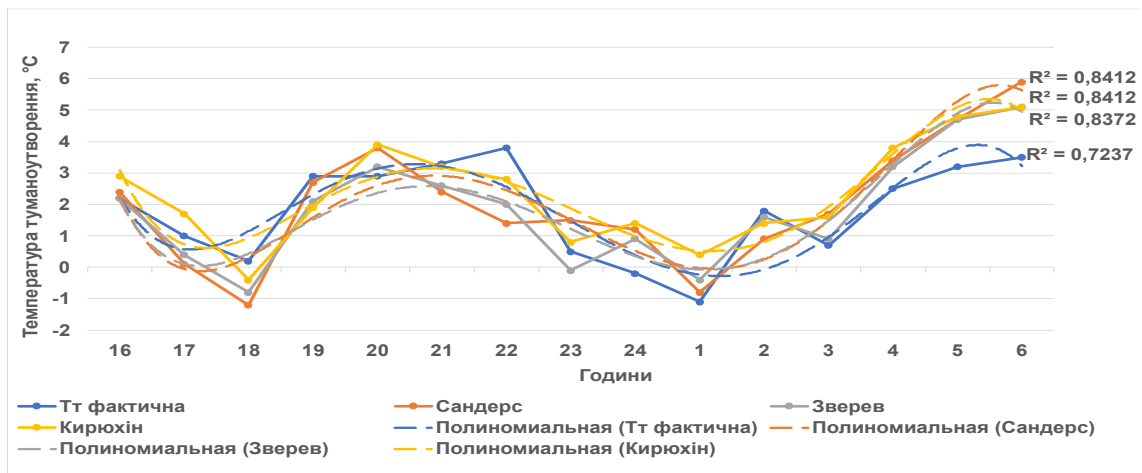
е)

Рис.3.4 – Апроксимація добового ходу температури туманоутворення на ст. Гостомель з використанням фактичної температури та методів прогнозу за місяцями року зі згладжуванням поліноми 5-ої степені д) вересень; е) жовтень.

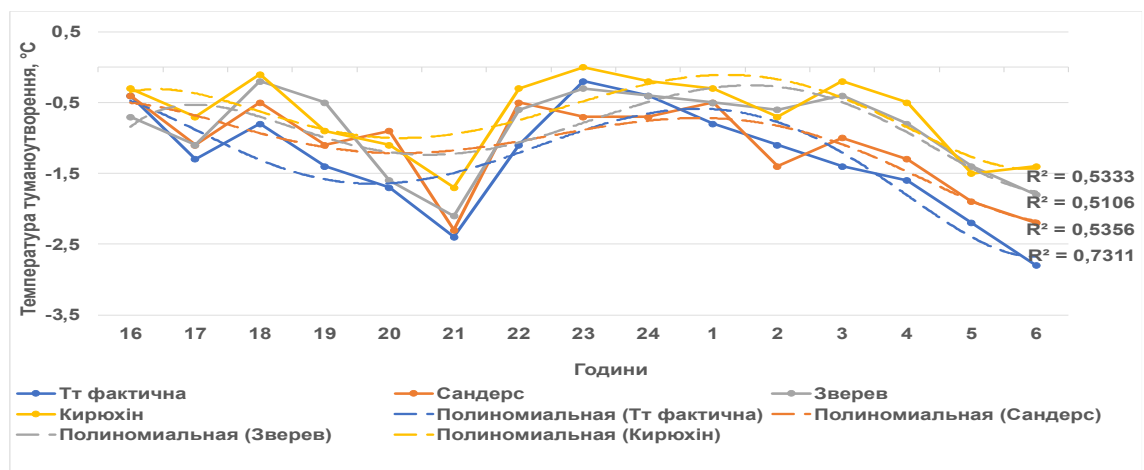
В вересні найвищий коефіцієнт детермінації, отриманий за методом Кирюхіна, становив ( $R^2 = 0,9734$ ), тоді як найнижчий коефіцієнт детермінації, зафіксований за методом Зверева, дорівнював ( $R^2 = 0,9305$ ). У жовтні було зафіксовано найвище значення коефіцієнта детермінації для фактичної температури туманоутворення, і воно становило ( $R^2 = 0,9096$ ), а найнижче значення було отримане за методом Кирюхіна і дорівнювало ( $R^2 = 0,6898$ ).

Рис.3.5 демонструє результати аналізу добового ходу температури туманоутворення на станції протягом листопада і грудня. У цьому дослідженні було порівняно різні методи прогнозу з фактичною температурою. Використання цих методів дозволяє отримати важливі відомості про взаємозв'язок між температурою та утворенням туману в різні

місяці року, що сприяє кращому розумінню та прогнозуванню кліматичних умов, пов'язаних з туманами.



ж)



з)

Рис.3.5 – Апроксимація добового ходу температури туманоутворення на ст. Гостомель з використанням фактичної температури та методів прогнозу за місяцями року зі згладжуванням поліноми 5-ої степені ж) листопад; з) грудень.

