МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК

до практичних робіт та виконання курсового проекту з дисципліни
«МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ»
(атмосферне повітря)

для бакалаврів 4 року навчання заочної форми
спеціальності 101 «Екологія»

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 8 від «25» 05 2022 р.
Голова групи _____ Чугай А.Н.

Затверджено
на засіданні кафедри ЕОВ
Протокол № 9 від «17» травня 2022 р.
Завідувач кафедри _____ Сафранова Т.А.

Одеса 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК

до практичних робіт та виконання курсового проекту з дисципліни
«МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ»
(атмосферне повітря)
для бакалаврів 4 року навчання заочної форми
спеціальності 101 «Екологія»

Затверджено на засіданні групи
забезпечення спеціальності
Протокол № _____8_____
від «_15__» ____05_____ 2022р.

Одеса – 2022

Збірник методичних вказівок до практичних робіт та виконання курсового проекту з дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля» (атмосферне повітря) для бакалаврів 4 року навчання заочної форми спеціальності 101 «Екологія». / Чернякова О.І., Грабко Н.В., Наконечна З.В. Одеса, ОДЕКУ, 2022. 71 с.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ 5
ВСТУП 7
1 СИНОПТИКО-СТАТИСТИСТИЧНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУ ЗАБРУДНЕНННЯ ПОВІТРЯ У МІСТІ……. 8
1.1 Метеорологічні аспекти розсіяння домішок в атмосфері..... 8
1.2 Загальна характеристика методів прогнозу забруднення атмосфери..... 14
1.3 Процедура вибору предиктанта та формування складу предикторів..... 16
1.4 Підготовка вихідних даних для розрахунків..... 20
2 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1 …… 23
2.1 Прогнозування забруднення повітря методом лінійного регресійного аналізу 23
2.2 Процедура перевірки адекватності моделі..... 27
2.3 Завдання щодо виконання практичної роботи №1…… 30
2.4 Приклад розрахунку…… 31
3 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2……... 40
3.1 Прогнозування забруднення повітря методом розпізнавання образів……. 40
3.2 Завдання щодо виконання практичної роботи №2……. 43
3.3 Приклад розрахунку……. 44
4 РОЗЯСНЕННЯ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ…… 50
ДОДАТОК А..... 61
ДОДАТОК Б..... 63
ДОДАТОК В..... 67
ДОДАТОК Г..... 68
ДОДАТОК Д..... 69

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗА - забруднення атмосфери
ЗП - забруднення повітря
КП – курсовий проект
МНК – метод найменших квадратів
МПР - метод покрокової регресії
МРО - метод розпізнавання образів
НМУ - несприятливі метеорологічні умови

ВСТУП

Мета методичних вказівок полягає в формуванні у студентів теоретичних знань і практичних навичок у сфері математичного моделювання реальних процесів розповсюдження шкідливих домішок у довкіллі, складання прогнозів його забруднення та застосування їх для регулювання техногенних викидів підприємств до навколишнього середовища.

Компетентність - здатність прогнозувати стан окремих складових навколишнього природного середовища, у т.ч. із використанням методів математичного моделювання

Задачі методичних вказівок: надання допомоги у підготовці до виконання практичних робіт та написання курсового проекту. Вони дозволяють студентам заочної форми навчання самостійно опрацювати теоретичний матеріал та сформувати необхідні практичні навички.

Результат навчання – знання понятійного апарату та загальних принципів моделювання і прогнозування стану довкілля, уміння обирати та використовувати методи математичного моделювання та прогнозування стану довкілля.

Методичні вказівки складаються з таких частин:

- *скорочення та умовні познаки;*
- *загальні теоретичні відомості про синоптико-статистичні методи прогнозу забруднення повітря у місті;*
- *дві практичні роботи;*
- *роз'яснення до виконання та оформлення курсового проекту.*

Для перевірки ступеню засвоєння матеріалу в кінці теоретичних розділів наведені питання для самоконтролю, які дозволять студенту самостійно визначити ступінь засвоєння матеріалу.

Виконання курсового проекту є вибірковою складовою навчального плану. В рамках дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля» студентам також надається право вибору написання курсового проекту по одному з двох напрямків - "Синоптико-статистичний прогноз забруднення атмосфери методом лінійної регресії " чи "Розрахунок розповсюдження нафти у морі при її аварійних розливах ".

Результатом виконання першої практичної роботи є оформлення та захист курсового проекту при виборі його по напрямку “Синоптико-статистичний прогноз забруднення атмосфери методом лінійної регресії ”, а по результатам другої практичної роботи необхідно скласти письмовий звіт та також пройти процедуру його захисту.

Студенти, у яких в навчальному плані немає курсового проекту, виконують дві практичні роботи, а по результатам оформлюють письмовий звіт та проходять процедуру захисту. Письмовий звіт для кожного практичного модуля складається окремо, причому роботи необхідно переслати для перевірки на електронну почту кафедри екології та охорони довкілля, яка спеціально створена для офіційної реєстрації СРС заочної форми навчання по дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля» - **4k.modeluv.eaepek.kra@gmail.com** чи прикрипіти звіти в системі електронного освітнього ресурса (ЕОР) Moodle (**http://dpt09s.odeku.edu.ua/**) для перевірки викладачем та оцінювання. Письмовий звіт для кожного практичного заняття оформлюється по аналогії з прикладом розрахунку, який наведено для кожної практичної роботи. Приклад оформлення письмового звіту наведено в Додатку Д.

Всього за практичну частину дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля (атмосфера)» студент може отримати **40 балів**, причому **30 балів** складає оцінка захисту курсового проекту за умови своєчасного виконання завдання на дату запланованого контролюючого заходу та **10 балів** за другу практичну роботу.

Наприкінці методичних вказівок наводиться перелік посилань на літературні джерела, які також можна використовувати при підготовці до практичних занять та виконання курсового проекту.

Більш повну методику оцінювання наведено в силлабусі для цієї дисципліни.

Збірник методичних вказівок складено відповідно до силлабусу з дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля» для студентів спеціальності 101 «Екологія».

1 СИНОПТИКО-СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ У МІСТІ

1.1 Метеорологічні аспекти розсіяння домішок в атмосфері

Захист атмосфери від забруднення в умовах потужної урбанізації та індустріалізації став однією із найбільш актуальних сучасних проблем.

Задача моделювання процесів розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері і прогнозування стану рівня забруднення базується на урахуванні метеорологічних умов забруднення повітря.

Перенос і розсіювання домішок, що надходять в атмосферу, залежить від безлічі факторів і, у першу чергу, від термодинамічного стану пограничного шару атмосфери. Ці умови характеризуються режимом вітру, термічною стратифікацією повітря, наявністю ряду атмосферних явищ.

У залежності від типу джерела викиду, вітер може по-різному впливати на перенос шкідливих речовин. Відзначаються два максимуми концентрацій, що зв'язані з внеском двох груп джерел.

При штилі основний вклад у забруднення повітря вносять низькі викиди. Саме тому штильовий максимум найбільш виражено взимку, коли внаслідок зниженого турбулентного обміну ослаблене розсіювання низьких і надходження в приземний шар високих викидів.

Посилення другого максимуму (при швидкості вітру від 4 до 7 м/с) улітку зв'язано з конвективними умовами , які часто спостерігаються у цей період та при яких має місце інтенсивне надходження до землі викидів від високих джерел. Найбільші концентрації формуються біля поверхні землі при деякій швидкості Uм, що називають "небезпечною". Її значення залежать від типу джерел викиду і визначається для перегрітих джерел через параметр

$$v_m = 0.65\sqrt[3]{\frac{V\Delta T}{H}} \quad ; \qquad (1.1)$$

де V ($м^3/с$) - витрата газоповітряної суміші, яка розраховується по формулі

$$V = \frac{\pi D^2 \omega_0}{4} \qquad (1.2)$$

де D - діаметр устя джерела викиду, м;

ω_0 - середня швидкість виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду, м/с;

ΔT - різниця між температурою газоповітряної суміші $T_г$ що викидається і температурою навколишнього атмосферного повітря Тв.

H - висота труби, м.

Значення небезпечної швидкості вітру u_m (м/с) на рівні флюгера (за звичай 10м від рівня землі) визначається для перегрітих викидів по формулах:

$$u_m = 0.5 \quad \text{при} \quad v_m \le 0.5; \qquad (1.3)$$

$$u_m = v_m \quad \text{при} \quad 0.5 < v_m \le 2; \qquad (1.4)$$

$$u_m = v_m \left(1+0.12\sqrt{10000\frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T}}\right) \quad \text{при} \quad v_m > 2; \qquad (1.5)$$

Для холодних викидів u_m розраховується через параметр

$$v'_m = 1.3\frac{\omega_0 D}{H}; \qquad (1.6)$$

по формулах

$$u_m = 0.5 \quad \text{при} \quad v'_m \le 0.5; \qquad (1.7)$$

$$u_m = v'_m \quad \text{при} \quad 0.5 < v'_m \le 2; \qquad (1.8)$$

$$u_m = 2.2\, v'_m \quad \text{при} \quad v'_m > 2. \qquad (1.9)$$

Коли основний вклад вносять низькі джерела викидів, то підвищений рівень забруднення повітря в районі викиду відзначається при слабких вітрах (0-1м/с) за рахунок накопичення домішок у приземному

шарі. За даними, отриманими Берляндом М.Є. і Безуглою Е.Ю. [1,2], як правило концентрації домішок при вітрі швидкістю 0-1 м/с на 30-70% вище, ніж при інших швидкостях. Однак Сонькін Л.Р., Разбегаєва Е.А. і ін. знайшли два максимуми швидкості вітру, при яких відбувається зростання вмісту інгредієнтів в атмосфері [3]. Другий максимум (при швидкостях 3 - 6 м/с) Берлянд М.Е. пояснює викидами найбільш високих джерел (рис. 1.1) [1].

