

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

Кафедра військової підготовки

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

АДАПТАЦІЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУ ЧАСУ ВИНИКНЕННЯ  
РАДІАЦІЙНОГО ТУМАНУ МЕТОДУ А.С. ЗВЕРЄВА ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ  
УКРАЇНИ

Спеціальність 103 Науки про Землю  
Спеціалізація «Метеорологія»  
курсанта групи МВМ-19  
Івана ПЕРЕХОДА

Керівник:  
підполковник Сергій РОМАНЕНКО  
Рецензент: к.геогр.н.  
Лариса НЕДОСТРЕЛОВА

Одеса – 2020

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

Кафедра військової підготовки

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 Науки про Землю

(шифр і назва)

Спеціалізація Метеорологія

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 МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

курсанту ПЕРЕХОДУ Івану

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Адаптація методу прогнозу часу виникнення радіаційного туману методу А.С. Зверева для території України»

керівник роботи Романенко Сергій Едуардович

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

затверджені наказом ректора ОДЕКУ від 16 жовтня 2020 року № 194 «С»

2. Строк подання курсантом роботи: 12 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: архівний матеріал з автоматизованого робочого місця синоптика (архівні дані фактичної погоди за період з 01.01.2015 по 01.01.19 для станцій Харків, Львів, Київ та Одеса) та дані на сайті <http://rp5.ua>.

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

- 1) обробити статистичні дані фактичної погоди;
- 2) визначити кількість випадків з радіаційними туманами;
- 3) визначити час заходу сонця та тривалість ночі в дні коли спостерігався радіаційний туман;
- 4) розрахувати пре диктори;
- 5) побудувати адаптовані графіків для визначення долі ночі в якій повинен утворитись туман;
- 6) перевірити на справджуваність адаптований метод.

5. Перелік графічного матеріалу: графіки, таблиці, діаграми, розрізи.

6. Консультант розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	к.геогр.н., Міщенко Наталя Михайлівна		
2	к.геогр.н., Міщенко Наталя Михайлівна		
3	к.геогр.н., Міщенко Наталя Михайлівна		

7. Дата видачі завдання: 27 жовтня 2020 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Пошук літературних джерел за темою магістерської роботи	27.10 – 01.11.20		
2.	Відпрацювання 1 та 2-го розділів роботи	02.11 – 22.11.20		
3.	Рубіжна атестація	23.11.20		
4.	Обробка вхідних даних та розрахункової частини	24.11 – 02.12.20		
5.	Відпрацювання 3-го розділу	03.12 – 06.12.20		
6.	Відпрацювання вступної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків	07.12 – 09.12.20		
7.	Перевірка роботи на плагіат, підготовка презентації, доповіді	10.12.20		
8.	Подання роботи на рецензування	11.12.20		
9.	Подання роботи до навчальної частини кафедри	12.12.20		
10.	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	12.12.20		

Курсант \_\_\_\_\_ Іван ПЕРЕХОД  
( підпис ) ( ім'я та прізвище )

Керівник роботи підполковник \_\_\_\_\_ Сергій РОМАНЕНКО  
( підпис ) ( ім'я та прізвище )

## АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота курсанта Перехода І.С. на тему «Адаптація методу прогнозу часу виникнення радіаційного туману методу А.С. Зверєва для території України».

Робота присвячена покращенню справджуваності методу прогнозу часу виникнення радіаційного туману Зверєва.

В ході проведеної роботи було побудовано адаптовані графіки для визначення часу виникнення радіаційного туману для ст. Харків, Львів, Київ та Одеса.

*Актуальність* даної магістерської роботи зумовлюється безпосереднім адаптуванням методу Зверєва для прогнозування часу виникнення радіаційного туману. Методи прогнозування широко застосовуються в метеорологічних підрозділах для уточнення часу утворення туманів в межах певного проміжку часу.

*Метою* роботи є адаптація методу Зверєва для прогнозу виникнення радіаційного туману для станцій Харків, Львів, Київ та Одеса.

*Завдання*, що вирішувалися в рамках цієї роботи:

- обробка статистичних даних фактичної погоди;
- визначення числа випадків з радіаційними туманами;
- визначення часу заходу сонця та тривалість ночі в дні коли спостерігався радіаційний туман;
- розрахунок предикторів;
- побудова адаптованих графіків для визначення долі ночі в якій повинен утворитись туман;
- перевірка на справджуваність адаптованого методу.

*Об'єкт дослідження* – радіаційний туман.

*Предмет дослідження* – вплив місцевих умов на утворення радіаційного туману.

*Методи дослідження*: статистичного аналізу, графічних побудов та порівняння.

Наукова новизна даної магістерської роботи пов'язана з вирішенням проблеми швидкого та ефективного методу прогнозування часу утворення

радіаційних туманів для будь-яких метеорологічних підрозділів, розташованих на території України і полягає у наступному:

– вперше для покращення прогнозу часу виникнення радіаційного туману метода Зверева були побудовані адаптовані графіки, як показали результати перевірки на справджуваність отримані графіки значно підвищили ефективність даного методу;

– вперше для вирішення цієї проблеми був розроблений електронний алгоритм, який дозволяє обробити одночасно велику кількість статистичних даних.

Практичне значення отриманих результатів. Розробка електронного алгоритму, який дозволяє обробити одночасно велику кількість статистичних даних необхідних для отримання на їх основі адаптованих графіків прогнозу часу виникнення радіаційного туману, що дає змогу значно покращити час прогнозування виникнення радіаційного туману.

Рекомендації щодо використання результатів роботи з зазначенням галузі застосування. Наведена інформація, зокрема, стосовно значень місцевих поправок для міст Харків, Львів, Київ (Жуляни) та Одеса, як правило, істотно відрізняється від аналогічних даних наведених в літературі, або взагалі відсутня і вперше може бути використаною в оперативній практиці метеорологічних підрозділів Збройних Сил України.

*Структура і обсяг роботи.* Робота викладена на 44 стор. машинописного тексту, містить у собі 12 рис., 2 таблиці, складається з вступу, 3-х розділів, висновків, списку використаних джерел (40 найменувань) і додатку.

*Ключові слова:* радіаційний туман, адаптація, графік Зверева, час виникнення.

## ABSTRACT

Master's qualification work of cadet I.S. Perekhod on the topic "Adaptation of the method of forecasting the time of occurrence of radiation fog method Zverev's for the territory of Ukraine".

The work is devoted to improving the reliability of the method of forecasting the time of occurrence of radiation fog Zverev.

In the course of this work, adapted graphs were constructed to determine the time of occurrence of radiation fog for Art. Kharkiv, Lviv, Kyiv and Odessa.

*The relevance* of this master's thesis is due to the direct adaptation of Zverev's method for predicting the time of occurrence of radiation fog. Forecasting methods are widely used in meteorological departments to specify the time of formation of fogs within a certain period of time.

*The aim of the work* is to adapt the Zverev's method to predict the occurrence of radiation fog for Kharkiv, Lviv, Kyiv and Odessa stations.

*Tasks* solved in the framework of this work:

- processing of actual weather statistics;
- determination of the number of cases with radiation fogs;
- determining the time of sunset and the duration of the night on days when radiation fog was observed;
- calculation of predictors;
- construction of adapted graphs to determine the fate of the night in which the fog should form;
- validation of the adapted method.

*The object of research* is radiation fog.

*The subject of research* - the influence of local conditions on the formation of radiation fog.

*Research methods*: statistical analysis, graphical constructions and comparisons.

The scientific novelty of this master's thesis is related to solving the problem of fast and efficient method of forecasting the time of formation of radiation fogs for any meteorological units located in Ukraine and is as follows:

– for the first time to improve the forecast of the time of occurrence of radiation fog of the Zverev's method, adapted graphs were built, as shown by the results of the validation, the obtained graphs significantly increased the efficiency of this method;

– for the first time, an electronic algorithm was developed to solve this problem, which allows to process a large amount of statistical data at the same time.

The practical significance of the results. Development of an electronic algorithm that allows to process at the same time a large number of statistical data necessary to obtain on their basis adapted graphs of the forecast time of radiation fog, which allows to significantly improve the time of forecasting the radiation fog.

Recommendations for the use of the results of work with the indication of the field of application. The given information, in particular, concerning the values of local amendments for the cities of Kharkiv, Lviv, Kyiv (Zhulyany) and Odessa, as a rule, differs significantly from similar data given in the literature, or is absent and can be used for the first time in operational practice of meteorological units of the Armed Forces of Ukraine.

*Structure and scope of work.* The work is set out on 44 pages. typewritten text, contains 12 figures, 2 tables, consists of an introduction, 3 sections, conclusions, a list of sources used (40 items) and an appendix.

*Key words:* radiation fog, adaptation, Zverev's graph, time of occurrence.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 Загальні відомості про тумани.....	11
1.1 Класифікація туманів .....	11
1.2 Синоптичні умови утворення радіаційного туману .....	13
1.3 Синоптичні умови утворення адвективного туману .....	14
1.4 Метеорологічні умови утворення радіаційного туману .....	15
1.5 Метеорологічні умови утворення адвективного туману.....	17
2 Методи прогнозу радіаційних туманів.....	20
2.1 Прогноз радіаційного туману за методом І.В. Кошеленко .....	22
2.2 Прогноз радіаційного туману за методом А.С. Зверєва .....	23
2.3 Прогноз радіаційного туману за допомогою параметру FSI ( <i>FogStabilityIndex</i> ) .....	27
2.4 Прогноз радіаційного туману за методом Кредока-Прічарда.....	27
3 Адаптація графіку для визначення часу утворення радіаційного туману для станції харків, львів, київ та одеса .....	29
3.1 Побудова адаптованих графіків Зверєва для часу виникнення радіаційного туману за допомогою програми Excel .....	29
3.2 Отримані графіки в результаті проведення адаптації .....	30
Висновки.....	33
Перелік посилань .....	35
Додатки.....	38



## ВСТУП

Небезпечні явища погоди на аеродромі зльоту і посадки істотно ускладнюють, а в багатьох випадках виключають можливість зльоту і посадки повітряного судна. Успішність існуючих нині методів прогнозу небезпечних явищ погоди не перевищує 85 %. Тому прогноз не дозволяє приймати рішення на зліт і посадку повітряних суден. Це рішення приймається за фактичною погодою. Основна проблема, яка виникає під час прогнозу небезпечних явищ погоди є в тому, що їх прогнозування у різних регіонах без адаптації показує справджуваність значно нижчу за ту, що була отримана авторами. Це пов'язано з тим, що розробка та перевірка методів прогнозу небезпечних явищ погоди на справджуваність проводилась авторами на основі статистичних даних окремих регіонів. Застосування цих методів прогнозу небезпечних явищ погоди до окремих станцій в основному знижує показники справджуваності по відношенню до тих, що були отримані авторами, внаслідок цього окремі регіони країни потребують додаткової адаптації з метою підвищення якості прогнозу. Обробка та ретельний аналіз статистичних даних окремих регіонів України є основою для підвищення справджування методів прогнозу. Щоб виключити випадки ненавмисного потрапляння повітряних суден в метеорологічні умови, в яких екіпажі не можуть виконувати польоти, на кожному аеродромі розробляються адаптовані для них методи прогнозу тих чи інших явищ погоди.