У листопаді найвищий коефіцієнт детермінації був отриманий для методу Сандерса і Кирюхіна ( $R^2 = 0,9734$ ), а найнижчий - для фактичної температури туманоутворення ( $R^2 = 0,7237$ ).

У грудні спостерігалось найвище значення коефіцієнта детермінації для фактичної температури туманоутворення ( $R^2 = 0,7314$ ), а найнижче - для методу Зверева ( $R^2 = 0,5106$ ).

Для згладжування отриманих залежностей використовується поліноміальна функція, що дозволяє уникнути різких змін у значеннях температури туманоутворення, спричинених різними факторами. Цей підхід допомагає отримати більш зрозумілі та стабільні результати.

Для оцінки ефективності апроксимації використовується коефіцієнт детермінації  $R^2$ , який вказує на те, яку частку дисперсії залежної змінної можна пояснити регресією. Значення  $(1 - R^2)$  відображає частку дисперсії, яка не пояснюється моделлю і залишається неврахованою.

Цей коефіцієнт допомагає оцінити точність апроксимації та визначити, яку частину дисперсії вона пояснює. Чим значення  $R^2$  ближче до 1, тим краще модель пояснює варіацію в даних. Коефіцієнт використовується для оцінки якості результатів та вибору найефективнішої апроксимації.

Для оцінки ефективності апроксимації, розглядається поліноми 5-ої степені, інформація про коефіцієнти детермінації цих поліномів наведена в Таблиці 3.1, яка відповідає результатам, представленим на Рисунках 3.2 – 3.5.

Дані, представлені в таблиці, демонструють, що використання полінома 5-ої степені дозволило отримати коефіцієнти детермінації для фактичної температури туманоутворення та методів Сандерса, Зверева та Кирюхіна.

Коефіцієнт детермінації для фактичної температури туманоутворення знаходиться в діапазоні ( $R^2 = 0,72 - 0,97$ ), а для методів варіюється залежно від місяця. За методом Сандерса максимальне значення спостерігається у вересні і становить ( $R^2 = 0,96$ ), а для методу Зверева варіюється ( $R^2 = 0,50 - 0,93$ ). У той же час, за методом Кирюхіна найбільше значення детермінації спостерігається у вересні й досягає ( $R^2 = 0,97$ ). Мінімальні значення за методом Зверева спостерігаються в січні ( $R^2 = 0,50$ ), а найменше значення за методом Кирюхіна в грудні ( $R^2 = 0,53$ ).

Таблиця 3.1 – Коефіцієнт детермінації по кожному методу за місяцями року

Місяці	Температура туманоутворення			
	Фактична	Сандерс	Зверев	Кирюхін
Січень	0,7335	0,67	0,503	0,7097
Лютий	0,945	0,8801	0,7927	0,8569
Березень	0,7826	0,7037	0,7206	0,7727
Травень	0,9729	0,925	0,895	0,9458
Вересень	0,939	0,9602	0,9305	0,9734
Жовтень	0,9096	0,7908	0,853	0,6898
Листопад	0,7237	0,8412	0,8372	0,8412
Грудень	0,7314	0,579	0,5106	0,5333

Використовуючи поліном 5-ої степені, було помічено, що найбільше відхилення спостерігається для методу Кирюхіна, де розбіжності становлять від ( $R^2 = 0,53$ ) в грудні до ( $R^2 = 0,97$ ) у вересні. За своєю чергою, метод Зверева показує найменше відхилення, зі значеннями, що коливаються в діапазоні від ( $R^2 = 0,50$ ) в грудні до ( $R^2 = 0,93$ ) у вересні.

У використанні графіків, отриманих на основі добово-річного розподілу температури туманоутворення, відіграє важливу роль при прогнозуванні радіаційних туманів. Основна ідея полягає в порівнянні розрахованої температури туманоутворення з її середнім значенням протягом багатьох років.

Порівняння цих значень дозволяє виявити суттєві відхилення, які можуть свідчити про потенційні помилки у прогнозу. Якщо розрахована температура відхиляється від середнього багаторічного значення, це може вказувати на зміни у погодних умовах, які можуть впливати на утворення туману.

Такий аналіз допомагає покращити точність прогнозування радіаційних туманів і забезпечує більш надійні результати.

3.3 Розрахунок похибок між фактичними значеннями температури туманоутворення і значеннями, розрахованими за різними методами.

Представлені графіки нижче демонструють різницю між розрахунковими та фактичними значеннями температури туманоутворення, отриманими за допомогою різних методів, протягом певних місяців року. Ця інформація має важливе значення для подальших досліджень та покращення точності розрахунків на станції Гостомель.

На рисунку 3.3 представлений графік, що відображає відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення отриману за різними методами у січні на станції Гостомель.