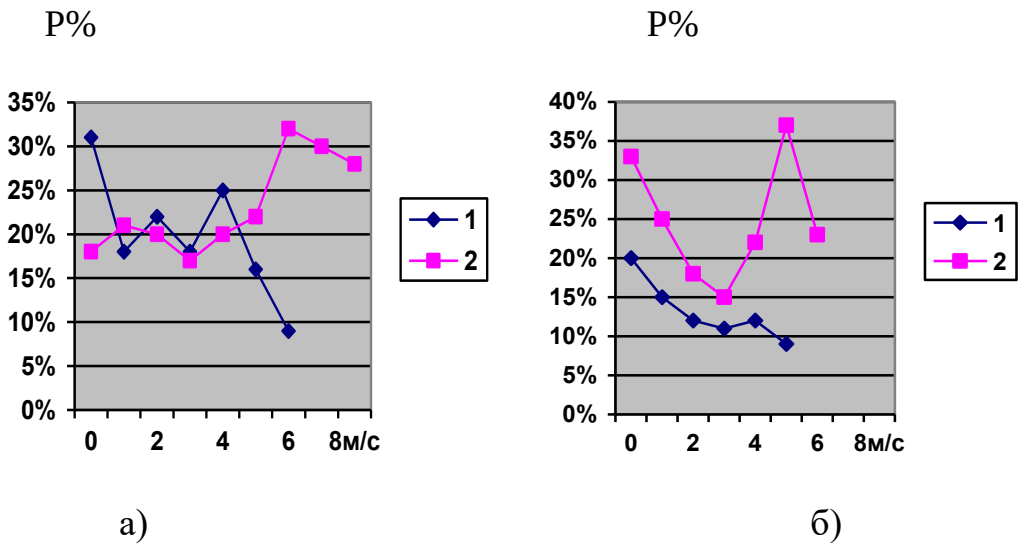

Рисунок 1.1 - Повторюваність P(%) підвищених концентрацій SO_2 (а) і пилу (б) при різних швидкостях вітру в холодний (1) і теплий (2) періоди [3]

Істотний вплив на рівень забруднення повітря в містах має напрямок вітру. Збільшення концентрацій домішок у місті з зосередженою промисловою площадкою спостерігається тоді, коли відзначаються вітри з боку промислових об'єктів.

До основних факторів, що визначають розсіювання домішок, відноситься стратифікація атмосфери, у тому числі інверсія температури (підвищення температури повітря з висотою). Інверсії ослаблюють вертикальний обмін повітря. Якщо шар підвищеної інверсії розташовується безпосередньо над джерелом викидів, то в приземному шарі атмосфери створюються небезпечні умови забруднення, тому що інверсійний шар обмежує підйом викидів і сприяє їхньому накопиченню в приземному шарі. Якщо шар підвищеної інверсії розташовано на досить

великій висоті від труб підприємств, то концентрація домішки буде істотно менше. Шар інверсії, розташований нижче рівня викидів, перешкоджає переносу їх до земної поверхні (рис.1.2). Вивчення питання про вплив інверсій на концентрацію шкідливих домішок в атмосфері промислових міст показало, що при наявності інверсійного шару домішок у повітрі на 10-60% більше, ніж при його відсутності [2].

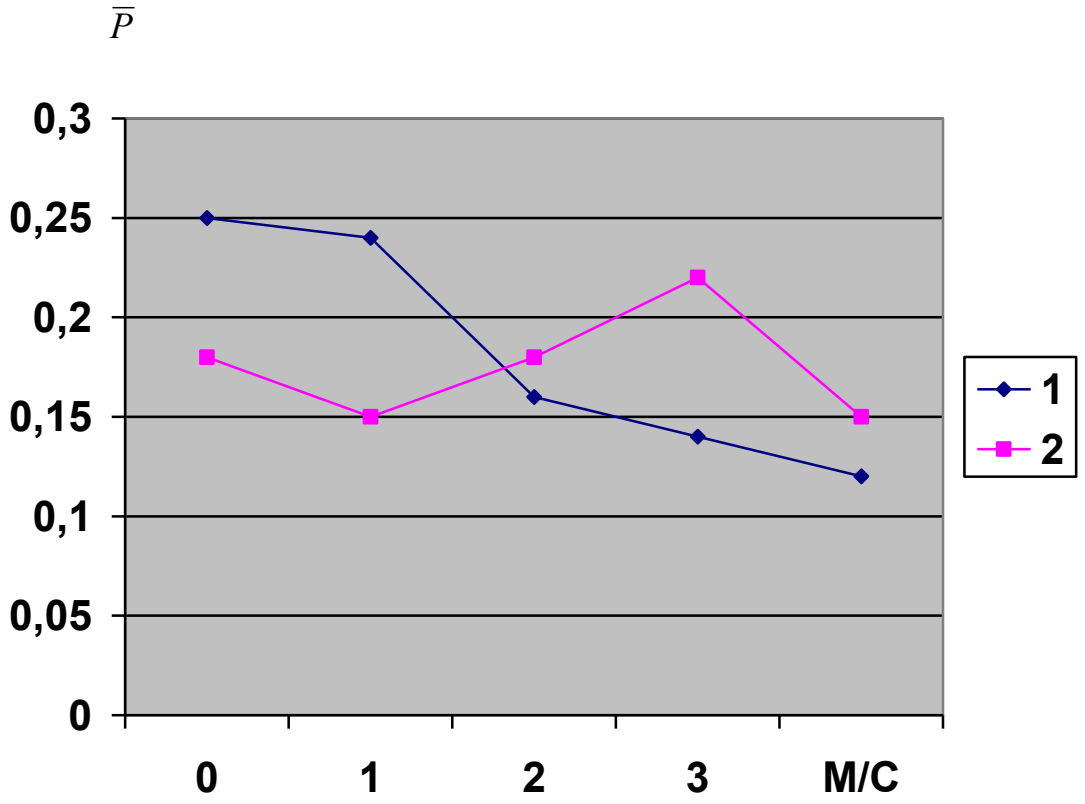

Рисунок 1.2 - Залежність параметра $\overline{P}$ від швидкості вітру при наявності (1) і відсутності (2) приземної інверсії [3]

Треба відмітити, що вплив інверсійних шарів на важкі домішки (пил, сажа, сульфати й інші аерозолі) виявляється слабше, ніж на легкі, і зі збільшенням розміру часток цей вплив зменшується. Інверсії мають більший вплив на холодні викиди внаслідок їх малого початкового підйому.

Зі слабкими швидкостями вітру і стійким станом атмосфери зв'язують епізоди значного забруднення повітря від низьких джерел. Таку ситуацію (приземна інверсія температури в поєднанні зі слабким вітром 0-1 м/с) прийнято називати "застій повітря". Умови застою звичайно

зв'язані з великомасштабними атмосферними процесами, найчастіше з антициклонами, при яких у прикордонному шарі атмосфери спостерігаються слабкі вітри і формуються приземні радіаційні інверсії. Довідка про комплекс аномально небезпечних метеорологічних умов надана у табл.1.1

Поряд з антициклонічним типом синоптичних ситуацій, при якому звичайно відзначаються максимальні концентрації інгредієнтів, виділяють також циклонічне (теплий сектор) і проміжне поле (периферія циклонів і антициклонів) [3]. Розвиті циклони протягом усього року сприяють очищенню міського повітря від шкідливих домішок. Ефект підвищеного забруднення в стаціонарних антициклонах виявляється узимку значно більше, ніж улітку. Очевидно, це зв'язано з відсутністю в літню пору року потужних інверсій. Чим вище середній рівень забруднення повітря, тим більше небезпека високих значень концентрацій у стаціонарних антициклонах. Таким чином, умови застою більш небезпечні для міста з високим рівнем забруднення атмосфери.

Таблиця 1.1 - Аномально небезпечні метеорологічні умови для основних груп джерел викидів

Характеристика викидів	Швидкість вітру (м/с) на рівні		Вертикальний турбулентний обмін в нижньому шарі	Інверсія
	флюгеру	викидів		
Гарячий високий	3-7 штиль	7-12 7-12	Підвищений Підвищений	Підвищена
Холодний високий	Штиль 1-2	2-4 2-4	Підвищений Підвищений	Підвищена
Низький	Штиль	Штиль	Знижений	Приземна

На забруднення повітря також впливають тумани, опади і радіаційний режим. Атмосферні домішки видозмінюються в процесі взаємодії з водяними краплями туманів, хмар, опадів. Домішки частково поглинаються водяними краплями, а при їхньому розчиненні іноді утворюються більш токсичні речовини. Гігроскопічні аерозолі, які мають

електричний заряд з більшою швидкістю вимиваються з хмари, тому що волога осаджуючись на аерозолях тим самим збільшує їхні розміри і швидкість гравітаційного осадження.