*Актуальність* даної магістерської роботи зумовлюється безпосереднім адаптуванням методики прогнозування часу виникнення радіаційного туману. Методи прогнозування широко застосовуються в метеорологічних підрозділах для уточнення часу утворення туманів в межах певного проміжку часу.

*Об'єкт дослідження* – радіаційний туман.

*Предмет дослідження* – вплив місцевих умов на утворення радіаційного туману.

*Метою* роботи є адаптування методу Зверєва для прогнозу виникнення радіаційного туману для станцій Харків, Львів, Київ та Одеса.

*Завдання*, що вирішувалися в рамках цієї роботи:

– обробка статистичних даних фактичної погоди;

- підрахування числа випадків з радіаційними туманами;
- визначення часу заходу сонця та тривалість ночі в дні, коли спостерігався радіаційний туман;
- розрахунок предикторів;
- побудова адаптованих графіків для визначення долі ночі, в якій повинен утворитись туман;
- перевірка на справджуваність адаптованого методу.

В якості вихідних даних для прогнозу використовувався архівний матеріал з автоматизованого робочого місця синоптика (архівні дані фактичної погоди за період з 01.01.2015 по 01.01.2019 для станцій Харків, Львів, Київ та Одеса) та дані на сайті <http://rp5.ua>.

*Перший розділ* включає п'ять підрозділів в яких висвітлюються загальні відомості про тумани, види та умови їх утворення.

*Другий розділ* складається з чотирьох підрозділів в яких описується за допомогою яких методів синоптик може прогнозувати радіаційні тумани.

*Третій розділ* складається з двох підрозділів в яких представлений алгоритм адаптації графіку А.С. Зверева для визначення часу утворення радіаційного туману та наведені отримані графіки для станцій Харків, Львів, Київ та Одеса.

Магістерська робота також містить висновки та список використаних джерел, який складається з 40 позиції.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТУМАНИ

### 1.1 Класифікація туманів

Туман - це видимий аерозоль, що складається з крихітних крапель води або кристалів льоду, підвішених у повітрі на або біля поверхні Землі[1]. Явище називається туманом якщо горизонтальна дальність видимості стає менш 1 км хоча б в одному напрямку. Аналогічне явище при горизонтальній видимості 1 км і більше називають серпанком[2].

За синоптичним положенням, при якому виникають тумани, вони поділяються на фронтальні, утворення яких пов'язано з термодинамічними процесами в області фронтальних розділів, і внутрішньомасові [3].

Найбільше значення стосовно задачі розробки методів короткострокового прогнозу туманів має їх генетична класифікація (рис. 1.1).

Для території України найбільш характерними є адвективні та радіаційні тумани.

Адвективний туман - це наземна хмара, спричинена охолодженням повітряної маси до точки насичення при її переміщенні по більш холодній поверхні. Цією поверхнею можуть бути холодна земля, сніговий покрив, вода чи лід[4].

Радіаційний туман - це наземна хмара, спричинена нічним інфрачервоним охолодженням поверхні землі та поблизу неї, яка зазвичай виникає за ясного неба, високої відносної вологості та низьких температур [5]. Радіаційні тумани утворюються при слабкому вітру. Згідно з дослідженнями М.Б. Берлянда 69% радіаційних туманів виникає при додатній температурі, 39% – над сніговим покривом. На території України радіаційний туман частіше за все спостерігається при температурі від 1 до 15°C [5].

У тих випадках, коли зниження температури повітря при його переміщенні на відносно холодну підстильну поверхню надалі посилюється від радіаційного вихолодження, можуть виникати тумани, які прийнято називати адвективно-радіаційними [6].

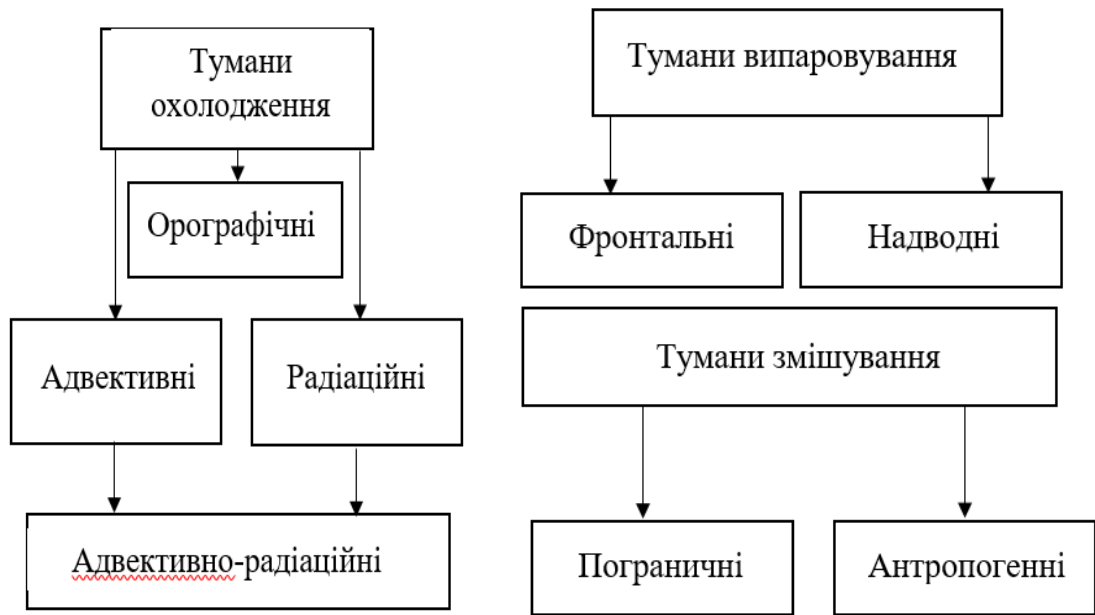


Рис. 1.1 – Генетична класифікація туманів

Туман випаровування або паровий туман утворюється над водоймами, перекритими набагато холоднішим повітрям; така ситуація також може призвести до утворення парових дияволів, схожих на пилові аналоги. Озерний ефект має такий тип іноді в поєднанні з іншими причинами, такими як радіаційний туман. Він, як правило, відрізняється від більшості адвективних туманів, що утворюються над сушею, тим, що він є конвективним явищем, в результаті чого туман може бути дуже щільним, глибоким і здаватися пухнастим зверху [7].

Фронтальний туман утворюється приблизно так само, як шарувата хмарність біля фронту, коли краплі дощу, випадаючи із відносно теплого повітря над фронтальною поверхнею, випаровуються в більш прохолодне повітря поблизу поверхні землі і викликають його насичення. Цей тип туману може бути наслідком дуже низької фронтальної хмарної товщі, що опускається на поверхню за відсутності будь-якого підйомного фактору після проходження фронту [8].

Замерзаючий туман складається з крапель переохолодженої води, яка застигає при контакті з поверхнями [9].

Тумани змішування утворюються на межі повітряних мас з різною температурою і вологістю. Серед них розрізняють гарруа — тумани,

характерні для берегових пустель у тропіках, де біля берегів проходять холодні течії. Тумани змішування утворюються також між холодними і теплими течіями (о. Ньюфаундленд). По суті, тумани змішування є різновидом адвективних туманів[10].

Градний туман іноді виникає в районах значних скупчень граду через зниження температури та підвищеної вологості, що призводить до насичення дуже неглибокого шару біля поверхні. Найчастіше це відбувається коли на граді є теплий вологий шар і коли вітер слабкий. Цей туман має тенденцію до локалізації, але може бути надзвичайно щільним і різким. Він може утворитися незабаром після того, як град випаде; коли град встиг охолодити повітря і як він поглинає тепло при таненні та випаровуванні [11].

Залежно від вертикальної протяжності тумани поділяються на поземні (з верхньою межею до 2 м.), низькі (з верхньою межею від 2 до 10 м.), середні (з верхньою межею від 10 до 100 м.) і високі (з верхньою межею, що перевищує 100 м.)[12].

За ступенем погіршення горизонтальної видимості тумани прийнято поділяти на слабкі (видимість 500-1000 м.), помірні (видимість 200-500 м.), сильні (видимість 50-100 м.) і дуже сильні (видимість менше 50 м.) [13].

## 1.2 Синоптичні умови утворення радіаційного туману

Утворення радіаційних туманів носить локальний характер, що пов'язано з місцевими фізико-географічними особливостями. Тумани не утворюють суцільну велику зону, їх розподіл по площі носить «плямистий» характер[14].

Тривалість існування радіаційного туману пов'язана з часом його утворення. Зазвичай більш тривалі тумани, що виникають в першу половину ночі. Тумани, що виникли перед сходом Сонця, швидко розсіюються. За даними М.Е. Берлянда, в 70% випадків спостерігаються тумани тривалістю не більше 3 годин, в 25% випадків – 4-9 годин і лише в 5% випадків -10 годин і більше[14].

Прогноз радіаційного туману починається з оцінки сприятливих синоптичних умов для його виникнення[15].

В глибині материка переважають радіаційні тумани. Найчастіше вони утворюються на західних та північних периферіях антициклонів (рис. 1.2), на гребнях і малоградієнтних баричних полях [16].