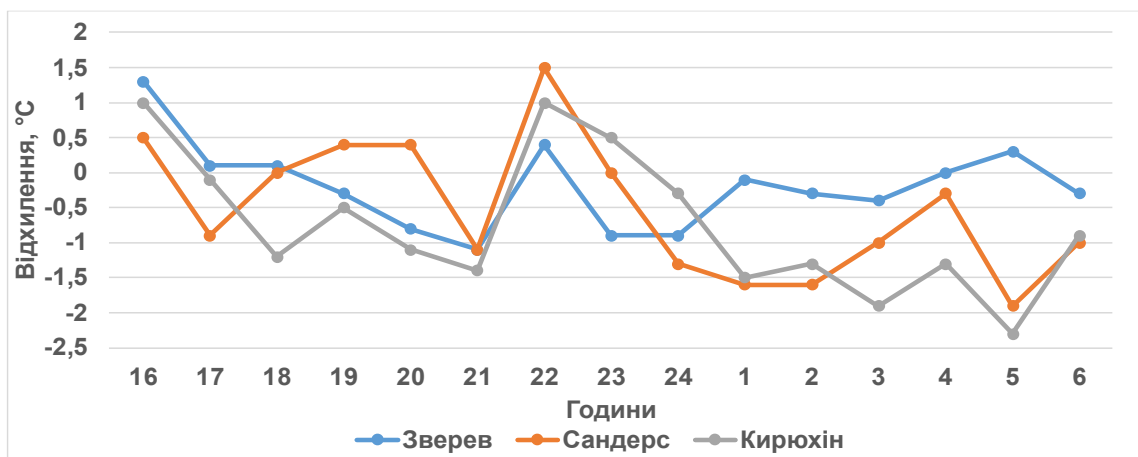


Рис.3.3 – Графіки відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення визначеною за методом Сандерса, Кирюхіна і Зверева за місяць січень на станції Гостомель.

З графіка видно, що найбільші відхилення від фактичної температури спостерігаються о 5:00 годині для методів Кирюхіна і Сандерса, та о 16:00 годині для методу Зверева.

Менші відхилення для Сандерса спостерігались о 18:00 годині, для Кирюхіна о 24:00 годині ночі, а для Зверева о 4:00 годині ранку. Це свідчить



про те, що для отримання більш точного прогнозу температури туманоутворення в січні доцільніше використовувати фактичні метеорологічні значення о 16:00 і о 5:00 годині ранку.

Найменше середнє відхилення,  $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , спостерігається для методу Зверева о 4:00 годині ранку, для Сандерса о 18:00 годині і о 23:00 годині, а найбільше значення,  $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , демонструє метод Кирюхіна о 5:00 годині ранку.

На рисунку 3.4 представлений графік, що відображає відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення отриману за різними методами у лютому на станції Гостомель.

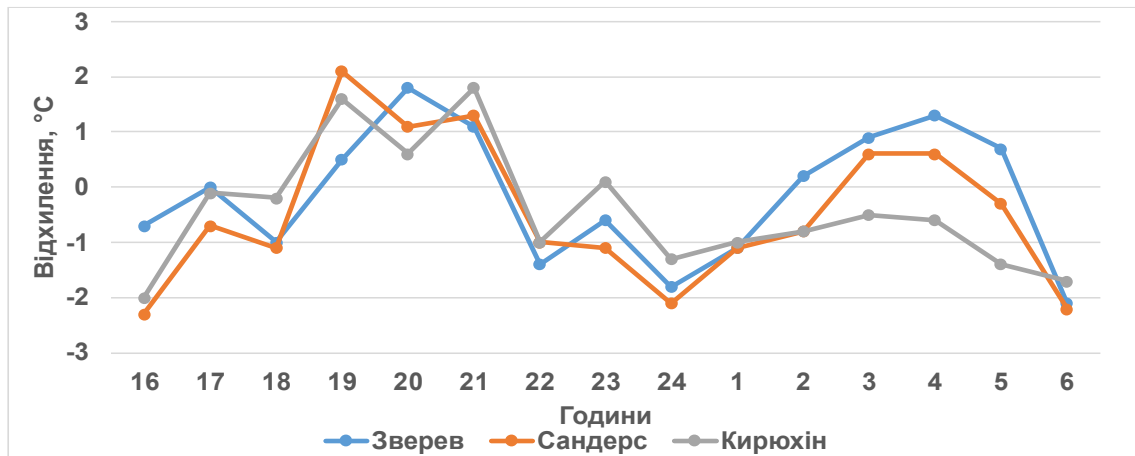


Рис.3.4 – Графіки відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення визначеною за методом Сандерса, Кирюхіна і Зверева за місяць лютий на станції Гостомель.

Найбільші відхилення спостерігаються о 6:00 годині для методу Зверева, о 16:00 годині для методу Сандерса і Кирюхіна.