Наявність туману призводить до того, що в його краплях концентруються не тільки домішки, які знаходяться поблизу підстилаючої поверхні, але і ті, які містяться у вище розташованих шарах повітря внаслідок збільшення дифузійного потоку домішки зверху вниз. Краплі туману як би акумулюють домішки зі значного шару атмосфери, що істотно збільшує забруднення повітря поблизу підстилаючої поверхні, та сприяє очищенню вище розташованих шарів атмосфери. Так, за даними спостережень у ряді міст, середня концентрація домішок під час туману на 40-110% вище, ніж до його утворення [1]. У багатьох промислових центрах відзначається збільшення повторюваності туманів, що в значній мірі обумовлено посиленням антропогенного навантаження. При цьому розчинення сірчистого газу в краплях туману приводить до утворення більш токсичної сірчаної кислоти.

Відмінність дифузії домішки при опадах, у порівнянні з туманами і хмарами, в основному, обумовлена більш великим розміром крапель і тому їхнім більш швидким випадінням. Найбільш інтенсивне вимивання елементів відбувається при випаданні перших 3-4 мм опадів, далі значного зменшення концентрації не відзначається. Зливові опади очищають повітря сильніше, ніж обложні. Опади, що випадають у виді снігу, у 3 - 4 рази ефективніше вимивають аерозолі, чим дощ, що обумовлено великою поверхнею сніжинок і меншою швидкістю їхнього падіння. Так, при одній і тій же інтенсивності опадів у сніговій воді сульфатів і нітратів міститься в кілька разів більше, ніж у дощовий. Таким чином, опади зменшують фонове забруднення повітря в місті, що є результатом сумарної дії всіх джерел домішок.

Сонячна радіація обумовлює фотохімічні реакції в атмосфері чим сприяє формуванню різних вторинних продуктів, яким властиві часто більш токсичні якості, чим тим речовинам, що надходили від джерел викидів. Так, у процесі фотохімічних реакцій в атмосфері відбувається окислювання сірчистого газу з утворенням сульфатних аерозолів. У результаті фотохімічного ефекту в ясні сонячні дні в забрудненому повітрі формується фотохімічний смог.

На підставі аналізу матеріалів спостережень у ряді міст [3] виявили сильний вплив на рівень забруднення атмосфери інерційного фактору. Тобто, значення показника фонового забруднення (Р) істотно залежить від значення показника фонового забруднення (Р') у попередні дні (коефіцієнт кореляції між Р сусідніх днів 0,5 - 0,8). Інерційний фактор зв'язаний з «метеорологічною інерцією», тобто з тенденцією до збереження тих метеорологічних умов, що визначають рівень змісту домішок у повітрі.

1.2 Загальна характеристика методів прогнозу забруднення атмосфери

Вивчення метеорологічних умов забруднення повітря – це основа для його прогнозування, тому що завдання складається з того, щоб одержувати надійні характеристики з використанням яких можна запобігти формуванню високих рівнів концентрацій при несприятливих метеорологічних умовах (НМУ).

Доцільно проводити розробку прогнозу забруднення повітря двох видів : у районі окремих джерел і по місту в цілому.

Методи прогнозування забруднення повітря по місту в цілому основані на результатах аналізу впливу метеорологічних та синоптичних умов на формування полів концентрацій домішок.

Врахування конкретних особливостей механізму забруднення повітря досягається завдяки тому, що прогностичні схеми складаються по матеріалам спостережень у кожному місті окремо по сезону, а також (по можливості) для означеного часу доби.

Для найбільш повного обліку фізичного процесу забруднення атмосфери у місті (вибір предикторів) потрібно враховувати асинхронність зв'язків між концентраціями домішок та метеорологічними параметрами: спочатку встановлюються конкретні метеорологічні умови і тільки через деякий час формується відповідний їм рівень забруднення повітря. При використанні у прогностичних схемах метеорологічних параметрів за попередній проміжок часу може відпасти необхідність прогнозування значень предикторів, що в свою чергу приводить до зменшення помилок прогнозу забруднення.

Один з варіантів схем прогнозу, який часто використовується у практиці - це використання метеорологічних предикторів у ранні ранкові години (з трьох до шести за місцевим часом) і покажчика забруднення повітря першу половину дня чи за день.

Велике значення має вибір методу, який дозволив би максимально врахувати реальний вид характеру зв'язків між концентраціями та метеорологічними факторами. Для прогнозування забруднення повітря по місту в цілому необхідно попередньо обробити фактичні матеріали спостережень по конкретному місту за попередні роки

Аналіз різних комбінацій метеорологічних умов за попередню добу та рівня забруднення у наступну добу та по даним спостережень за ряд років дозволили отримати правила прогнозу забруднення повітряного басейну міста [5]. Справджуваність такого прогнозу у деяких містах досягає 90%.

Забруднення повітря також можливо прогнозувати методом схожості конкретної ситуації з ситуацією, характерної для будь-якої групи забруднення – підвищеного, середнього або зниженого. Справджуваність прогнозів по даному методу у більшій кількості міст склала 75%. Достоїнством даного методу є краще врахування реального виду зв'язків між покажчиками забруднення повітря та метеорологічними факторами. Недоліком є те, що при складних зв'язках (наприклад , при наявності двох максимумів забруднення у залежності від швидкості вітру) в одну групу попадають суттєво різні значення предикторів. Тому при використанні методу розпізнавання образів (МРО) найкраще вибирати такі предиктори, з якими зв’язок є монотонний.

Метод послідовної графічної регресії дозволяє найбільш повно врахувати відомі закономірності та виявлені по матеріалам спостережень в конкретних містах зв'язки між концентраціями домішок у повітрі і метеорологічними параметрами. При використанні даного методу на першому етапі будуються попередні графіки, на кожному з двох предиктантів. Далі графіки парами об'єднуються до отримання останнього графіка. На ньому предиктант представлено функцією усіх предикторів. Кількість предикторів не обмежується, а вигляд зв'язку між ними та характеристиками забруднення повітря не має значення. Справджуваність прогнозів при використанні методу послідовної графічної регресії 72 - 84%.

У випадку, якщо існує **<u>лінійний зв'язок</u>** між окремими предикторами та предиктантом, при створенні прогностичної моделі використовують метод лінійного регресійного аналізу. Справджуваність прогнозів при використанні даного методу складало для деяких міст 93% на залежному матеріалі та 80% - на незалежному. Суть методу складається у знаходженні предикторів, які мають з предиктантом найбільш значний кореляційний зв'язок. Потім частіше усього методом найменших квадратів (МНК) розраховують коефіцієнти регресії і одержують лінійне регресійне рівняння. Регресійну прогностичну модель частіше усього будують методом покрокової регресії (МПР).

1.3 Процедура вибору предиктанта та формування складу предикторів

Для статистичних прогнозів <u>предиктантом</u> (прогнозованим показником) найчастіше є усереднені у часі та просторі характеристики забруднення повітря, а не одиничні концентрації. Фонове забруднення характеризується узагальненими інтегральними показниками вмісту шкідливих домішок по місту в цілому. Такі характеристики менш підлягають випадковим відхиленням, ніж концентрації в окремих точках міста. Вони менше залежать від режиму викидів та в основному визначаються метеорологічними факторами і термодинамічними умовами розсіяння домішок у атмосфері. Тому доцільно для складання короткострокових прогнозів у якості <u>предиктанта</u> взяти один з показників фонового забруднення (середнє значення концентрації інгредієнта, обчислене за даними вимірювань за добу, нормованих на середньосезонну концентрацію - нормована безрозмірна $\tilde{q}$ чи параметр Сонькина Р).

Найпоширенішим з інтегральних показників є середнє значення концентрації інгредієнта, обчислене за даними вимірювань у конкретний строк (або за добу) в усіх точках міста, нормованих на середньосезонну концентрацію:

$$\tilde{q} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{q_i}{\overline{q}c_i}, \qquad (1.10)$$

де N - число контрольно-вимірювальних постів (КВП) у місті,;

q_i - середньодобова концентрація домішки на і-му КВП;

$\overline{q}_{ci}$ - середньосезонна концентрація домішки на і-му КВП.

Якщо розрахунок виконується за даними, для яких вже розраховані середньомісячні концентрації інгредієнтів, середньосезонна концентрація $\overline{q}_{ci}$ визначається як середнє з трьох середньомісячних концентрацій інгредієнтів на і-му КВП певного сезону.

Наприклад для літа:

$$\overline{q}_{ci} = \frac{\overline{q}_{6i} + \overline{q}_{7i} + \overline{q}_{8i}}{3}. \qquad (1.11)$$

Залежно від значення параметра $\tilde{q}$ розрізняють чотири класи фонового забруднення повітря. Характеристика класів забруднення приведена у табл.1.2

Таблиця 1.2 – Характеристика класів фонового забруднення ($\tilde{q}$)

Клас забруднення	Кількісне значення параметру	Якісна оцінка забруднення
1	$\tilde{q} \geq 1,5$	Високе
2	$1,0 \leq \tilde{q} < 1,5$	Підвищене
3	$0,6 \leq \tilde{q} < 1,0$	Знижене
4	$\tilde{q} < 0,6$	Слабке

Л.Р. Сонькин [1] запропонував ще один інтегральний показник забруднення повітря:

$$P = \frac{m}{n}, \qquad (1.12)$$

де n - загальна кількість спостережень за концентрацією домішки протягом доби на всіх КВП міста;

m - кількість спостережень протягом цієї самої доби з концентраціями q (разовими), що перевищують середньосезонну величину $\bar{q}_{ci}$ більш, ніж у 1,5 рази.

Щоб отримати щоденні значення параметра *P*, заздалегідь обчислюють середньосезонні значення концентрацій для кожного стаціонарного пункту вимірювань окремо для кожної домішки.