Основними складовими, необхідними для утворення радіаційного туману, є волога, швидке охолодження та штиль або слабкий вітер. Антициклони низького рівня можуть створити сприятливі умови для радіаційного туману, придушуючи поверхневі вітри. Сухе повітря піднімається вгору посилюючи радіаційне охолодження на поверхні [17]. Утворення радіаційного туману неможливе в граничному шарі при недостатній вологості. Така волога може потрапляти в зону або отримуватися шляхом денного випаровування з поверхневих джерел, таких як заболочені землі або вологий ґрунт [18].

Розсіювання туману відбувається після сходу Сонця при інтенсивному прогріванні і відсутності вітру. Швидке підвищення температури в шарі туману призводить до руйнування інверсії, краплі туману випаровуються і водяний пар за рахунок вертикальних рухів переноситься у верхні шари атмосфери. Видимість в тумані поступово збільшується [18].

### 1.3 Синоптичні умови утворення адвективного туману

Тривалість адвективних туманів визначається тривалістю існування синоптичного положення, при якому почалася адвекція тепла, і умов, необхідних для збереження туманів[19]. Синоптичні процеси, при яких утворюються адвективні тумани – інертні, тому ці тумани можуть існувати від декількох годин до декількох діб. Адвективні тумани виникають одночасно на багатьох метеорологічних станціях, утворюючи суцільну зону великої горизонтальної протяжності [20].

Прогноз адвективних туманів ґрунтується на оцінці прогностичного синоптичного положення. При цьому слід враховувати, що такий туман може виникнути тільки при адвекції теплого досить вологого повітря на холодну підстильну поверхню. Тому найбільш сприятливі умови для виникнення адвективних туманів створюються у західних периферіях антициклонів, у передніх частинах циклонів і в їх теплих секторах [21].

Над територією України адвективні тумани виникають при вторгненні переважно морського повітря з Середземного і Чорного морів. Зазвичай цей вид туману виникає при температурі повітря від 5 до -5 °С. Над сніговим покривом адвективні тумани спостерігаються частіше ніж над вологим відкритим ґрунтом. За даними І.В. Кошеленко в 76% випадків адвективні тумани виникають над сніговим покривом, і лише у 22% випадків – над вологим ґрунтом [22].

#### 1.4 Метеорологічні умови утворення радіаційного туману

Механізм утворення радіаційного туману полягає у взаємодії двох процесів:

1. Ефективного випромінювання підстильної поверхні, що викликає охолодження прилеглого до неї повітря;
2. Слабкого турбулентного обміну між найнижчим шаром і вище розташованими шарами повітря [24].

Необхідною умовою для утворення будь-якого туману є достатній вміст вологи в найнижчих шарах атмосфери. Радіаційне утворення туману, як правило, вимагає чистого неба, слабких вітрів та достатньої вологи в поверхневому шарі. Відповідні місця для виконання цих умов можна знайти поруч із високим тиском над землею (переважно в зимовий сезон) із пов'язаним слабким градієнтом тиску. Вологість ґрунту значно збільшує шанси радіаційного туману, з цієї причини дуже сприятливою ситуацією для утворення туману є прояснення неба та зменшення вітру ввечері після дощового дня. Занадто сильний вітер, найімовірніше, створить шарувато-купчасту хмарність, ніж туман [25].

Після закінчення денного нагрівання малохмарні сухі умови над граничним шаром прискорюють охолодження на поверхні та поблизу неї. Коли небо затягнуте хмарами, менше 10 відсотків випромінювання, яке здійснює земля, виходить у космос. Більша частина випромінювання поглинається або відбивається вуглекислим газом, водяною парою та краплями хмар у небі. Однак ясне небо дозволяє викидати з атмосфери від 20 до 30 відсотків радіації [24].

Радіаційний туман утворюється внаслідок охолодження суші після заходу сонця інфрачервоним тепловим випромінюванням у простих умовах з ясним небом. Потім випромінююча земля охолоджує сусіднє повітря за допомогою провідності, змушуючи температуру повітря падати і досягати точки роси, що приведе до утворення туману. За ідеального спокою шар туману може мати товщину менше метра, але турбулентність може сприяти появі більш товстого шару [27].

Оскільки вітри створюють турбулентне перемішування, слабкий вітер на поверхні максимізує радіаційне охолодження [28].

У міру виходу енергії поверхня землі швидко охолоджується і викликає охолодження найнижчих шарів атмосфери, створюючи поверхневу інверсію. Якщо в повітрі є достатня кількість водяної пари та достатньо охолодження на поверхні, повітря низького рівня з часом досягне насичення [29].

Коли денні температури прохолодні до настання ночі, час, необхідний для досягнення насиченості в малохмарну ніч, скорочується [30].

З продовженням охолодження водяна пара в повітрі біля поверхні починає конденсуватися на об'єктах у вигляді роси або відкладатися у вигляді морозу. Цей процес висушує найнижчі шари атмосфери, тоді як слабка турбулентна дифузія продовжує транспортувати вологе повітря до поверхні. Постійне охолодження цього шару змушує його ставати все більш стійким і стійким до впливу слабого турбулентного перемішування поблизу поверхні. Зрештою, приповерхнева турбулентність взагалі припиняється, а разом із нею утворюється роса або мороз на поверхні. У міру охолодження надлишки водяної пари в насиченому шарі безпосередньо над поверхнею починають конденсуватися у краплі туману [31].

На початковій стадії утворення туману охолодження триває на поверхні та біля неї, поки глибина туману не досягне декількох метрів, достатньо глибокої, щоб почати поглинати та повторно випромінювати енергію, що надходить із землі. Це уповільнює швидкість охолодження на поверхні, і верхня межа туману стає рівнем, на якому радіаційні процеси охолодження та конденсації є найбільш активними [32].

Залежно від складу ґрунту, земля може продовжувати проводити тепло до поверхні. Коли воно стає теплішим за повітря безпосередньо над ним, активуються слабкі конвективні струмені низького рівня, що призводить до



підйому основи приповерхневої інверсії. Сніговий покрив та мерзла земля мінімізують теплопровідність від ґрунту до атмосфери [33].

Радіаційний туман виникає вночі, і зазвичай триває недовго після сходу сонця, але він може зберігатися протягом усього дня в зимові місяці, особливо в районах, обмежених височиною. Радіаційний туман найчастіше спостерігається восени та на початку зими [27].

### 1.5 Метеорологічні умови утворення адвективного туману

Адвективний туман виникає при переміщенні теплого вологого повітря над холодною підстильною поверхнею. Трансформаційне охолодження повітря відбувається внаслідок турбулентного теплообміну з підстильною поверхнею. У більшості випадків адвективні і адвективно-радіаційні тумани утворюються при наявності приземної або припіднятої інверсії. За даними М.Е. Берлянда, в 71 випадку адвективні тумани утворювалися за наявності припіднятої інверсії на висоті 60-200 м [34].

Найбільш інтенсивні і тривалі тумани спостерігаються поблизу межі снігового покриву, де тепле повітря, що притікає, з температурою вище 0°C сильно охолоджується завдяки витраті тепла на танення снігу [35]. Адвективні тумани можуть виникати у будь-який час доби, проте вірогідність їх виникнення збільшується у вечірні і нічні години. В цьому випадку відбувається додаткове охолодження повітря за рахунок радіаційного вихолодження. Такі тумани відносяться до адвективно-радіаційних [23].

Адвективні тумани над сушею виникають при швидкості вітру від 1-2 до 5-6 м/с. Швидкість вітру 9-10 м/с практично є граничною для утворення туману. На півдні України адвективні тумани у випадках великих горизонтальних градієнтів температури можуть утворюватися і зберігатися при швидкості вітру 12-15 м/с.

Утворення адвективних туманів переважно залежить від швидкості вітру і горизонтального градієнту температури. Залежно від умов утворення розрізняють два види адвективних туманів: ті, що утворюються «знизу-вверх» і «зверху-вниз», тобто тумани які утворюються з хмар, що

опускаються донизу і тумани, які утворюються безпосередньо на підстильній поверхні.[36].

Наприклад, в районі формування повітряної маси повітря знаходиться в стані термічної рівноваги з підстильною поверхнею. Вертикальний розподіл температури в такій повітряній масі є близьким до адіабатичного, а вертикальний турбулентний теплообмін (рис. 1.8, а) практично відсутній. Внаслідок змін циркуляційних процесів тепла повітряна маса починає переміщуватися над холодною підстильною поверхнею. Механізм тепло- і вологообміну визначається інтенсивністю турбулентності і впорядкованими вертикальними рухами. Внаслідок вертикального обміну відбувається зміна профілю температури точки роси (рис. 1.8, б). Охолодження рухомого повітря починається в безпосередній близькості біля земної поверхні, що призводить до утворення приземної інверсії. При слабкому вітру (0-3 м/с) збільшується вертикальна потужність інверсії, повітря в турбулентному шарі, охолоджуючись, досягає стану насичення. Процес конденсації водяної пари призводить до утворення туману, який може змінювати свою інтенсивність і збільшуватись по вертикалі. Вертикальна потужність туману залежить від швидкості вітру. За даними М.Е. Берлянда, при швидкості до 4-5 м/с вертикальна потужність мало змінюється і становить 150-200 м [37].

При збільшенні швидкості вітру більше 5-6 м/с механізм утворення туману змінюється. Посилення вітру сприяє руйнуванню у нижній частині приземної інверсії і переходу її в піднесену інверсію на висоті 300-500 м (рис. 1.8, в).