Менші відхилення від фактичних значень зафіксовані о 5:00 годині для методу Сандерса, о 23:00 і о 17:00 годині ночі для методу Кирюхіна і о 17:00 годині для методу Зверева. Це свідчить про те, що для точного прогнозу температури туманоутворення в лютому доцільно використовувати фактичні метеорологічні значення о 16:00 годині і 6:00 годині ранку. Найменше

середнє відхилення,  $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , спостерігається для методу Зверева о 17:00 годині, тоді як метод Сандерса має найбільше значення відхилення,  $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , о 16:00 годині.

На графіку (рис. 3.5) представлений порівняльний аналіз, що відображає відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення отриману за різними методами у березні на станції Гостомель.

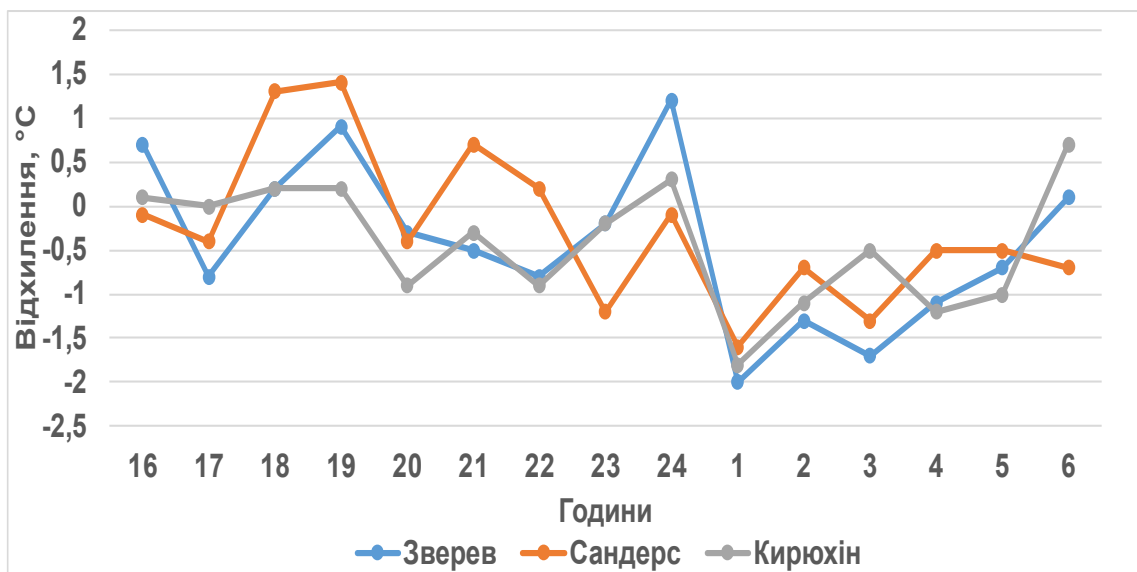


Рис.3.5 – Графіки відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення визначеною за методом Сандерса, Кирюхіна і Зверева за місяць березень на станції Гостомель.

Найбільші відхилення від фактичної температури спостерігаються о 3:00 годині за методом Зверева, о 1:00 годині за методом Сандерса і за методом Кирюхіна.

Менші відхилення від фактичних значень спостерігаються о 16:00 і 24:00 годині за методом Сандерса, о 6:00 годині за методом Зверева і о 17:00 годині вечора за методом Кирюхіна. Це свідчить про те, що для отримання точного прогнозу температури туманоутворення в березні рекомендується використовувати фактичні метеорологічні значення о 1:00 годині і 3:00

годині ночі. Найменше середнє відхилення, яке дорівнює  $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , спостерігається о 17:00 годині за методом Кирюхіна, тоді як метод Зверева має найбільше значення відхилення, а саме  $-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , о 3:00 годині.

На рисунку. 3.6 представлений графік, що відображає відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення отриману за різними методами у січні на станції Гостомель. Даний графік відображає відхилення між цими значеннями.

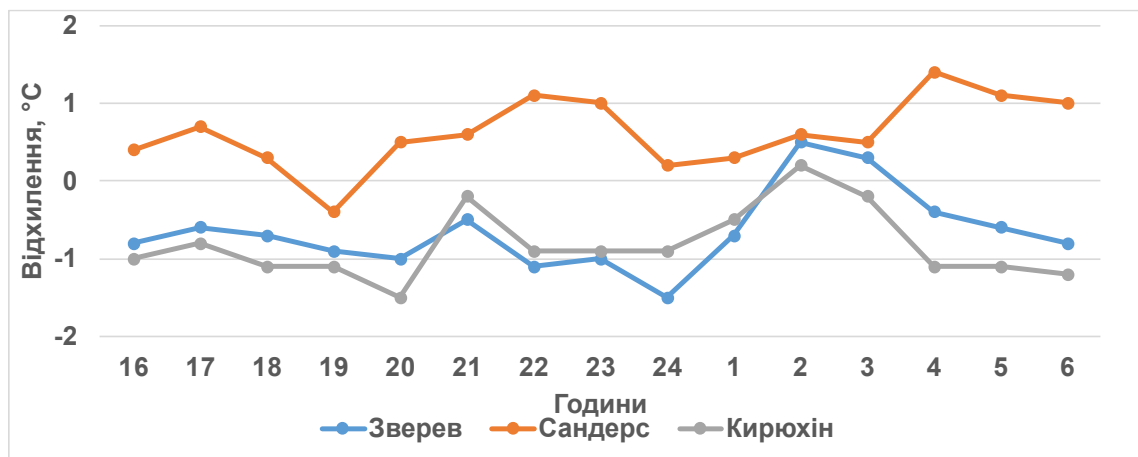


Рис. 3.6 – Графіки відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення визначеною за методом Сандерса, Кирюхіна і Зверева за місяць травень на станції Гостомель.