Параметр *P* може змінюватися від одиниці (якщо всі вимірювані концентрації перевищують більш ніж у 1,5 рази середньосезонну концентрацію) до нуля (жодна з концентрацій її не перевищує).

Для розрахунку параметра *P* та його використання як характеристики фонового забруднення повітря необхідно дотримуватися двох умов:

- кількість КВП у місті має бути не меншою від трьох;
- кількість спостережень за концентраціями домішок у повітрі на всіх пунктах протягом доби має бути не меншою за 20.

Залежно від значення *P* розрізняють три класи рівня забруднення. Їх характеристика приведена у табл.1.3

Таблиця 1.3 - Характеристика класів фонового забруднення (Р)

Клас забруднення	Кількісне значення параметру	Якісна оцінка забруднення
1	$0,35 \leq P \leq 1$	Високе
2	$0,2 \leq P < 0,35$	Відносно підвищене
3	$0 \leq P < 0,2$	Знижене

Після визначення величини, яка буде виступати при прогнозуванні у якості предиктанта , дуже важливо визначити фактори, які можуть бути предикторами в статистичних прогностичних моделях. Початкове число цих факторів або потенціальних предикторів, може бути достатньо великими. У якості предикторів виступають параметри, які описують процес переносу і розсіяння домішки (зазвичай метеорологічні характеристики) та інтегральні характеристики рівня забруднення в місті за попередню прогнозу добу (Р чи $\tilde{q}$).

Зв'язки між характеристиками забрудненням повітря і метеорологічними параметрами являються складними та нелінійними. Це заважає використовувати метод лінійної регресії для складання практичних прогностичних схем. Але в деяких випадках використання цього методу можливе та доцільне. Умовою його використання з'являється наявність достатнього лінійного зв'язку між характеристиками забруднення повітря (предиктантом) та окремими предикторами. Між визначеними для прогнозу предикторами не повинно бути лінійного зв'язку.

Дуже часто значення коефіцієнта лінійної кореляції (між Р і Р') дає можливість гарантувати наявність лінійного зв'язку між одним з предикторів Р' та предиктантом Р . У такому випадку можливо використовувати метод лінійної регресії для складання практичних прогностичних схем. Коефіцієнти регресії розраховуються методом найменших квадратів.

Для підвищення ефективності прогнозу методом множинної лінійної регресії можливо попереднє виключення нелінійного зв'язку між характеристиками забруднення повітря (предиктантом) та метеорологічними величинами (предикторами). Для цього по матеріалах спостережень в кожному місті виконують перетворення предикторів з урахуванням справжнього вигляду зв'язків між ними та предиктантом.

Прийнявши до уваги вищесказане можна для складання прогнозу методом лінійного регресійного аналізу пропонувати (як приклад) у якості предиктанта параметр Р , а у якості предикторів такі величини:

-Т - температура повітря у землі, ^{0}С;

-D - напрямок вітру у землі, градуси;

-V - швидкість вітру у землі, м/с;

-F - відносна вологість у землі, %;

-H_1 - верхня границя приземної інверсії, м;

-H_2 - нижня границя підвищеної інверсії, м;

-H_3 - верхня границя підвищеної інверсії, м;

-Y_{0-500} - вертикальний температурний градієнт у шарі 0 ...500м, градусів на 100м;

-Р'- інтегральні характеристики рівня забруднення в місті за попередню прогнозу добу.

Вищенаведений перелік предикторів для складання прогнозу може у кожному конкретному випадку мати іншу кількість та склад, який

залежить від особливостей забруднення атмосфери кожного промислового міста.

Головне для вибору предикторів - врахування характеру та тісноти зв'язку між ними та показниками забруднення атмосфери. Щоб виявити фактори, які більш усього впливають на забруднення повітря, необхідно побудувати графіки зв'язку кожного предиктора з предиктантом. Аналіз кореляційних графіків дасть можливість виявити ті предиктори, які мають лінійний зв'язок з предиктантом. Ті ж предиктори, які не мають статистично значимого кореляційного зв'язку, можна виключити з розрахунків, постільки вони можуть погіршити прогностичну модель.

1.4 Підготовка вихідних даних для розрахунків

На першому етапі прогнозування необхідно визначитись з предиктантом. Коли предиктант визначено, то формують відповідний до нього склад предикторів. Після цього приступають к підготовці вихідних даних. Для цього використовують результати даних спостережень о забрудненні атмосфери того промислового міста, для якого розробляється прогностична схема та результати метеорологічних спостережень на метеостанції.

Наприклад, якщо якості предиктанта візьмемо параметр Р , а у якості предикторів такі величини, як температура повітря, напрямок вітру, швидкість вітру, відносна вологість, характеристики розташування інверсії, вертикальний температурний градієнт у шарі та параметр Р' за попередню прогнозу добу, то вихідні данні мають вигляд вектор-строки, яка не повинна мати пропуски яких - не будь вищезгаданих даних. Таких векторів-строк необхідно вибрати не менш 35 (це мінімальний об'єм вибірки).

При виборі предикторів необхідно враховувати наступні головні фактори , що визначають формування рівня забруднення атмосфери:

- напрямок переносу домішок;
- швидкість переносу домішок;
- атмосферна стратифікація і зв'язана з нею ступінь вертикального перемішування домішок;

- термічний стан повітряної маси , від якого залежить підйом перегрітих викидів і всього обсягу перегрітого над містом повітря;
- вимивання домішок опадами;
- акумуляція домішок в туманах;
- інерційний фактор.

Після підготовки матриці вихідних даних треба визначити прогностичний метод, який найбільш підходить для конкретного випадку.

Велике значення має вибір методу, що дозволив би максимально врахувати реальний вид характеру зв'язків між характеристиками забруднення повітря і метеорологічними факторами. Для прогнозування забруднення повітря по місту в цілому необхідно попередньо виконати обробку фактичних матеріалів спостережень по конкретному місту за попередні роки. Для цього проводять додаткові дослідження вихідних даних з урахуванням достоїнств та недоліків існуючих методів прогнозу забруднення повітря. Вибір найбільш підходящого методу з досить великої кількості прогнозів - це дуже складна задача, від якої в кінцевому підсумку залежить успішність складених прогнозів.

Коли метод прогнозу забруднення атмосфери остаточно встановлений, то можна переходити к розрахункам.

Контрольні запитання

1. Як впливає напрям та швидкість вітру на забруднення атмосфери у місті?
2. Які особливості впливу на рівень забруднення атмосфери її термічної стійкості та умов застою повітря?
3. Як впливає температура повітря на рівень забруднення атмосфери?
4. Дати характеристику впливу туманів та опадів на рівень забруднення атмосфери?
5. Які існують статистичні методи прогнозу забруднення атмосфери?

6. Які основні принципи розробки питань прогнозу забруднення повітря в цілому по місту?
7. У чому полягає фізичний смисл інерційного фактора?
8. Що таке предиктант та предиктори?
9. У чому суть узагальнених інтегральних показників забруднення атмосфери у місті?
10. Як здійснити вибір предиктанта та предикторів для статистичних схем прогнозу забруднення повітря у місті ?

2 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

2.1 Прогнозування забруднення повітря методом лінійного регресійного аналізу

Якщо існує лінійний зв'язок між окремими предикторами та предиктантом, при будівництві прогностичної моделі використовують метод лінійного регресійного аналізу. Справджуваність прогнозів при використанні даного методу складало для деяких міст 93% на залежному матеріалі та 80% - на незалежному.

Суть методу складається у знаходженні предикторів, які мають з предиктантом найбільш значний кореляційний зв'язок. Потім найчастіше частіше з використанням методу найменших квадратів (МНК) розраховують коефіцієнти регресії і одержують лінійне регресійне рівняння. Регресійну прогностичну модель частіше усього будують методом покрокової регресії (МПР).

Вивчення процесів, які в атмосфері обумовлюють переніс і дифузію домішок у граничному шарі, дає можливість визначити фактори, які можуть бути предикторами у статистичних прогностичних моделях. Початкове число цих факторів або потенціальних предикторів, може бути достатньо великими. Проте остання обставина не поліпшує розрахункову схему, оскільки збільшує дисперсію помилок. Це пов'язано з тим, що матриця кореляції, на якій основана система нормальних рівнянь знаходиться емпірично з використанням експериментальних даних, які вміщують помилку вимірювань. Незалежні предиктори не вносять суттєвої помилки у параметри моделі, так як у цьому випадку матриця кореляції добре обумовлена.

Проте у зв'язку з тим, що серед великої кількості потенціальних предикторів є велике число статистично зв'язаних один з одним, матриця кореляції предикторів виявляється погано обумовленою. У цьому випадку помилки вимірювань, які вміщуються у вихідних даних, суттєво впливають на правдивість оцінок параметрів моделі, а отже, і на адекватність моделі реальним процесам. Таким чином, при складанні прогностичних схем з використанням методу лінійної регресії необхідна наявність лінійного зв’язку між показником забруднення повітря

(предиктантом) і хоч би одним метеорологічним параметром (предиктором).

Виникає задача відбору з складу потенціальних предикторів таких, які би досить повно відображали вплив процесів, які ідуть у граничному шарі атмосфери, на розсіяння шкідливих домішок .

Процедура, яка дозволяє вибрати оптимальний склад статистично зв'язаних предикторів, прийнято називати <u>просіюванням предикторів</u>. Існує декілька методів. <u>Самий поширений з них – метод покрокової регресії (МПР).</u>

Розглянемо скорочений алгоритм МПР.