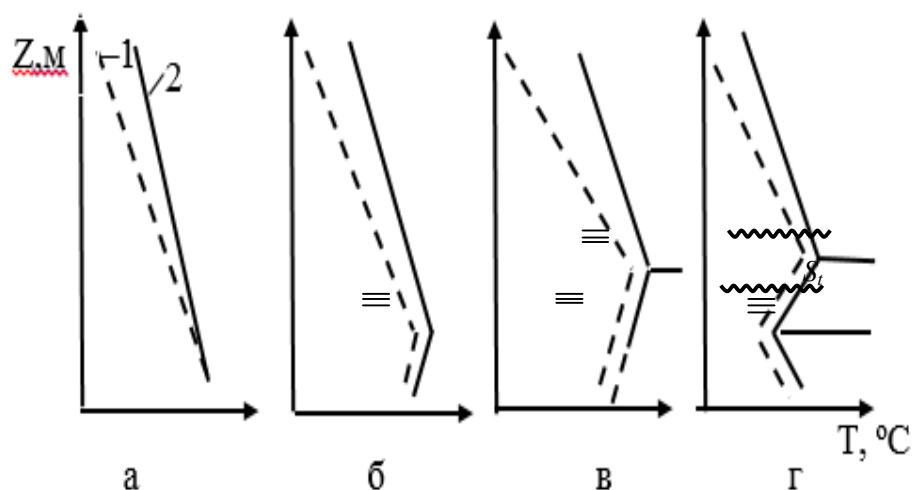


Рис. 1.8 – Зміна профілю температури в процесі утворення адвективного туману: 1 – крива температури; 2 – крива точки роси

Вертикальний градієнт температури  $\gamma$  стає більше вологоадіабатичного, та дужче підсилює турбулентний обмін. Все це обумовлює підняття туману і потім перехід його в шарувату хмарність. Для того щоб хмарність перейшла в туман необхідне зменшення вертикального градієнта температури до значень менше вологоадіабатичного або послаблення турбулентного обміну, тобто зменшення швидкості вітру (рис. 1.8, г). Вертикальна потужність туману з хмар коливається в широких межах: у 30% випадків верхня межа спостерігається 100-200 м, в 62% випадків – 230-590 м. Зазвичай верхня межа туману збігається з нижньою межею інверсії, якщо крива точки роси має інверсійний профіль, туман проникає в шар інверсії [19].

## 2 МЕТОДИ ПРОГНОЗУ РАДІАЦІЙНИХ ТУМАНІВ

Основною причиною радіаційного туману є нічне зниження температури у приземному шарі нижче початкового значення точки роси, обумовлене радіаційним охолодженням підстильної поверхні.

Найбільш сприятливими умовами для утворення радіаційного туману є:

- безхмарне небо або хмарне небо вдень зі зменшенням до безхмарного неба вночі (ці умови зазвичай виконуються в стаціонарних баричних утвореннях підвищеного тиску);

- слабкий вітер (не більше 6 м/с). В спокійних умовах радіаційний туман являє собою тонкий шар над поверхнею землі, швидкість вітру більше 2 м/с призводить до перемішування шарів повітря та як наслідок цього до потовщення туману, але збільшення швидкості вітру більше 6 м/с запобігає утворенню туману через змішування повітря біля поверхні землі з більш сухим повітрям на висотах;

- малий дефіцит точки роси (відносна вологість повітря більше 60%), а також зволоження повітря ввечері у зв'язку з випадінням дощу;

- інверсійний розподіл температури повітря при малих дефіцитах точки роси в шарі до 300 метрів від поверхні землі;

- долинний рельєф земної поверхні. У долинах можливість утворення радіаційного туману підвищується завдяки осіданню холодного повітря в низині. Це охолодження повітря може призвести до дуже щільного туману;

- відносно тривалий період радіаційного охолодження, наприклад, довгі ночі та короткі дні. Це спостерігається у холодний період року [37];

При прогнозі радіаційного туману необхідно відповісти на наступні запитання:

- Чи можливий туман? Якщо так, то коли він виникне?
- Яка мінімальна видимість очікується у тумані?
- Яка вертикальна та горизонтальна протяжність туману?
- Коли він розсіється?

Існує безліч способів прогнозу радіаційних туманів. Умовно їх можна розділити на дві групи.

До першої групи можна віднести ті способи, в яких передбачається розрахунок двох основних величин – температури туманоутворення  $T_T$  і мінімальної температури  $T_{min}$ .

В цьому випадку алгоритм прогнозу туману наступний:

- визначається температура туманоутворення  $T_T$  або необхідне для утворення туману зниження температури повітря  $\Delta T_T$  (рис. 2.1);
- розраховується мінімальна температура  $T_{min}$  або зниження температури протягом ночі з урахуванням стану неба і швидкості вітру  $\Delta T_H$ ;
- порівнюються  $T$  і  $T_{min}$  або  $\Delta T_T$  і  $\Delta T_H$ .

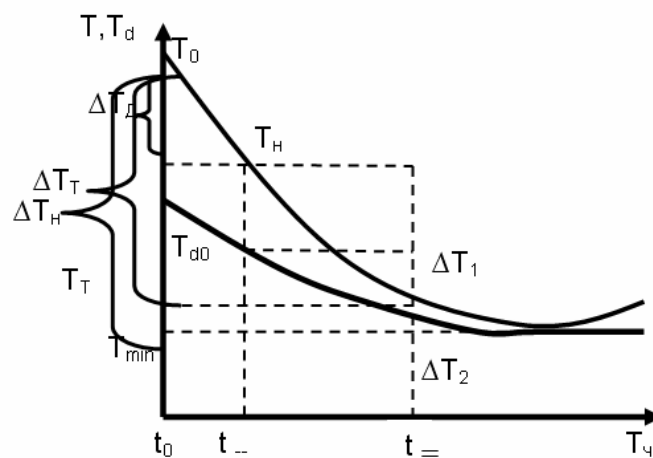


Рис. 2.1 – До визначення температури туманоутворення

Якщо  $T_T > T_{min}$  або  $\Delta T < \Delta T_H$ , у прогнозі зазначається туман.

Якщо  $T_T$  буде на 1–2 °С менше  $T_{min}$ , то можливе утворення серпанку.

До другої групи способів прогнозу радіаційних туманів відносять ті, які засновані на одержанні аналітичних і графічних дискримінантних функцій. Вони передбачають отримання формулювання прогнозу в категоричній формі шляхом підстановки вихідних даних у розрахункову формулу або графік [21].

Прогнози температури туманоутворення засновані на основі наступних умов. У момент заходу Сонця  $t_0$  температура повітря та точка роси мають значення  $T_0$  і  $Td_0$  (рис. 2.1). Протягом ночі температура повітря знижується швидше, ніж точка роси. При  $T = Td$  відносна вологість стає рівною 100%. Однак при наявності гігроскопічних ядер конденсація починається раніше –

при температурі повітря  $T_k$  перевищує точку роси на деяку величину  $\Delta T_1$ . Але туман утворюється не в момент початку конденсації  $t_m$ , а тоді, коли в одиниці об'єму утворюється концентрація крапель, відповідне погіршення видимості до значень  $\leq 1$  км, тобто після початку конденсації необхідно деяке додаткове зниження температури  $\Delta T_2$  (за умови, що точка роси протягом даного проміжку часу буде знижуватися).

Якщо припустити, що зміна точки роси відбувається тільки за рахунок вологообміну (адвективні зміни точки роси незначні), можна записати наступну формулу для визначення температури туманоутворення:

$$T = T_{d_0} - \Delta T_d, \quad (2.1)$$

де  $T_{d_0}$  – точка роси в початковий момент часу  $t_0$  (рис. 2.1);

$\Delta T_d$  – величина можливого зниження точки роси протягом ночі від часу  $t_0$  до часу утворення туману  $t_m$  [38].

## 2.1 Прогноз радіаційного туману за методом І.В. Кошеленко

Спосіб І.В.Кошеленко розроблений для території України. В результаті процедури відбору найбільш інформативними предикторами виявилися дефіцит точки роси  $(T - Td)_{18}$  у вечірній час, тобто в 18 або 19 годин, прогностична швидкість вітру  $V_{пр}$ , мінімальна температура  $T_{min}$  або величина можливого зниження температури від вихідного моменту часу до сходу Сонця.

$$\Delta T_H = T_{18} - T_{min} \dots \quad (2.2)$$

Дискримінантна функція для прогнозу туману та рівняння регресії для прогнозу видимості мають наступний вигляд:

$$\dots \quad (2.3)$$

За методом Кошеленко туман прогнозується якщо  $D > 0$ . Мінімальна видимість в тумані  $S_{\min}$  розраховується у кілометрах.

(2.4)

При деяких вихідних умовах прогностичні висновки можуть бути різними:  $D > 0$ , а  $S_{\min} > 1$  км та навпаки  $D < 0$ , а  $S_{\min} < 1$  км. У таких випадках прогноз туману необхідно уточнювати.

Перевірка автором цього методу на справджуваність, що проводилась на базі статистичних даних незалежної вибірки, показала наступні результати: справджуваність методу на наявність явища склала 76%; на відсутність - 81% [39].

## 2.2 Прогноз радіаційного туману за методом А.С. Зверєва

Спосіб є універсальним, тому що пройшов успішні випробування в різних регіонах. Його ефективність може бути підвищена шляхом розрахунку місцевої поправки при прогнозі мінімальної температури.

Вихідними даними для прогнозу є:  $T$  – температура повітря за 19 год;  $R$  – відносна вологість в той же момент часу; прогноз кількості та форми хмарності на ніч;  $V$  – прогнозована швидкість вітру на ніч;  $\Delta\varphi$  – місцева поправка;  $\Delta t$  – тривалість ночі.

Місцева поправка  $\Delta\varphi$  враховує місцеві фізико-географічні умови. Прогноз туману розробляється за допомогою діаграм у наступному порядку.

1. За даними  $T$  і  $R$  за номограмою (рис. 2.2) визначається необхідне зниження температури повітря для утворення серпанку  $\Delta T_c$  і туману  $\Delta T_t$ . З номограми видно, що чим більше відносна вологість в початковий момент часу, тим менше необхідно зниження температури для утворення туману.

2. За даними  $T$  і  $R$  визначається можливе пониження температури  $\Delta T_n$  в нічний час при ясному небі без урахування швидкості вітру (рис. 2.3).