За методом Зверева найбільші відхилення від фактичної температури спостерігаються о 24:00 годині. Для методу Сандерса найбільші відхилення спостерігаються о 4:00, а для методу Кирюхіна - о 20:00 годині.

Менші відхилення спостерігаються для Сандерса о 24:00 годині, для Зверева о 3:00, а для Кирюхіна о 3:00 годині ночі. Це підтверджує, що для більш точнішого прогнозу температури туманоутворення у травні рекомендується використовувати фактичні метеорологічні значення о 20:00 годині, 24:00 годині і 4:00 годині ранку.

Метод Кирюхіна показує найменше середнє відхилення,  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  о 2:00 і 3:00 годині ночі, і метод Кирюхіна  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  о 24:00, тоді як метод Кирюхін має найбільше значення відхилення,  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  о 20:00 годині вечора.

На рисунку 3.7 представлений графік, що відображає відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення отриману за різними методами у вересні на станції Гостомель.

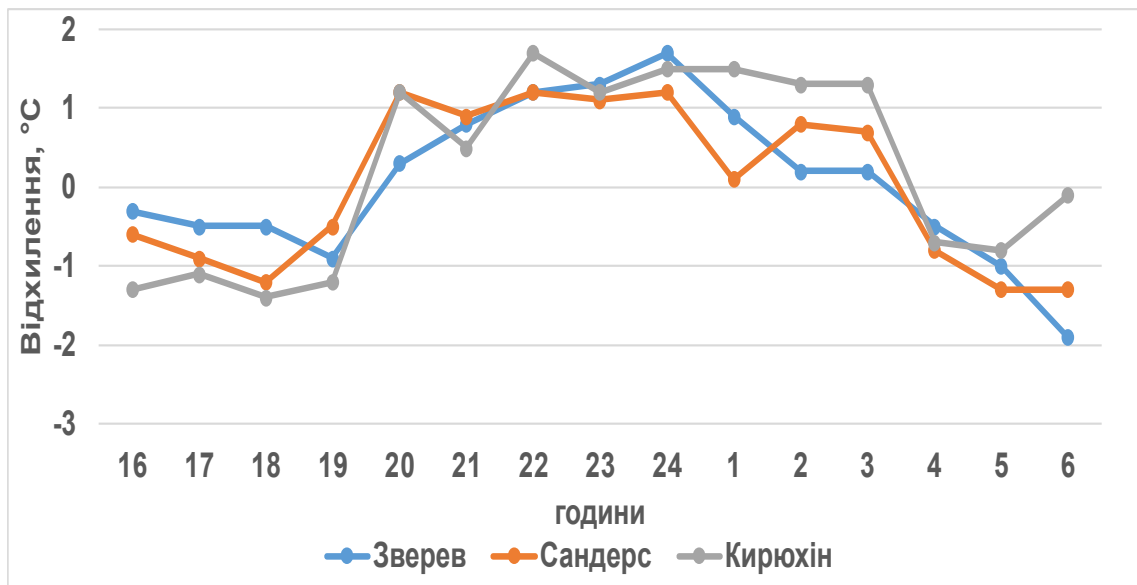


Рис. 3.7 – Графіки відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення визначеною за методом Сандерса, Кирюхіна і Зверева за місяць вересень на станції Гостомель.

Найбільші відхилення спостерігаються о 6:00 ранку за методом Зверева, о 5:00 і о 6:00 годин за методом Сандерса, а також о 22:00 ранку за методом Кирюхіна.

Менші відхилення спостерігаються о 1:00 годині для методу Сандерса, о 2:00 і о 3:00 годині для методу Зверева та о 6:00 ранку для методу Кирюхіна.

Ці результати підтверджують, що для точного прогнозу температури туманоутворення у вересні рекомендується використовувати фактичні метеорологічні значення о 5:00, 6:00 годин, а також о 22:00 годині.

Метод Кирюхіна має найменше середнє відхилення,  $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  о 6:00 годині ранку, в той час як метод Зверева має найбільше значення відхилення,  $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  о 6:00 годині.

На рисунку 3.8 представлений графік, що відображає відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення отриману за різними методами у жовтні на станції Гостомель.