<u>По-перше</u>, складається матриця $\tilde{X}(n \times m)$ вихідних даних розміром $n \times m$, де :

-m – кількість предикторів плюс предиктант;

-n – кількість рядків або векторів предикторів.

<u>По-друге</u>, розраховується середнє значення кожного стовпчика матриці $\tilde{X}$:

$$\overline{\tilde{X}_i} = \frac{1}{n}\sum_{L=1}^{n}\tilde{X}_{iL}; \qquad i = \overline{1,m} \qquad L = \overline{1,n} \tag{2.1}$$

<u>По-третє</u>, находиться середнє квадратичне відхилення кожного стовпчика матриці:

$$\tilde{\sigma}_i = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{L=1}^{n}(\tilde{X}_{iL} - \overline{\tilde{X}})^2} \tag{2.2}$$

<u>На четвертому</u> кроціі кожне значення вихідної матриці центруються та нормуються на середнє квадратичне відхилення:

$$X_{iL} = \frac{X_{iL} - \overline{\tilde{X}}}{\tilde{\sigma}_i} \tag{2.3}$$

Це процедура необхідна для приведення усіх значень матриці до одного порядку.

<u>На п’ятому кроці</u> розраховується середнє та середнє квадратичне відхилення для нової центрованої та нормованої матриці X по формулам (2.1) та (2.2).

<u>На шостому кроці</u> знаходиться приєднана матриця кореляції $R_{xy}(m \times m)$, у полі якої – коефіцієнти кореляції між всіма предикторами, а останній стовпчик поміщені коефіцієнти кореляції предиктанта У з кожним із предикторів X:

$$R_{xy} = \begin{pmatrix} 1 & r_{x1x2} & r_{x1x3} & \dots & r_{x1y} \\ r_{x2x1} & 1 & r_{x2x3} & \dots & r_{x2y} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{yx1} & r_{yx2} & r_{yx3} & \dots & 1 \end{pmatrix} \qquad (2.4)$$

<u>На сьомому кроці</u> проводиться аналіз останнього стовпчика матриці R_{xy} та вибирається найбільше значення коефіцієнту детермінації:

$$\max[\, r^2_{yxi} \,]; \qquad i = \overline{1,m} \qquad (2.5)$$

Предиктору, який має максимальний r^2_{yxi}, привласнюється <u>номер один.</u>

<u>На восьмому кроці</u> за допомогою МНК отримуємо рівняння регресії :

$$\hat{y}^{(1)} = A_1 X_1 + A_0 \qquad (2.6)$$

де A_1 - частинний коефіцієнт лінійної регресії;

A_0 - вільний член .

<u>На дев’ятому кроці</u> находимо перші різниці:

$$\xi_{1i} = y_i - \hat{y}^{(1)}_y \qquad (2.7)$$

<u>На десятому кроці</u> розраховується частковий коефіцієнт кореляції між ξ_{1i} та всіма предикторами, що залишились :

$$r\xi_{1i} \cdot X_i; \qquad i = \overline{2,m} \qquad (2.8)$$

Далі вибирається другий по значущості предиктор з умови (2.5) і йому привласнюється номер два (другий).

Отримуємо рівняння регресії з двома предикторами за допомогою МНК.

Знаходимо другі різниці:

$$\xi_{2i} = y_i - \hat{y}_y^{(2)} \qquad (2.9)$$

Після цього розраховується частковий коефіцієнт кореляції між ξ_{2i} та всіма предикторами, що залишились :

$$r\xi_{2i} \cdot X_i; \qquad i = \overline{3,m} \qquad (2.10)$$

Далі вибирається третій по значущості предиктор з умови (2.5) і йому привласнюється номер три (третій).

Процедура продовжується до тих пір, поки різниця коефіцієнтів множинної кореляції (ΔR) на двох сусідніх кроках стає не значимою. Значущість ΔR оцінюється за допомогою критерію Фішера через перевірку відповідної гіпотези.

В результаті отримуємо рівняння лінійної регресії з використанням розрахованих параметрів на визначеному кроці, яке має загальний вигляд:

$$\hat{y} = A_1 X_1 + A_2 X_2 + ... + A_k X_k + A_0 \qquad (2.11)$$

Це рівняння лінійної регресії включає k статистично значущих предикторів, які вичерпують основну частину дисперсій предиктанта.

Зв’язки між забрудненням повітря і метеопараметрами являються складними та нелінійними. Це заважає використанню методу лінійної регресії для практичних схем. Але в деяких випадках його використання можливе та доцільне. Умовою його використання з’являється наявність достатнього лінійного зв’язку між характеристиками забруднення повітря

та окремими предикторами. Між предикторами лінійного зв'язку не повинно бути.

Один значний коефіцієнт лінійної кореляції (між P і P') гарантований. Необхідна наявність лінійного зв'язку між показником забруднення атмосфери (ЗА) і хоча би одним параметром. Коефіцієнти регресії розраховуються за МНК. На рівні значності 5% беруть найбільше значення.

Ефективність прогностичної схеми підвищується, якщо в якості предиктора використовувати кількісно синоптичну ситуацію Sn. Справджуваність може досягати 95%, а аномально високого забруднення (P≥0,5) - 100%.

Таким чином, спосіб визначення не лінійності зв'язків між забрудненням повітря (ЗП) та метеопараметрами дозволяє врахувати в схемах прогнозу, розроблених по методу множинної лінійної регресії, справжній вигляд залежності. Це визнано задовольняє ефективність практичних схем. Але цей метод гірше ніж метод графічної регресії, тобто не дозволяє врахувати неоднозначність зв'язків, тобто різний характер зв'язку між ЗП та будь-якими предикторами при різних значеннях іншого предиктора.

2.2 Процедура перевірки адекватності моделі

Після аналізу розрахунків та складання прогностичної схеми обов'язковим етапом є перевірка адекватності моделі на залежному, а потім на незалежному матеріалі. Перевірка адекватності моделі проводиться у три етапи.

Перший етап перевірки адекватності прогностичної моделі - побудова графіку зв'язку фактичного P (предиктант) та $P_{прогн}$ (отриманого в результаті прогнозу). Аналіз графіку проводиться для встановлення виду зв'язку. Якщо прослідкується лінійна залежність фактичної і прогностичний величин, то модель адекватна реальному процесу.

Найбільш очевидний спосіб оцінки ефективності прогнозу забруднення повітря - розрахунок коефіцієнта кореляції (r) між прогностичними та фактичними значенням параметрів забруднення

атмосфери міста. Така оцінка може бути виконана тільки для тих методів, які дозволяють прогнозувати значення методом послідовної графічної регресії та методом лінійного регресійного аналізу. Метод розпізнавання образів дозволяє прогнозувати лише групу забруднення у місті, а значить його ефективність не може бути оцінена за допомогою r.

Ефективність методу прогнозу забруднення повітря можливо вважати задовільною, якщо коефіцієнта кореляції (r) між прогностичними та фактичними значенням параметрів забруднення атмосфери міста. не менш 0,7 . У цьому випадку метод враховує більше половини загальної мінливості предиктанта.

Другий етап перевірки адекватності моделі - побудова полігона розподілу прогностичного та фактичного параметрів забруднення повітря. Проводять аналіз полігонів розподілу та роблять висновок об адекватності моделі на цьому етапі. Модель адекватна реальним процесам, коли вірогідності модальних значень P (предиктанта) та $P_{прогн}$ (отриманого в результаті прогнозу) досить близька, чи близькі вірогідності високого забруднення P та $P_{прогн}$.

Проте у практичній роботі зручніше враховувати не значення P, яке очікується, а групу забруднення високе (I), і підвищене (II), знижене (III). Це і було покладено у основу оцінки ефективності прогнозів забруднення повітря у місті.

Третій етап перевірки адекватності моделі - це оцінка справджуваності прогнозів забруднення повітря по місту, яка проводиться згідно таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Оцінка справджуваності прогнозів забруднення повітря по місту в цілому

Прогностична група	Градація значень параметру P, при яких прогноз вважається виправданим
I $P > 0,35$	$P \geq 0,30$
II $0,35 \geq P > 0,20$	$0,38 \geq P \geq 0,17$
III $P \leq 0,20$	$P \leq 0,25$

Критерії для розподілу параметра P на групи та оцінки прогнозів, які представлені у таблиці 2.1 були запропоновані при підготовці матеріалів

для впровадження розроблених методів з урахуванням того що повторність I, II, III груп складає приблизно 10, 40 та 50%. Проте в різних містах та для різних домішок статистичне розподілення P неоднакове, тому іноді можна рекомендувати у I групу записувати P>0.30 чи 10% найбільших значень P. В якості критерію для поділу II та III груп приймається середнє значення параметру P.

Після аналізу результатів перевірки адекватності моделі на всіх трьох етапах, можливо зробити загальний висновок. Модель в цілому адекватна, коли вона була адекватна на всіх (без виключення) етапах перевірки. Якщо на хоча-би на одному з етапів модель була неадекватною, то в цілому вона також неадекватна.

Контрольні запитання

1. У чому суть методу прогнозу забруднення повітря на основі множинної лінійної регресії?
2. Як визначити оптимальний склад предикторів?
3. Для чого проводиться процедура центрування та нормування значень вихідної матриці?
4. Які значення наведені у приєднаної матриці кореляції?
5. Як розраховується та використовується коефіцієнт детермінації?
6. Для чого знаходять різницю між фактичним та прогностичним значенням на кожному кроці МПР?
7. Як проводиться процедура ранжування предикторів з урахуванням їх значущості?
8. Як проводиться перевірка адекватності моделі на першому етапі?
9. Як проводиться перевірка адекватності моделі на другому етапі?
10. Як проводиться перевірка адекватності моделі на третьому етапі?
11. З урахуванням чого можливо зробити загальний висновок про адекватність моделі?