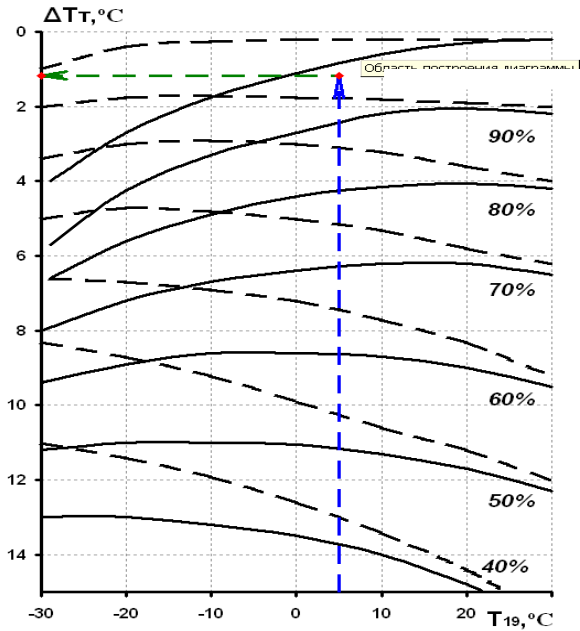


Рис. 2.2 – Для знаходження нічного зниження температури, необхідної для утворення туману (серпанок – пунктирні лінії).

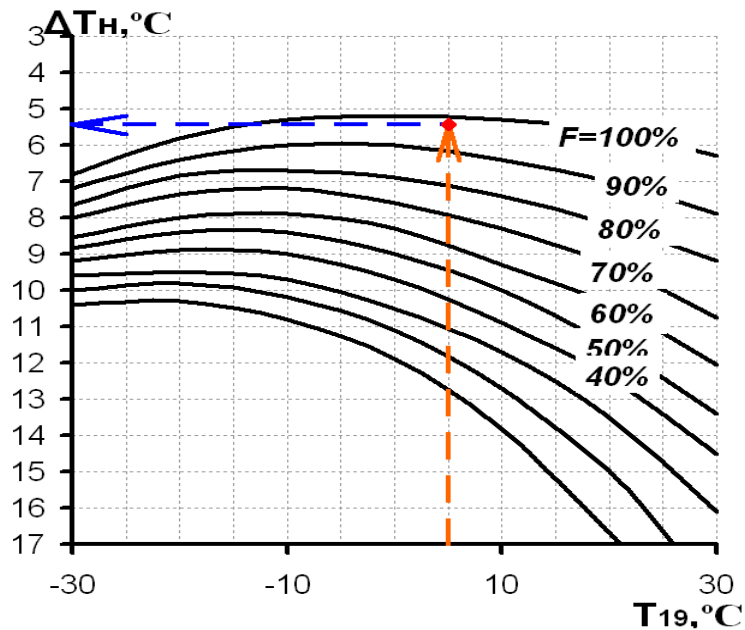


Рис. 2.3 – Для знаходження нічного зниження температури  $\Delta T_n$  при ясному небі.



3. Розраховується виправлене значення  $\Delta T_{н.випр.}$

(2.4)

4. За даними про хмарність на ніч визначається коефіцієнт  $m$ , що враховує її вплив на нічне зниження температури (рис.2.4).

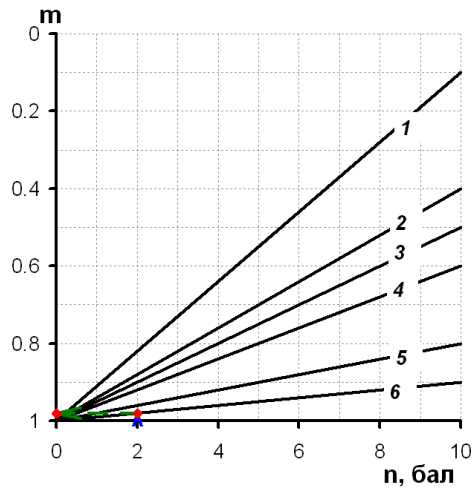


Рис. 2.4 – Для знаходження коефіцієнта  $m$

5. За значеннями  $\Delta T_{н.випр.}$ , швидкості вітру і коефіцієнта  $m$  визначається можливе зниження температури повітря в нічний час  $\Delta T_{н.}$  (рис. 2.5)

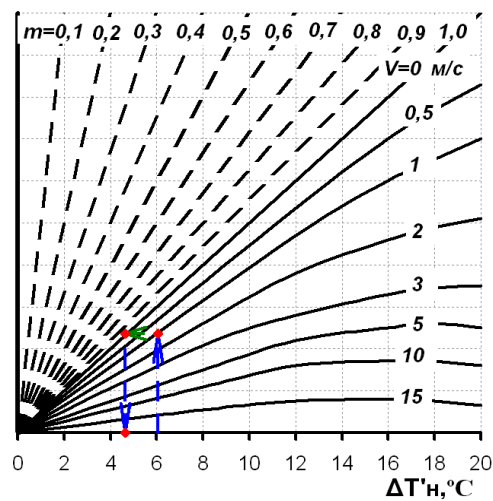


Рис. 2.5 – Номограма для визначення нічного зниження температури з урахуванням хмарності й вітру

Висновок про можливість виникнення туману (серпанку) робиться шляхом порівняння  $\Delta T_{\tau}$ , ( $\Delta T$ ) і та  $\Delta T_n$ :

– якщо  $\Delta T_n > \Delta T_{\tau} > \Delta T$ , туман утворюється;

– якщо  $\Delta T_{\tau} > \Delta T_n > \Delta T$ , туман не утворюється, у прогнозі вказують: «серпанок».

Якщо утворюється туман, то необхідно визначити час його виникнення. Для цього обчислюється відношення  $\Delta T_{\tau}/\Delta T_n$  і за графіком (рис. 2.6) визначається доля ночі  $n$  до моменту утворення туману.

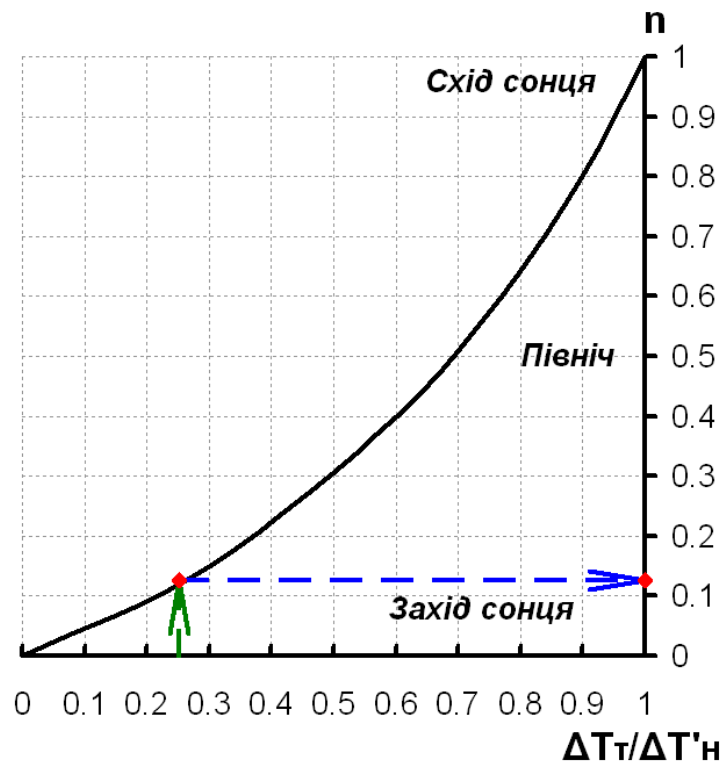


Рис. 2.6 – Графік для прогнозу часу утворення туману

Перевага цього способу в тому, що в ньому досить повно враховується початковий і майбутній стан атмосфери. Оптимізація способу легко виконується шляхом розрахунку місцевої поправки для кожного місяця року для конкретної синоптичної обстановки, що виключає трудомістку роботу з побудови нових уточнених номограм [23].

### 2.3 Прогноз радіаційного туману за допомогою параметру FSI (*FogStabilityIndex*)

Для здійснення прогнозу за даним методом використовується розрахункова формула FSI:

$$FSI = 2 * (T - Td) + 2 * (T - T850) + W850, \quad (2.5)$$

де  $T$ - температура біля поверхні землі;

$Td$ - температура точки роси;

$T850$ - температура на рівні 850 гПа;

$W850$ - швидкість вітру на рівні 850 гПа.

Для оцінки результатів розрахунку для даного методу існують критеріальні значення, які наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Критеріальні значення для утворення радіаційного туману

Результати розрахунку FSI	Прогноз радіаційного туману
$FSI > 55$	Низька ймовірність формування туману
$31 < FSI < 55$	Помірна ймовірність утворення туману
$FSI < 31$	Високий ризик утворення туману

Недоліком цього методу є відсутність можливості прогнозу часу утворення даного туману [40].

### 2.4 Прогноз радіаційного туману за методом Кредока-Прічарда

Кредоком та Прічардом були проведенні статистичні дослідження на 16 станціях у східній Англії. Протягом цих досліджень вони намагались отримати рівняння регресії за допомогою яких можливо було б прогнозувати мінімальну температуру та температуру утворення туману.

В результаті досліджень ними були отримані наступні рівняння регресії, які відображають залежність між предиктантами і предикторами:

$$T_{min} = 0.316 \times T_{12} + 0.548 \times T_{d12} - 1.24 + k = X + k, \quad (2.6)$$

$$T_T = 0.044 \times T_{12} + 0.844 \times T_{d12} - 0.55 + A = Y + A, \quad (2.7)$$

де – прогностична мінімальна температура;

$T_T$  – це прогностичне значення температури туманоутворення;

$T_{12}$  – температура що спостерігається в 12:00 UTC у градусах Цельсія;

$T_{d12}$  – це температура точки роси в 12:00 UTC у градусах Цельсія;

$X$  – значення предиктанта без урахування коефіцієнту  $k$ ;

$k$  – поправка на середню швидкість геострофічного вітру та кількість хмарності;

Для зручності Кредок та Прічард сформували окрему таблицю (табл. 2.2), де по значенням прогностичної мінімальної температури та прогностичного значення температури туманоутворення  $T_T$  можна визначити значення  $X$ .

Ці формули використовуються для прогнозування мінімальної температури на ніч та температури повітря на момент утворення туману на території східної Англії.

Таблиця 2.2 – Поправочний коефіцієнт  $k$  (в градусах Цельсія) на урахування швидкості геострофічного вітру та кількість хмарності

Кількість хмар у октантах	Прогностична швидкість геострофічного вітру у вузлах			
	0-12	13-25	26-38	39-51
0-2	-2,2	-1,1	-0,6	+1,2
2,1-4,0	-1,7	0	0	+1,7
4,1-6,0	-0,6	+0,6	+0,6	+2,8
6,1-8,0	0	+1,1	+1,1	-

При використанні цього методу на інших територіях слід попередньо перевірити його на справджуваність і за необхідністю провести процедуру адаптації з метою підвищення ефективності методу [41].