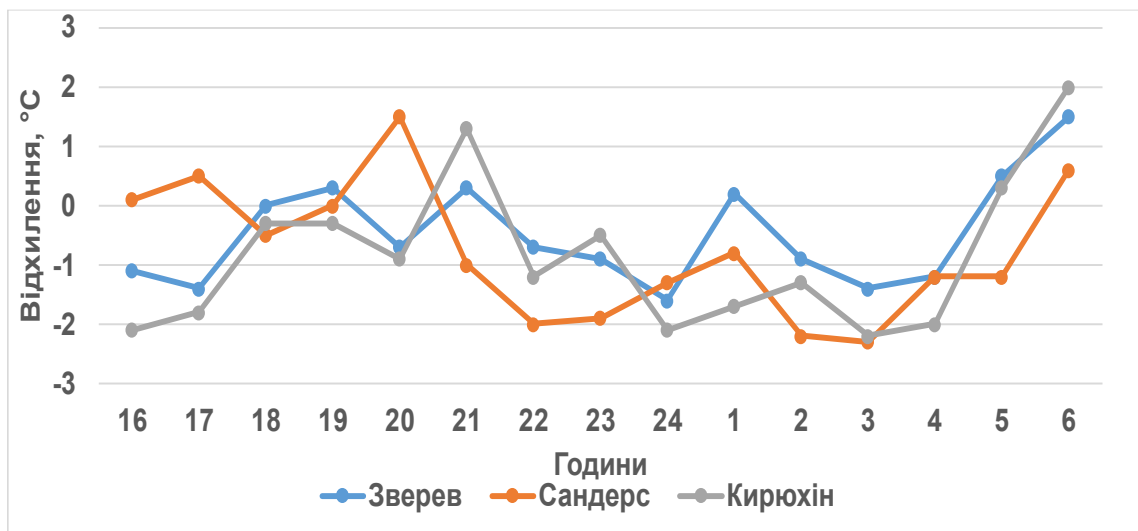


Рис. 3.8 – Графіки відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення визначеною за методом Сандерса, Кирюхіна і Зверева за місяць жовтень на станції Гостомель.

За методом Зверева найбільші відхилення спостерігаються о 24:00 годині, а менші – о 18:00 годині. У свою ж чергу за методом Сандерса найбільші відхилення виявлені о 23:00 годині, а менші - о 19:00 годині. За методом Кирюхіна відхилення найбільш помітні о 3:00 годині, а менші - о 18:00, 19:00 годині та о 5:00 ранку.

Отже, ці результати підтверджують, що для точного прогнозу температури туманоутворення у жовтні рекомендовано використовувати

фактичні метеорологічні значення з 23:00 до 24:00 годин та о 3:00 годині ранку.

З урахуванням середніх значень відхилення, метод Зверева демонструє найменше середнє відхилення - 0,0 °С о 18:00 годині, і метод Сандерса демонструє найменше середнє відхилення - 0,0 °С о 19:00 годині. У той же час, метод Сандерса має найбільше значення відхилення, а саме -2,3 °С о 3:00 годині.

На рисунку 3.9 представлений графік, що відображає відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення отриману за різними методами у листопаді на станції Гостомель.

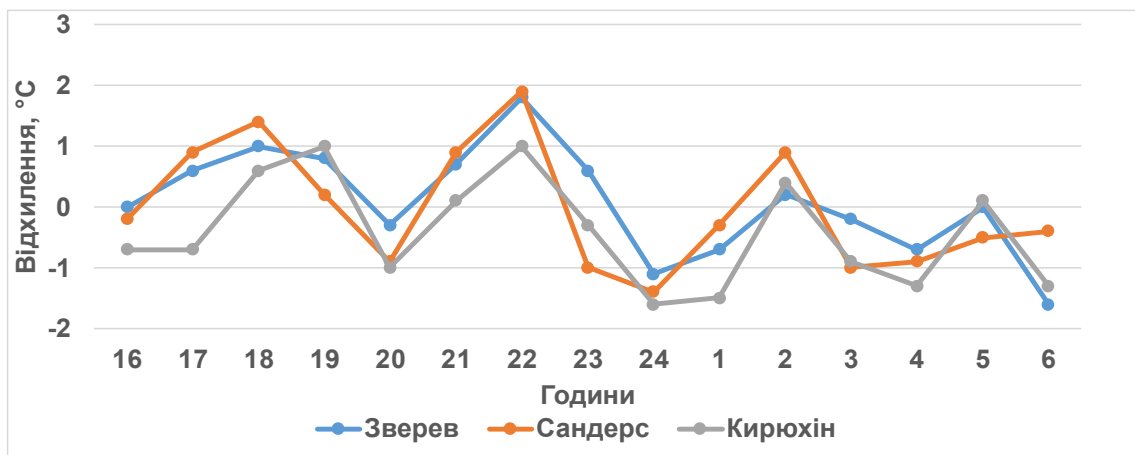


Рис. 3.9 – Графіки відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення визначеною за методом Сандерса, Кирюхіна і Зверева за місяць листопад на станції Гостомель.