2.3 Завдання щодо виконання практичної роботи №1

1.Уважно вивчити теоретичну частину.

2.Кожен студент повинен отримати у викладача індивідуальний варіант для складання прогнозу забруднення повітря методом лінійного регресійного аналізу. У індивідуальному варіанті вказана домішка, сезон та наведені вихідні дані, які складаються з характеристик предикторів та предиктанту, а також наведені результати розрахунку параметрів прогностичного рівняння з використанням спеціалізованої програми STEP, яка реалізує алгоритм МПР.

3.Необхідно побудувати та проаналізувати графіки залежності предиктанта (P) від кожного з 9 вибраних предикторів (**T_0, D_0 ,V_0 , F_0 , H_1, H_2 , H_3 ,$Y_{0\text{-}500}$, P'**). На кожному малюнку буде К крапок (залежить від кількості векторів-рядків у індивідуальному варіанті). Зв'язок може бути будь-який. Треба при аналізі дев'яти кореляційних графіків виявити ті предиктори (чи предиктор) які мають лінійний зв'язок з предиктантом. Зробити висновок о доцільності складання прогнозу забруднення повітря методом лінійного регресійного аналізу.

4. Проаналізувати результати розрахунку для визначення достатньої кількості оптимального числа предикторів, які треба включити в прогностичне рівняння. Для цього треба побудувати графік зміни коефіцієнта множинної кореляції **Rmk.** Причому треба визначити сусідні кроки на яких значення **Rmk** мало (чи зовсім) не відрізняються друг від друга, тоді зупиняємося на попереднім кроці. Зробити висновок.

5.Для вибраного кроку з використанням розрахованих для цього кроку параметрів отримати прогностичне рівняння. Це буде загальний вид лінійного прогностичного рівняння у першому наближенні.

6.Перевірити для отриманого прогностичного рівняння статистичну значущість параметрів моделі. В рівнянні залишаться тільки ті фактори, при яких частинні коефіцієнти регресії пройшли перевірку гіпотези о не значущості с допомогою критерію Стьюдента. Записати прогностичне рівняння в другому наближенні.

7. Зробити уточнення вільного члену A_0 та з урахуванням нового A_0 навести остаточний вигляд прогностичного рівняння.
8. Провести процедуру перевірки адекватності моделі згідно з п.2.2. Зробити висновок.

2.4 Приклад розрахунку

1.Приклад розрахунків, складений для прогнозу забруднення атмосфери SO_2 методом лінійного регресійного аналізу в м. Одеса у весняний період. Вихідні дані наведено у Додатку А. Предиктантом є показник Р. З таблиці А.1 видно, що кількість векторів-рядків дорівнює 42, тобто не менш за 35, як цього вимагає метод.

2. З використанням табл.А.1 побудували 9 графіків залежності предиктанту Р від кожного з предикторів (T_0, D_0, V_0, F_0, H_1, H_2, H_3 ,$Y_{0\text{-}500}$, Р'). Як приклад, один з графіків зв'язку (Р з Р') наведений на рис. 2.1. Аналіз дев'яти кореляційних графіків дозволив виявити предиктор, який має лінійний зв'язок з предиктантом Р. Цей предиктор - Р' (коефіцієнт кореляції між Р і Р' складає 0,73). Тобто, при складанні прогнозу забруднення повітря можна використовувати метод лінійного регресійного аналізу.

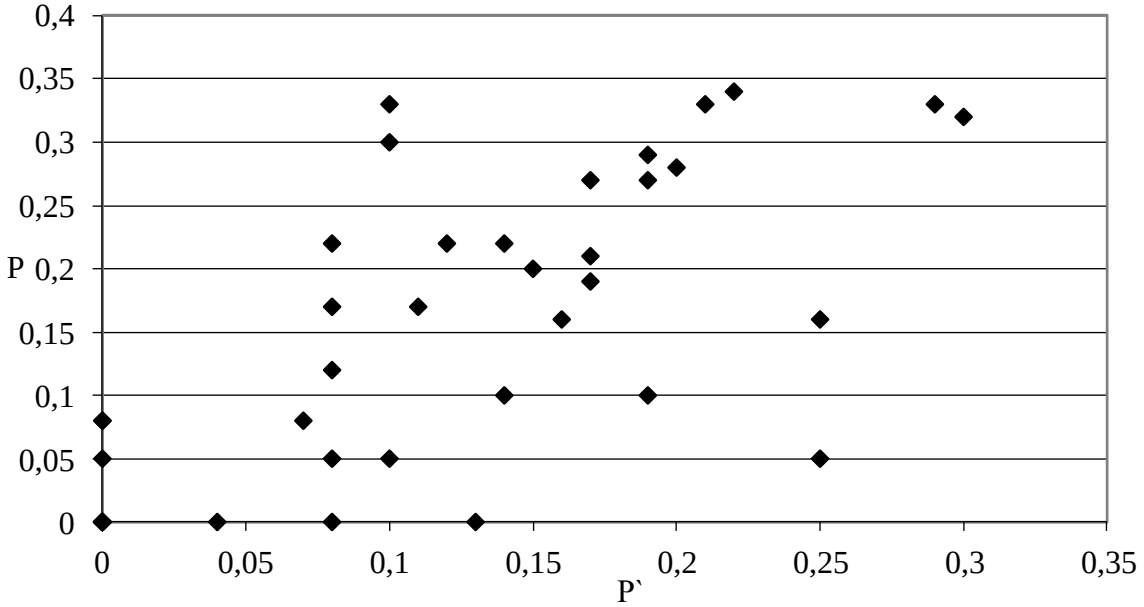

Рисунок 2.1 - Графік зв`язку Р з показником Р` (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,730)

3. Результати розрахунків параметрів прогностичного рівняння з використанням спеціалізованої програми STEP, яка реалізує алгоритм МПР надано в додатку Б. Проаналізувавши результати розрахунку (для визначення достатньої кількості оптимального числа предикторів), побудували графік зміни коефіцієнта множинної кореляції Rmk по крокам розрахунку, який наведено на рис. 2.2.

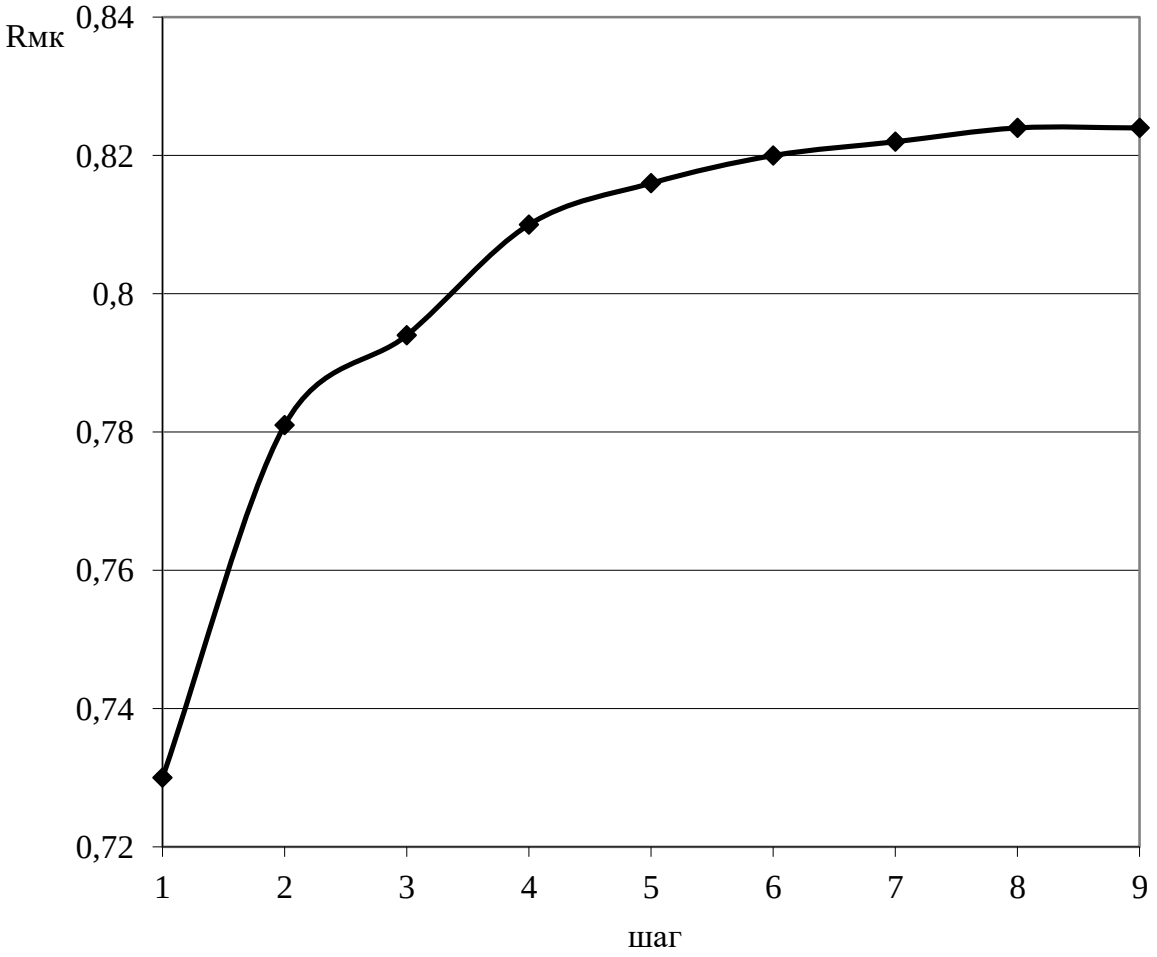

Рисунок 1.4 - Графік зміни множинного коефіцієнту кореляції

Значення **Rmk** мало (чи зовсім) не відрізняються друг від друга на 8-му та 9-му кроці, тому зупиняємось на кроці 8.