### 3 АДАПТАЦІЯ ГРАФІКУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ УТВОРЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ТУМАНУ ДЛЯ СТАНЦІЇ ХАРКІВ, ЛЬВІВ, КИЇВ ТА ОДЕСА

3.1 Побудова адаптованих графіків Зверєва для часу виникнення радіаційного туману за допомогою програми Excel

У якості вихідних даних для проведення дослідження використовувалися:

- архів фактичної погоди аеродрому Харків з 01.01.2015 по 01.01.2019р;
- архів фактичної погоди аеродрому Львів з 01.01.2015 по 01.01.2019 р;
- архів фактичної погоди аеродрому Київ (Жуляни) в період з 01.01.2015 по 01.01.2019 р.;
- архів фактичної погоди аеродрому Одеса в період з 01.01.2015 по 01.01.2019 р.;
- аеросиноптичний матеріал по пунктам Харків, Львів, Київ (Жуляни) та Одеса

Для адаптації графіку визначення часу виникнення туману відбирались дні з туманами за 4 роки (з 01.01.2015 по 01.01.2019 р.). Предикторами для виконання даної роботи були фактичні значення температури повітря, вологості повітря, кількості хмарності та швидкості вітру в дні, коли спостерігався туман.

За даними  $T$  і  $R$  визначаємо температуру туманоутворення  $\Delta T_m$  (рис. 2.1). Після визначення температури туманоутворення за даними  $T$  і  $R$  визначаємо можливе пониження температури  $\Delta T_n$  в нічний час при ясному небі без урахування швидкості вітру (рис. 2.2). Після знаходження можливого пониження температури знаходимо виправлене значення можливого зниження температури  $\Delta T'_n = \Delta T_n \pm \Delta \varphi$ . Виправлене значення отримали за допомогою місцевих поправок. Для станції Київ для теплого періоду місцева поправка складає  $\Delta \varphi = 0,2$ , для холодного періоду  $\Delta \varphi = 4,7$ . Для станції Одеса для теплого періоду місцева поправка складає  $\Delta \varphi = -1,7$ , для холодного періоду  $\Delta \varphi = 2,3$ . Для станції Харків місцева поправка для теплого періоду року складає  $\Delta \varphi = 0,7$ , для холодного періоду  $\Delta \varphi = 4,8$  та на станції Львів місцева поправка для теплого періоду складає  $\Delta \varphi = -0,6$ , для холодного періоду року  $\Delta \varphi = 3,7$ . За графіком (рис.2.3) знаходимо коефіцієнт  $m$ . Після

знаходження коефіцієнта  $m$  визначаємо нічне зниження температури з урахуванням хмарності і швидкості вітру  $\Delta T'_{ндійсн}$ .

Для побудови графіків необхідно визначити відношення температури туманоутворення до нічного пониження температури  $\Delta T_m/\Delta T'_n$  та долю ночі за допомогою даних про захід сонця, тривалість ночі та часу виникнення туману.

Отримавши необхідні данні, які представлені в додатку Б можемо побудувати графік часу виникнення туману для станції Харків.

За допомогою такого самого способу будуюмо графіки для станцій Львів, Київ та Одеса. Дані про долю ночі та відношення температури туманоутворення до нічного зниження температури відображені в додатку Б2 для станції Львів, в додатку Б3 для станції Київ та в додатку Б4 для станції Одеса.

### 3.2 Отримані графіки в результаті проведення адаптації

В результаті проведеної роботи з адаптації графіку Зверєва для часу виникнення радіаційного туману отримали наступні результати: графік для станції Харків (рис. 3.1), графік для станції Львів (рис. 3.2), графік для станції Київ (Жуляни) (рис.3.3), графік для станції Одеса (рис.3.4).