За методом Зверева та метод Сандерса найбільші відхилення від фактичної температури спостерігаються о 22:00 годині. У свою чергу метод Кирюхіна показує найбільші відхилення о 24:00 годині, а менші відхилення спостерігаються о 21:00 годині і о 5:00 годині ранку.

Ці результати підтверджують, що для точного прогнозу температури туманоутворення у листопаді рекомендовано використовувати фактичні метеорологічні значення о 21:00, 22:00, 24:00 і о 5:00 годині ранку.

З урахуванням середніх значень відхилення, метод Зверева демонструє найменше середнє відхилення - 0,0 °С о 16:00 годині і о 5:00 ранку. За своєю чергою, метод Сандерса має найбільше значення відхилення, а саме 1,9 °С о 22:00 годині.

На рисунку 4 представлений графік, що відображає відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення отриману за різними методами у грудні на станції Гостомель.

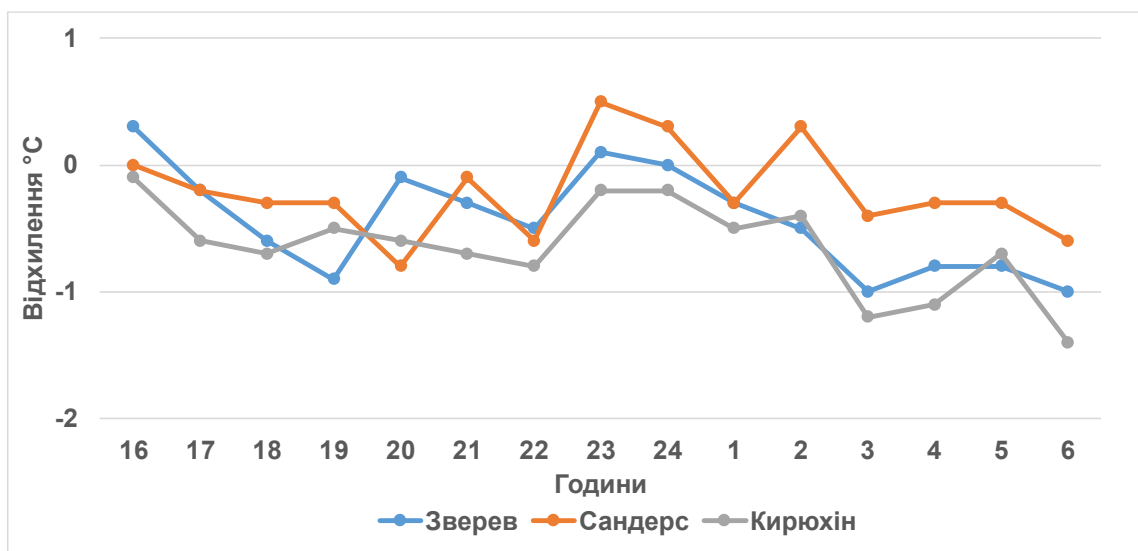


Рис. 4 – Графіки відхилення між фактичною температурою туманоутворення і температурою туманоутворення визначеною за методом Сандерса, Кирюхіна і Зверева за місяць грудень на станції Гостомель.

За методом Зверева найбільші відхилення спостерігаються о 3:00 годині. У свою ж чергу за методом Сандерса великі відхилення виявлені о 20:00, менші - о 16:00 годині. За методом Кирюхіна відхилення найбільш помітні о 6:00 годині ранку.

Таким чином, для точного прогнозу температури туманоутворення у грудні рекомендується використовувати фактичні метеорологічні значення о 3:00, 6:00 і 20:00 годині. Найменше середнє відхилення метод Зверева становить 0,0 °С о 24:00 годині, метод Сандерса становить 0,0 °С о 16:00 годині, метод Кирюхіна демонструє найбільше значення відхилення, -1,2 °С о 3:00 годині ранку.



## ВИСНОВКИ

1. Добово-річна повторюваність туманів на станції Гостомель характеризується утворенням туманів майже протягом усіх років переважно у нічні та ранкові години, за досліджуваний період з 08 до 16 годин на станції Гостомель тумани не фіксувалися.

2. За допомогою поліному 5-ої степені можна згладити добовий хід температури туманоутворення, і отримати високі значення коефіцієнта детермінації, які коливаються в діапазоні ( $R^2 > 0,72 - 0,97$ ). Для методів прогнозу Сандерса, Зверева та Кирюхіна, коефіцієнт детермінації також має достатньо високі значення, що перевищують ( $R^2 > 0,72$ ), за винятком одного місяця, де коефіцієнт детермінації становить менше ( $R^2 < 0,72$ ).