4. Результати розрахунків частинних коефіцієнтів регресії, вільного члену і множинного коефіцієнта кореляції на кожному з кроків представлено в таблиці, загальний вигляд якої наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунків параметрів прогностичного рівняння

Крок	Коефіцієнти регресії A[i] коло предикторів									Вільний член A [0]	Множинний коефіцієнт кореляції Rmk
1	A1										
2	A1	A2									
3	A1	A2	A3								
4	A1	A2	A3	A4							
5	A1	A2	A3	A4	A5						
6	A1	A2	A3	A4	A5	A6					
7	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7				
8	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8			
9	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9		

5. Для кроку 8 з використанням розрахованих для цього кроку параметрів отримали прогностичне рівняння. Загальний вигляд лінійного прогностичного рівняння у першому наближенні:

$$\hat{P} = 0{,}536P' + 0{,}377H_2 + 0{,}180VV_0 + 0{,}268F_0 - \\ - 0{,}089\gamma_{0-500} + 0{,}092T_0 - 0{,}152H_1 + 0{,}199H_3 \qquad (2.12)$$

6. Перевіривши для отриманого прогностичного рівняння статистичну значущість параметрів моделі за допомогою критерію Стьюдента (у прикладі для n = 42 і α = 0,05 критичне значення критерію $t_{kp} = 2{,}02$) залишили в рівнянні тільки ті предиктори, при яких частинні коефіцієнти регресії пройшли перевірку гіпотези про незначущість. Результати представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Характеристика прогностичної моделі на 8-му кроці (Rmk = 0,824; A[0] =9.61*10^{-14})

Номери предикторів	Коефіцієнт регресії A[i]	Критерій Стьюдента $t_a > t_{кр}$	Середнє значення предиктора	Середнє квадратичне відхилення предиктора	Позначення предиктора
9	0,536	5,979	0.109	0.090	P`
6	0,377	3,075	95.091	57.189	H_2
4	0,269	2,990	78.310	14.853	F_0

Прогностичне рівняння у другому наближенні має вигляд:

$$\hat{P} = 0{,}536P' + 0{,}377H_2 + 0{,}268F_0 . \qquad (2.13)$$

7. Оскільки в прогностичне рівняння увійшли не усі вісім предикторів кроку 8, то слід зробити уточнення вільного члену a_0 за допомогою формули:

$$A_0 = \frac{\sum (P_i - \hat{P}_i)}{n}, \qquad (2.14)$$

де P_i і $\hat{P}_i$ - відповідно фактичне і прогностичне значення предиктанта за і-ту добу сезону.

Результати цього розрахунку наведено у табл. 2.4. В цій таблиці $\hat{P}_I$ - це прогностичні значення, які отримані з використанням формули (2.13), тобто прогностичного рівняння у другому наближенні.

$P_i - \hat{P}_i$ - це результати розрахунку чисельника формули (2.14).

В наведеному прикладі A_0 = -0,0014.

Тоді з врахуванням нового A_0, остаточний вигляд прогностичного рівняння такий:

$$\hat{\hat{P}} = 0{,}536P' + 0{,}377H_2 + 0{,}268F_0 - 0{,}0014 \qquad (2.15)$$

В прогностичне рівняння (2.15) підставили відповідні центровані і нормовані значення предикторів, які наведені у додатку Б.

Результати розрахунку згідно формули (2.15) також розміщені в табл.2.4 (значення $\hat{\hat{P}}$ центровані та нормовані).

В цій таблиці $\hat{\hat{\hat{P}}}$ - це прогностичні значення, які пройшли зворотну процедуру центрування і нормування.

Таблиця 2.4 - Результати розрахунку уточненого значення A_0 та прогностичних значень параметра Р

Дата	$\hat{P}_I$	$P_i - \hat{P}_i$	$\hat{\hat{P}}$	$\hat{\hat{\hat{P}}}$
1	**2**	**3**	**4**	**5**
1.03	-0,257	-0,461	-0,258	0,106
4.03	-0,095	-0,623	-0,097	0,125
6.03	0,866	-1,584	0,864	0,242
9.03	0,347	1,256	0,345	0,179
11.03	0,282	0,409	0,281	0,171
14.03	0,619	0,735	0,618	0,212
17.03	0,344	-0,648	0,343	0,179
19.03	0,300	-0,604	0,299	0,173
21.03	-0,429	-0,041	-0,430	0,085
23.03	-0,270	0,546	-0,271	0,104
25.03	1,125	0,561	1,124	0,273
27.03	-0,320	-0,398	-0,322	0,098
29.03	0,271	0,171	0,270	0,170
30.03	0,679	0,592	0,678	0,219
1.04	0,035	0,158	0,033	0,141
3.04	0,837	-0,644	0,835	0,238
5.04	0,714	0,889	0,712	0,223
7.04	-0,557	1,248	-0,559	0,069
9.04	0,732	0,456	0,731	0,225

Продовження табл.2.4

11.04	1,573	0,030	1,572	0,327
13.04	0,442	0,663	0,440	0,190
15.04	0,071	-1,204	0,070	0,145
17.04	0,440	0,085	0,439	0,190
19.04	0,165	0,940	0,164	0,157
21.04	-0,365	-0,768	-0,367	0,093
22.04	-1,087	-0,046	-1,088	0,005
23.04	-0,906	-0,227	-0,908	0,027
24.04	-0,888	-0,245	-0,890	0,029
25.04	-0,491	-0,642	-0,493	0,077
27.04	0,005	0,603	0,004	0,137
29.04	-0,942	-0,191	-0,944	0,023
5.05	-0,527	0,057	-0,529	0,073
9.05	-0,212	-0,921	-0,213	0,111
13.05	0,207	0,484	0,205	0,162
15.05	-0,014	0,290	-0,015	0,135
19.05	-0,924	-0,209	-0,926	0,025
23.05	1,637	-0,117	1,635	0,335
25.05	-0,942	-0,191	-0,944	0,023
28.05	-0,563	-0,570	-0,565	0,069

8. Останнім етапом роботи є перевірка адекватності моделі у три етапи.

На першому етапі побудували графік зв’язку фактичних та прогностичних значень Р, який наведений на рис.2.3.

На рис. 2.3 обидва параметри центровані і нормовані. На графіку буде відповідно 42 точки по 42м парам значень Р і $\hat{\hat{P}}$. Аналіз зовнішнього вигляду графіку зв’язку дозволяє припустити наявність лінійного зв’язку. Це підтверджується значенням розрахованого коефіцієнту кореляції, який складає 0,774. Таким чином, на цьому кроці перевірки модель адекватна реальному процесу.