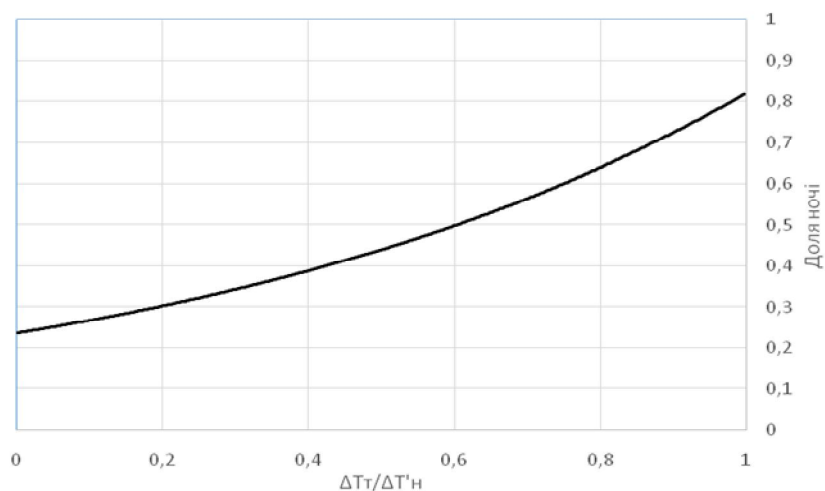


Рис. 3.1. – Графік для визначення часу виникнення туману для ст. Харків

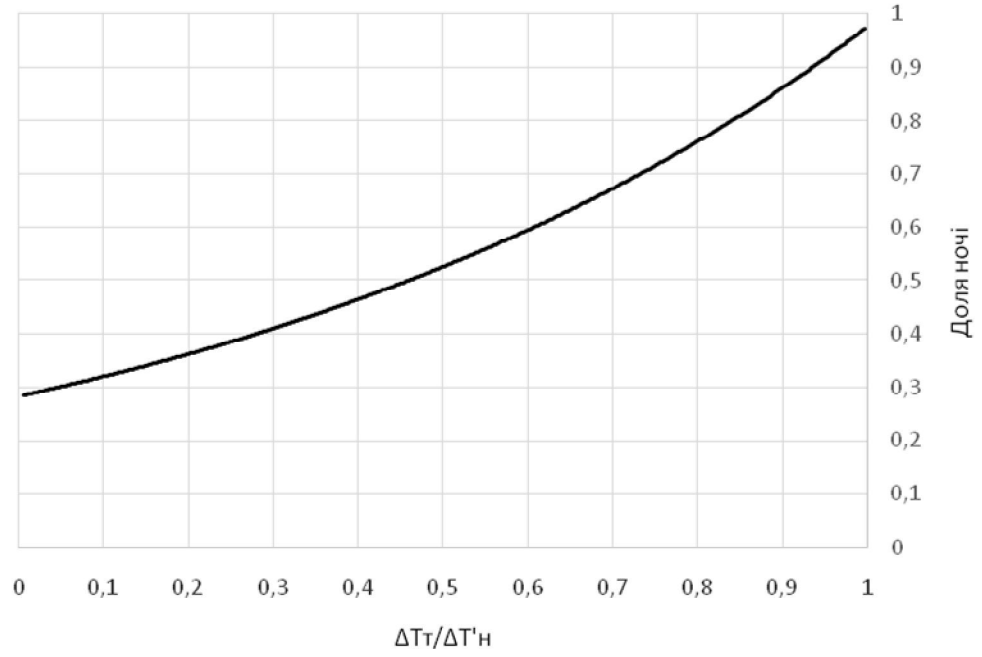


Рис. 3.2. – Графік для визначення часу виникнення туману для ст. Львів

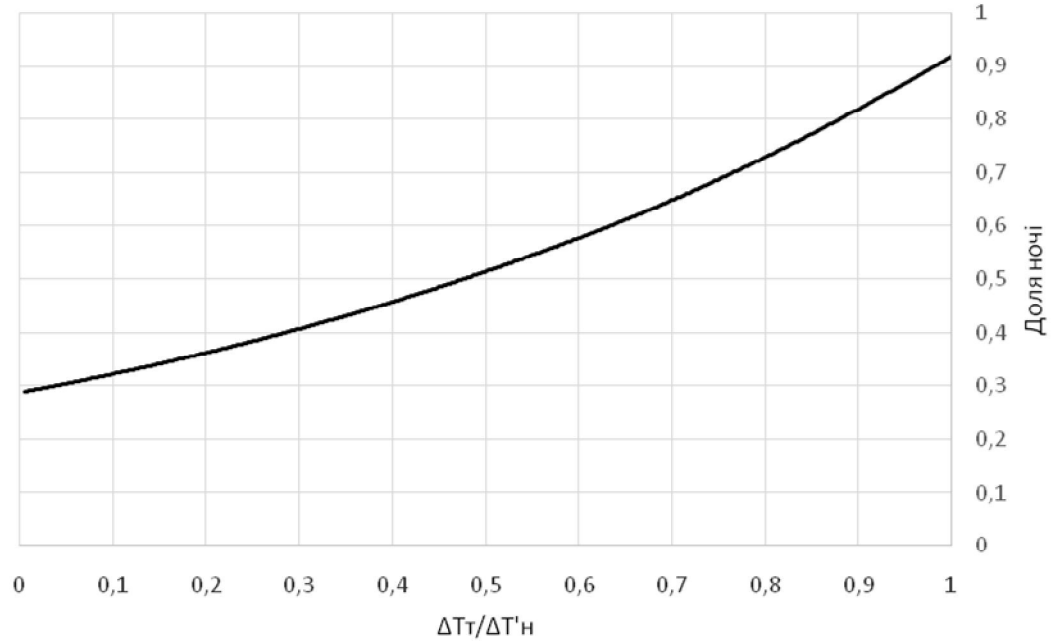


Рис. 3.3. – Графік для визначення часу виникнення туману для ст. Київ

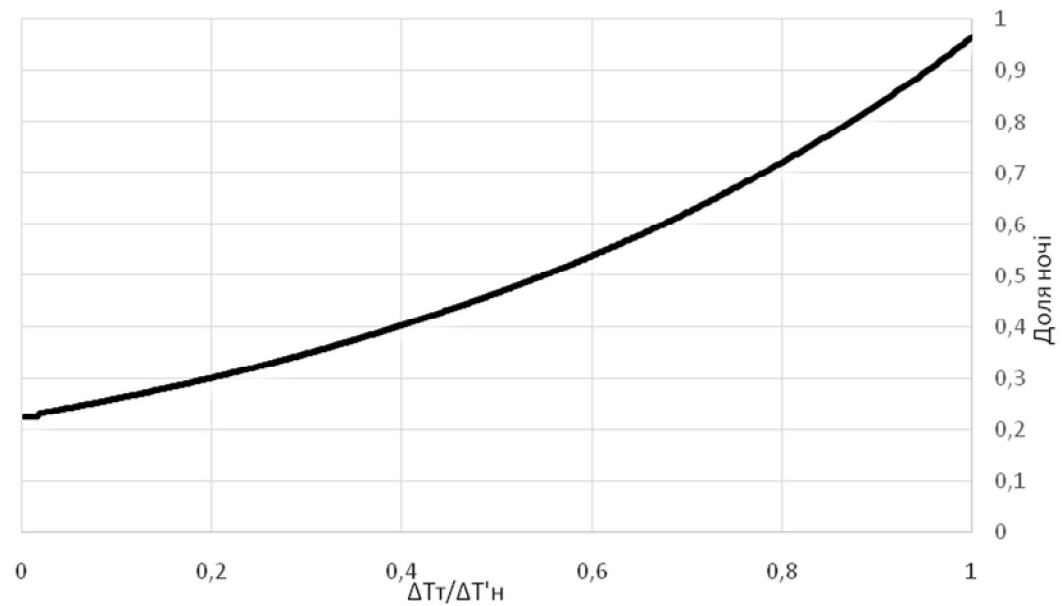


Рис. 3.4. – Графік для визначення часу виникнення туману для ст. Одеса

Для перевірки адаптованих графіків були взяті перевірочні вибірки за 2013-2015 рр. Під час перевірки на справджуваність адаптованих графіків було взято розбіжність в часі на 2 та 1 години від реального часу виникнення туману. Прогноз вважався вдалим, якщо час по адаптованому графіку потрапляв в дані часові проміжки. Для станції Харків за два роки було вибрано 39 випадків з радіаційними туманами. Для ст. Львів було обрано 47 випадків з радіаційними туманами. Для ст. Київ обрано 67 випадків, та для станції Одеса було обрано 108 випадків з радіаційними туманами.

Після формування перевірочних вибірок адаптовані графіки були порівняні з графіком А.С. Зверева.



## ВИСНОВКИ

У ході досліджень були побудовані адаптовані графіки для визначення часу утворення радіаційного туману за даними фактичної погоди на станціях Харків, Львів, Київ (Жуляни) та Одеса.

Перевірка на справджуваність методу прогнозу часу виникнення радіаційного туману А.С. Зверева до та після проведення процедури адаптації показала, що справджуваність з використанням адаптованого методу прогнозу виникнення радіаційного туману є вищою за справджуваність з використанням оригінального графіку.

1. Під час перевірки адаптованого графіку для ст. Харків було виявлено, що за графіком Зверева в проміжок часу 1 год. не потрапило жодного випадку, для 2 годин з даної вибірки потрапило 7% випадків. Для адаптованого графіку в проміжок 1 год. потрапило 15% випадків з даної вибірки, для проміжку в 2 години потрапило 23% випадків. Таким чином, адаптований графік має більшу успішність для часового проміжку в 1 год. на 15% та для 2 год. на 16% ніж оригінальний графік Зверева.

2. Під час перевірки адаптованого графіку для ст. Львів було виявлено, що для графіка Зверева в інтервал 1 год. потрапило 8% випадків, в інтервалі в 2 год. потрапило 10% випадків з даної вибірки. Перевірівши адаптований графік виявили, що для інтервалу в 1 год. з даної вибірки потрапило 21% випадків, в проміжок часу в 2 год. за даними адаптованого графіку потрапило 25% випадків. Отже, адаптований графік має більшу успішність для часового проміжку в 1 год. на 13% та для 2 год. на 15% ніж оригінальний графік Зверева.

3. Під час перевірки адаптованого графіку для ст. Київ було виявлено, що для графіка Зверева в інтервал 1 год. потрапило 4% випадків з отриманої перевіркою вибірки, в інтервал 2 год потрапило 5% випадків з даної вибірки. Перевірівши адаптований графік виявили, що для інтервалу в 1 год. з даної вибірки потрапило 11% випадків, в проміжок часу в 2 год за даними адаптованого графіку потрапило 25% випадків. В результаті порівняння двох графіків з'ясувалось, що адаптований графік для часового проміжку в 1 год.

має вище успішність на 7%, а для часового проміжку в 2 год. на 20% ніж оригінальний графік Зверева.

4. Під час перевірки адаптованого графіку для ст. Одеса було виявлено, що для графіка Зверева в інтервал 1 год. потрапило 8.3% випадків з отриманої перевіркою вибірки, в інтервал 2 год потрапило 20% випадків з даної вибірки. Перевіряючи адаптований графік, виявили, що для інтервалу в 1 год. з даної вибірки потрапило 16% випадків, в проміжок часу 2 год за даними адаптованого графіку потрапило 25% випадків. В результаті порівняння двох графіків з'ясувалось, що адаптований графік для часового проміжку в 1 год. має успішність вище на 7.7%, а для часового проміжку в 2 год. адаптований графік має успішність вище на 5% ніж оригінальний графік Зверева.

Як показала перевірка, розроблені адаптовані графіки дозволяють користувачеві прогнозувати час виникнення радіаційного туману з більшою точністю.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gultepe, Ismail, ed. (2 January 2008). Fog and Boundary Layer Clouds: Fog Visibility and Forecasting. p. 1126. ISBN 978-3-7643-8418-0. Archived from the original on 3 September 2016. The international definition of fog consists of a suspended collection of water droplets or ice crystal near the Earth's surface ... Reprint from Pure and Applied Geophysics Vol 164 (2007) No. 6-7.
2. "Federal Meteorological Handbook Number 1: Chapter 8 – Present Weather" (PDF). Office of the Federal Coordinator for Meteorology. 1 September 2005. pp. 8–1, 8–2. Archived from the original (PDF) on 21 May 2011. Retrieved 9 October 2010.
3. Матвеев Л.Т. Основы авиационной метеорологии. – Москва 1955-265с.
4. Керівництво по короткостроковим прогнозам погоди., - Л.: Гидрометеоиздат 1986-180с.
5. Air Weather Service, 1979: General aspects of fog and stratus forecasting. USAF AWS TR 239, 100 pp.
6. Івус Г.П. Боровська Г.О. Практикум з авіаційної метеорології: Навчальний посібник – Одеса: Вид-во «Екологія», 2006.
7. Баранов А.М., Лещенко Г.П., Белоусова Л.Ю. Авиационная метеорология и метеорологическое обеспечение полетов: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 287 с
8. Gleissman, Stephe (2007). Agroecology: the ecology of sustainable food systems. CRC Press. p. 73. ISBN 0849328454
9. "Fog – AMS Glossary". Archived from the original on 27 March 2013. Retrieved 16 March 2013.
10. Karukstis, K. K., Van Hecke, G. R. (2003). Chemistry connections: the basis of everyday phenomena. Academic Press. p. 23. ISBN 0124001513.
11. Johnson, J.C., 1954: Physical Meteorology. The Massachusetts Institute of Technology and John Wiley & Sons, Inc., 393 pp.
12. Marshall, T., Hoadley, D. (1995). Storm Talk. Tim Marshall
13. Воробьев В.И Синоптическая метеорология. – Л.:Гидрометеоиздат, 1991.
14. Керівництво по короткостроковим прогнозам погоди.,- Л.:Гидрометеоиздат 1986-180с.

15. Bergot T, Escobar J, Masson V (2015) Effect of small-scale surface heterogeneities and buildings on radiation fog: large-eddy simulation study at Paris-Charles de Gaulle airport. *Q.J.R Meteorol Soc* 141. – P. 285-298.
16. Mark R. Mireles, Capt Kirth L. Pederson, MSgt Charles H. Elford. *Meteorological Techniques*, 13 June 2003.
17. Frost.R. *Circulation of night minimum temperature*. London. 1948
18. Croft, P.J., R. Pfof, J. Medlin, and G. Johnson, 1997: Fog forecasting for the Southern Region: A conceptual model approach. *Wea. Forecasting*, 12, 545-556.
19. Mason, J., 1982: Physics of radiation fog. *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 486-499.
20. *Advisory Circular. Aviation Weather. Federal Aviation*
21. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. *Вероятные метеорологические прогнозы* Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 218 с.
22. Izett J.G., vande Wiel B.J.H., Baas P., Bosveld F.C. *Understanding and Reducing False Alarms in Observational Fog Prediction // Boundary-Layer Meteorology*. – 2018. – Vol. 169, Issue 2. – P. 347-372.
23. Зверев А.С. *Синоптическая метеорология и основы предвычисления погоды* – Л.: Гидрометеиздат, 1968.
24. Берлянд М.Е. и др. *Туманы*. Л.: Гидрометеиздат. 1990.
25. ROACH, W.T. (1994): Back to basics: Fog: Part 1- Definitions and basic physics. *Weather*, Vol. 49, p. 411 - 415.
26. Houghton, H.G., 1985: *Physical Meteorology*. The MIT Press, 442 pp.
27. Cox, Robert E. *Applying Fog Forecasting Techniques using AWIPS and the Internet Archived 29 October 2007 at the Wayback Machine*. National Weather Service, 2007.
28. Geiger, R., 1965: *The Climate Near the Ground*. Harvard University Press, 611 pp.
29. Holtslag M.C., Steeneveld G.J., Holtslag A.A.M. *Fog forecasting: “old fashioned” semi-empirical methods from radio sounding observations versus “modern” numerical models // 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Münster, Germany, 25-30 July 2010. – Münster: Fog & Dew, 2010. 1-4 p.*
30. George, J.J., 1960: *Weather Forecasting for Aeronautics*. Academic Press, 673 pp.
31. Houze, R.A. Jr., 1993: *Cloud Dynamics*. Academic Press, Inc., 573 pp.