3. Отримані графіки, що відображають щомісячний розподіл температури туманоутворення на станції Гостомель, можна розглядати як "кліматичні" дані. Ці дані є корисними при порівнянні розрахункової температури туманоутворення з мінімальною температурою під час прогнозування радіаційних туманів. Використання цих графіків дозволяє оцінити відхилення розрахункової температури від мінімальної значення температури. Такий порівняльний аналіз сприяє покращенню точності прогнозу радіаційних туманів та забезпечує більш достовірні результати. Використання "кліматичних" графіків температури туманоутворення дозволяє отримати додаткову інформацію про характеристики туманів на даній станції і сприяє більш ефективному та точному прогнозуванню.

4. Застосування різних методів прогнозування температури туманоутворення на станції Гостомель показало, що різні методи мають свої переваги та обмеження. Графіки відхилення розрахункових значень від фактичних дозволяють встановити оптимальні точки для прогнозування. Аналіз графіків показує, що відхилення між розрахунковими значеннями

температури туманоутворення та фактичними значеннями залежать від методу та часу спостереження. Для точного прогнозу температури туманоутворення, рекомендовано використовувати фактичні метеорологічні значення, які мають найменші відхилення від фактичної температури.

5. Крім того, було виявлено, що різні методи мають різні рівні відхилень від фактичних значень. Метод Зверева зазвичай демонструє більші відхилення, особливо вночі, тоді як метод Кирюхіна має найменше середнє відхилення в ранковий час. Метод Сандерса показує помірні відхилення, з найменшими значеннями в середині ночі. Загалом, для точного прогнозу температури туманоутворення важливо враховувати час спостереження та обирати метод, який має найменше відхилення від фактичних значень у конкретний час доби.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Baidya Roy, S., & Trahan, S. (2018). Synoptic conditions associated with winter fog in the northeastern United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 57(3), 675-690.
2. Скирда И. А., Садковский В. И. Мозиков В. А. Авиационные прогнозы погоды. – М.: Воениздат, 1995. – 243-259 с.
3. Chen, H., Wang, J., & Fan, S. (2017). Synoptic weather patterns of severe fog events in the Yangtze River Delta, China. *Natural Hazards*, 87(1), 221-234.
4. Cheng, X., Xu, X., Wang, Y., & Li, J. (2019). Research progress in the classification of fog and its prediction. *Journal of Meteorological Research*, 33(4), 579-593.
5. Po, L., & Sengupta, S. (2013). A review of the classification of fog and low visibility for aviation meteorology. *Meteorological Applications*, 20(4), 398-409.
6. Криволапова, О. І. Особливості утворення туману в залежності від синоптичної ситуації / О. І. Криволапова // Геофізичний журнал. – 2018. – Т. 40, № 3. – С. 86 – 98.
7. Miao, Y., & Chen, L. (2015). Understanding the formation of fog and its forecast: A review. *Atmospheric Research*, 163, 251-267.
8. V.N. Ivanov, A.V. Ivanova. Aerosol Particles and Formation of Fog // *Aerosol Science and Technology*. - 1991. - Vol. 15. - P. 292-304.
9. R. Shaw. The Influence of Aerosols on Fog and Clouds // *Bulletin of the American Meteorological Society*. - 2003. - Vol. 84. - P. 225-233.
10. Zhang, Y., Chen, H., Lu, S., & Hu, J. (2020). Effect of aerosols on the occurrence of haze and fog in East China: A numerical study. *Journal of Environmental Sciences*, 97, 204-215.
11. Sanders, G. F. (1964). A simple method of forecasting the onset of fog. *Journal of Applied Meteorology*, 3(4), 494-500.
12. Saunders, W.E., 1950: A method of forecasting the temperature of fog formation. *Meteorological Society*, 1950. – 76, 2403-2413.

13. Puglisi, G., D'Alcamo, A., Viola, F., & La Loggia, G. (2005). A modified Sanders method for predicting fog in a coastal area. *Atmospheric Research*, 78(2-4), 216-228.
14. Sanders, G. J. (1960). An equation for calculating the temperature at which dew or frost forms. *Journal of Applied Meteorology*, 43-46.
15. Крючкова Г.І. "Теорія і практика визначення температури туманоутворення", Мінськ, 1998.
16. Скирда И. А., Садковский В. И. Мозиков В. А. Авиационные прогнозы погоды. – М.: Воениздат, 1995. – 243-259 с.
17. Зверев, А. В. (1963). Теоретические основы прогнозирования туманов. Гидрометеоиздат.
18. Зверев, А. В. (1960). Теория туманообразования. Гидрометеоиздат.
19. Кирюхин Ю.Г. О температуре образования тумана // Труды гидрометеорологического института. - 1960. - Вып. 58. - С. 33-43.
20. Кирюхин Ю.Г. О некоторых факторах, влияющих на температуру образования тумана // Метеорология и гидрология. - 1968. - №10. - С. 86-93.
21. Практикум з синоптичної метеорології / Під ред. Г.П. Івус, С.М. Іванової. – Одеса Екологія. 2004. – 412 с.
22. Кирюхин, В. В. О возможности уточнения значений температуры точки росы по данным метеостанций / В. В. Кирюхин // Метеорология и гидрология. – 1986. – № 10. – С. 100-105.