32. Roach, W.T., 1994: Back to basics: Fog: Part 1 - Definitions and basic physics. *Weather*, 49, 411-415.
33. Roach, W.T., 1995: Back to basics: Fog: Part 2 - The formation and dissipation of land fog. *Weather*, 50, 7-11.
34. Meteorological Techniques: Technical Note / authors: Capt Maria L. Reymann, Capt Joseph F. Piasecki, MSgt Fizal Hosein, MSgt Salinda A. Larabee, TSgt Gregg T. Williams, TSgt Mike Mc Aleenan, Mr. Michael A. Jimenez, Ms. Deborah F. Chapdelaine. – USA: Air Force Weather Agency (AFWA), Offutt AFB NE. – 13 Feb 2012. –220-229 p.
35. Методичні рекомендації для прогнозу небезпечних явищ погоди М. Воєніздат, 1988.
36. Волконский Ю.Н. Синоптическая метеорология и специальные прогнозы погоды. Л.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1973. – 516 с.
37. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. Л.: Гидрометеиздат. 1985.
38. Скирда И.А., Авиационные прогнозы погоды. М.Воєніздат.1995
39. Dejmál, K., Repal, V., Implementation of methods for the radiation fog prediction. *International Journal of Energy and Environment*, 2010, Vol. 4, No. 3, pp. 79-87. ISSN 1109-9577.
40. Скирда И.А. Авиационные прогнозы погоды. Ч. 1. Воронеж: ВВВАИУ, 1989.

## ДОДАТКИ

Додаток А

ДОВІДКА

кафедри військової підготовки  
до магістерської роботи  
курсанта МВМ-19 Івана ПЕРЕХОДА  
на тему:

«Адаптація методу прогнозу часу виникнення радіаційного туману  
методу А.С. Зверева для території України»

1. Доповідь на студентській науковій конференції 17 квітня 2019 р. за темою «Адаптація методу А.С. Зверева прогнозу часу виникнення туману для ст. Харків» та публікування тез доповіді за результатами конференції на сайті ОДЕКУ [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Tezi-studentska-konferentsiya-2019.pdf>

2. Участь в студентській науковій конференції молодих вчених 12 березня 2020 р. за темою: «Адаптація методу А.С. Зверева прогнозу часу виникнення туману для ст. Львів»

3. Доповідь на конференції молодих вчених 29 травня 2020 року за темою: «Адаптація методу А.С. Зверева прогнозу часу виникнення туману для території України» та публікування тез доповіді за результатами конференції на сайті ОДЕКУ [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Tezi-studentska-konferentsiya-2020.pdf>

Керівник магістерської роботи  
підполковник



Сергій РОМАНЕНКО

## Додаток Б

Таблиця Б1- Результати розрахунку долі ночі та відношення температури утворення туману до нічного зниження температури для ст. Харків

$\Delta T_t/\Delta T_n$	Доля ночі	$\Delta T_t/\Delta T_n$	Доля ночі
0,578947	0,51208285	0,4	0,463002
0,308824	0,3533123	0,171429	0,27141
0,458333	0,56210526	0,512821	0,483193
0,538462	0,7394958	0,358974	0,472803
0,333333	0,52476573	0,531915	0,563674
0,317073	0,70481928	0,465116	0,798507
0,28	0,57056452	0,7	0,528975
0,27451	0,329718	0,952381	0,569364
0,4	0,29672447	0,645161	0,284062
0,487179	0,51403509	0,645161	0,663739
0,176471	0,0331825	0,5	0,763505
0,692308	0,449069	0,510204	0,446903
0,473684	0,20547945	0,585714	0,514254
0,473684	0,43578947	0,552632	0,450811
0,473684	0,33333333	0,512821	0,464921
0,5	0,59685864	0,869565	0,602358
0,421053	0,56480506	0,967742	0,602888
0,571429	0,60570825	0,4375	0,507282
0,333333	0,27783903	0,269231	0,226611
0,473684	0,27355278	0,952381	0,830075
0,470588	0,58207218	0,833333	0,721445
0,612903	0,45649583	0,487805	0,579747
0,37931	0,33212996	0,508475	0,761905
0,435897	0,32375	0,538462	0,517647



Таблиця Б2 - Результати розрахунку долі ночі та відношення температури утворення туману до нічного зниження температури для ст. Львів

$\Delta T_{\tau}/\Delta T_{\text{н}}$	Доля ночі	$\Delta T_{\tau}/\Delta T_{\text{н}}$	Доля ночі
0,27605	0,54717	0,311706	0,365011
0,361366	0,692022	0,333176	0,667311
0,407928	0,46831	0,480125	0,599617
0,419346	0,5	0,260235	0,552102
0,390204	0,423754	0,474043	0,369253
0,573842	0,19457	0,780667	0,617816
0,573842	0,59276	0,808582	0,786704
0,969181	0,794582	0,474043	0,799486
0,33481	0,747717	0,919842	0,860441
0,303971	0,14186	0,573842	0,658324
0,142341	0,165217	0,54515	0,973684
0,267999	0,5	0,168885	0,329657
0,132171	0,141192	0,54441	0,422977
0,31531	0,484456	0,565747	0,959834
0,378171	0,624454	0,398619	0,263305
0,294597	0,574501	0,232451	0,345736
0,232451	0,497951	0,115547	0,1609
0,320879	0,617476	0,341486	0,787645
0,619511	0,956954	0,340045	0,457557
0,739289	0,843391	0,260235	0,334694
0,808582	0,740988	0,425	0,55627
0,699448	0,79927	0,352968	0,459459
0,861356	0,679825	0,780667	0,72782
0,778786	0,793991	0,595938	0,54386
0,778786	0,891374	0,888886	0,849206
0,593916	0,178186	0,617632	0,762274
0,874306	0,695747	0,63629	0,836108
0,324745	0,362864	0,573842	0,49732
0,436843	0,425216	0,560843	0,31761
0,399625	0,857143	0,996343	0,860759
0,306704	0,695597	0,695596	0,611289
0,534817	0,770745	0,213784	0,357401
0,466767	0,523338	0,188887	0,366505
0,370307	0,27735	0,260235	0,297092
0,220828	0,348112	0,333176	0,574866
0,493812	0,71308	0,481897	0,326843
0,350359	0,639913	-	-

Таблиця Б3 - Результати розрахунку долі ночі та відношення температури утворення туману до нічного зниження температури для ст. Київ

$\Delta T_t/\Delta T_n$	Доля ночі	$\Delta T_t/\Delta T_n$	Доля ночі
0,248016	0,629167	0,64172	0,80733
0,533746	0,730208	0,298931	0,346194
0,447299	0,571875	0,390572	0,709034
0,33481	0,26096	0,33481	0,481442
0,33481	0,886911	0,466128	0,452278
0,33481	0,660358	0,33481	0,587248
0,595938	0,794118	0,231977	0,656144
0,316707	0,648128	0,298931	0,963719
0,231977	0,58443	0,518334	0,208831
0,231977	0,320879	0,216462	0,818294
0,28153	0,717751	0,201499	0,762797
0,231977	0,188053	0,28153	0,362565
0,316707	0,818898	0,216462	0,503794
0,201499	0,752392	0,187114	0,698545
0,231977	0,546667	0,231977	0,753602
0,231977	0,68059	0,33481	0,241283
0,231977	0,599004	0,33481	0,427012
0,248016	0,776382	0,533746	0,165563
0,12459	0,820467	0,298931	0,651656
0,135784	0,662879	0,390572	0,807792
0,33481	0,195471	0,564841	0,589217
0,33481	0,602273	0,726371	0,173536
0,33481	0,860045	0,777705	0,738943
0,33481	0,581764	0,626635	0,483791
0,316707	0,53187	0,264545	0,657516
0,231977	0,842593	0,316707	0,908016
0,160169	0,639151	0,397494	0,364123
0,248016	0,797516	0,231977	0,378492
0,248016	0,7525	0,104262	0,400341
0,533746	0,94473	0,114079	0,39726
0,17333	0,884903	0,147648	0,803002
0,298931	0,050595	0,114079	0,731076
0,33481	0,247717	0,147648	0,871965
0,595938	0,566038	0,12459	0,211454

Таблиця Б4 - Результати розрахунку долі ночі та відношення температури утворення туману до нічного зниження температури для ст. Одеса

$\Delta T_t/\Delta T_n$	Доля ночі	$\Delta T_t/\Delta T_n$	Доля ночі
0,98544	0,9106796	0,6362902	0,6052174
0,97848	0,9145631	0,67499	0,7803163
0,6362902	0,9402697	0,4125119	0,8433515
0,5631739	0,4846154	0,60656	0,6142035
0,2894437	0,2598967	0,4246276	0,611418
0,2191215	0,3013699	0,5804151	0,5507745
0,2046296	0,2640545	0,2014985	0,4276094
0,1155467	0,3424879	0,88458	0,862069
0,648844	0,5520505	0,55496	0,5614308
0,1398967	0,3619345	0,1499667	0,5884956
0,794856	0,7971919	0,618486	0,6368564
0,1507578	0,0942813	0,2264314	0,4835742
0,65658	0,683153	0,2264314	0,3481481
0,1076907	0,4646154	0,0795009	0,2731278
0,1237094	0,3744292	0,754664	0,6004415
0,54648	0,5159332	0,1739262	0,4456763
0,59564	0,7207891	0,1076907	0,2361111
0,598685	0,6762178	0,651486	0,6230599
0,1196894	0,3904494	0,1592882	0,3845291
0,51626	0,537234	0,1847305	0,4459459
0,0620241	0,2186495	0,8508209	0,7683246
0,0933944	0,4640172	0,6764089	0,6039474
0,3330911	0,1706263	0,5280321	0,4124668
0,1693692	0,1703786	0,8743061	0,98455
0,2527773	0,1258427	0,86151	0,8192253
0,1862088	0,3946136	0,564841	0,2272069
0,1989419	0,4988263	0,4777215	0,4832606
0,3153101	0,4275618	0,6362902	0,7344214
0,1423407	0,2418546	0,617632	0,9556962
0,4221028	0,6726343	0,95354	0,9713831
0,9085833	0,854083	0,9691806	0,941485
0,3167065	0,3870968	0,9421563	0,94641
0,79596	0,8941176	0,966692	0,8239564
0,3055511	0,2971138	0,3740355	0,156448