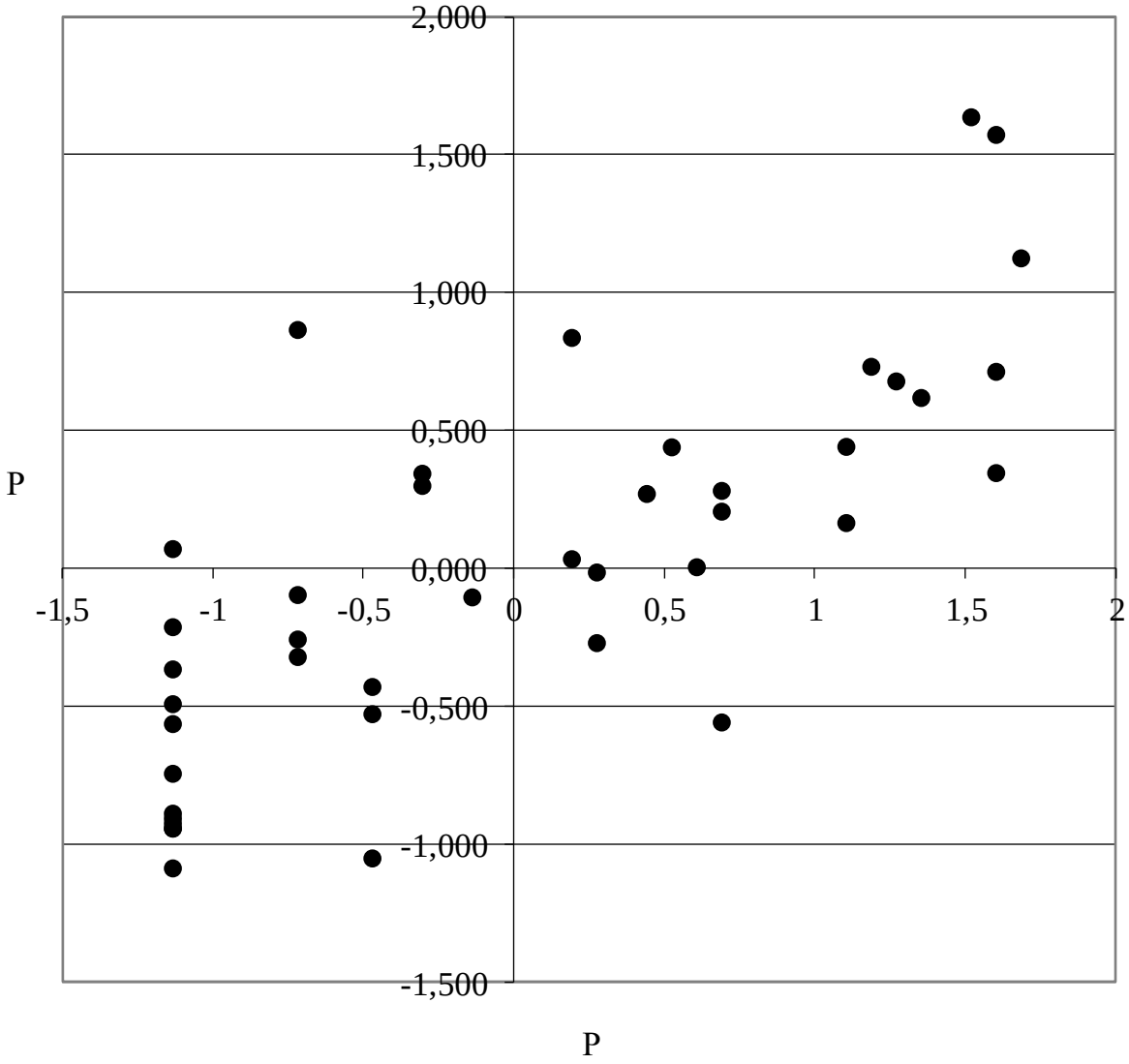

Рисунок 2.3 - Графік зв’язку фактичного і прогностичного значень Р

<u>На другому етапі</u> перевірки адекватності моделі побудували полігон розподілу прогностичного та фактичного параметрів забруднення повітря на основі групованого ряду, параметри якого наведені в табл. 2.5, а сам полігон представлений на рис. 2.4. Проведений аналіз полігонів розподілу дозволяє зробити висновок про неадекватність моделі на цьому етапі, тому що вірогідності модальних значень Р (предиктанта) та $\hat{\hat{P}}$ значно відрізняються як і вірогідності високого забруднення.

Таблиця 2.5 - Градації і частоти розподілу фактичного Р і $\hat{\hat{P}}$ прогностичного значень предіктанту

№	Градації Р і $\hat{\hat{P}}$	Частота Р	Частота $\hat{\hat{P}}$
1	-1.133÷-0.781	12	7
2	-0,781÷-0,429	7	6
3	-0,429÷-0,077	3	7
4	-0,077÷0,275	2	7
5	0,275÷0,627	5	7
6	0,627÷0,979	3	5
7	0,979÷1,331	4	1
8	1,331÷1,689	6	2

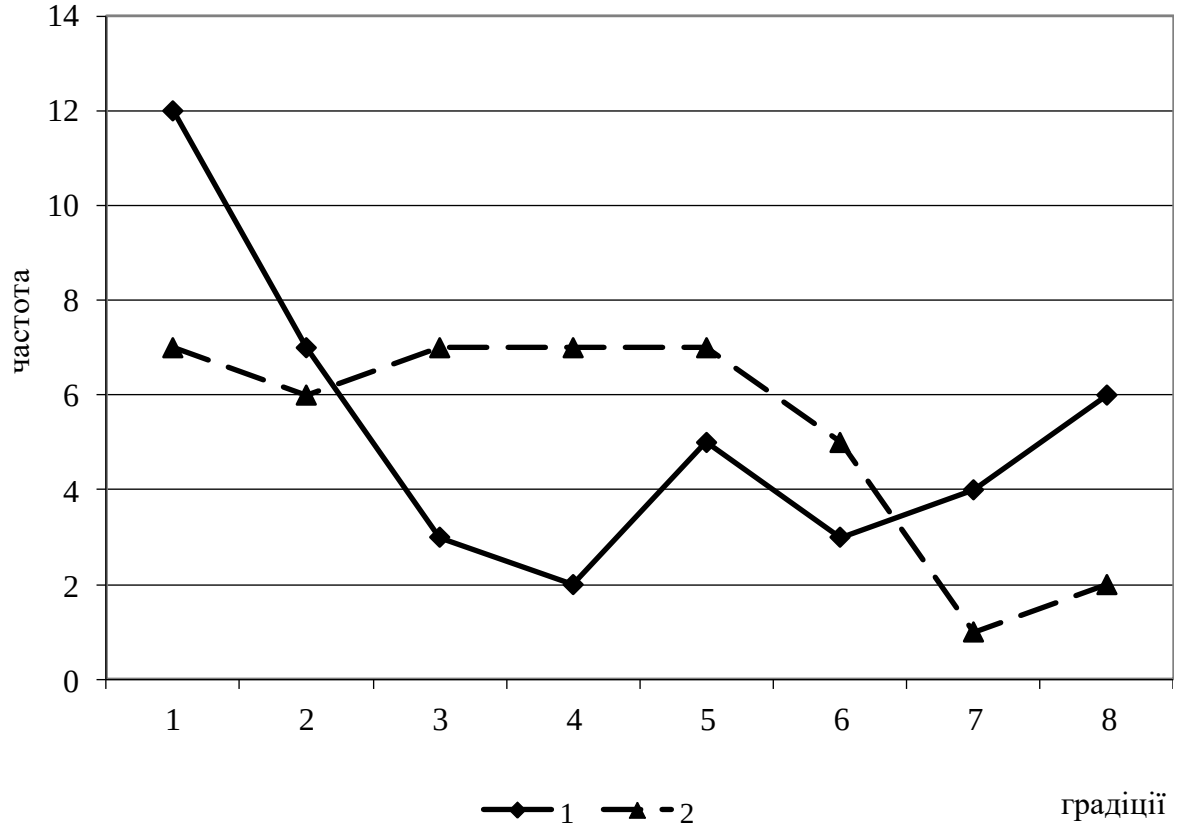

Рисунок 2.4 - Полігони розподілу фактичного (1) та прогностичного (2) значень параметру Р

<u>На третьому етапі</u> перевірки адекватності моделі оцінили справджуваність прогнозів забруднення повітря по місту, яка проводиться згідно таблиці 2.1.

Декілька прикладів реалізації процедури оцінки справджуваності прогнозу наведено у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Результати оцінки справджуваності прогнозу

Дата	$\hat{\hat{\hat{P}}}$	Рфакт	Позначка про справджуваність прогнозу
1.03	0,106	0,05	+
4.03	0,125	0,05	+
6.03	0,242	0,05	-
9.03	0,179	0,33	-

Оцінка справджуваності прогнозів для наведеного прикладу склала 82 %, що дозволяє на цьому етапі модель вважати адекватною.

Оскільки з трьох етапів перевірки адекватності, модель була визнана неадекватною на другому етапі, тоді в цілому модель вважати адекватною не можна.

3 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

3.1 Прогнозування забруднення повітря методом розпізнавання образів

Одним із варіантів синоптико-статистичних прогнозів є прогностична схема забруднення повітря методом розпізнання образів (МРО) [1-3]. Зазвичай у цій схемі як предиктант (величина для якої складається прогноз) виступає один з показників фонового забруднення (Р чи $\tilde{q}$), а у ролі предикторів (факторів, що впливають на величину предиктанту) - значення метеорологічних характеристик (температури і вологості повітря, швидкості і напрямку вітру, характеристики інверсій тощо) та характеристики рівня забруднення повітря у місті напередодні прогнозу.

Схема прогнозу забруднення повітря методом упізнання образів полягає у визначенні **схожості** конкретної ситуації з ситуацією, характерною для будь-якої групи забруднення. **Схожість** ситуацій тут встановлюється по **"відстані"** між ними. Приймається, що точка прогнозу f у фазовім просторі ситуацій належить до тієї групи, відстань до якої **мінімальна.**

Під ситуацією розуміють набір характеристик $X_1, X_2, ..., X$ які відповідають рівню забруднення повітря у певний фіксований момент часу. Такими характеристиками можуть бути значення метеорологічних параметрів і інтегральні характеристики забруднення повітря (наприклад, параметр Р'- інтегральна характеристика рівня забруднення в місті за попередню прогнозу добу).

У загальному вигляді залежність предиктанта Р від відповідних предикторів має вид:

$$P\ (X_1, X_2, ..., X_L), \qquad (3.1)$$

де L - кількість предикторів у конкретній прогностичної схемі.

Або у матричному вигляді (за усі наявні на момент складання прогностичної схеми К діб), причому матриці показників забруднення атмосфери Р можна поставити у відповідність матрицю предикторів:

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_K \end{bmatrix} \qquad X = \begin{bmatrix} X_{11} X_{12} \dots X_{1L} \\ X_{21} X_{22} \dots X_{2L} \\ \dots\dots\dots\ \dots\dots\dots . \\ X_{K1} X_{K2} \dots X_{KL} \end{bmatrix} \qquad (3.2)$$

Тут L - обмежене й строго постійне число значень предикторів (характеристик ситуації). Передісторія забруднення P' (відома як забруднення "напередодні") також входить у кількість L предикторів.

Ситуація з деякими характеристиками (предикторами) X_1, X_2, ..., X_N може бути представлена як крапка у N – вимірному просторі (фазовому просторі ситуацій). Якщо значення рівня забруднення повітря поділити на декілька груп, тоді ситуації у фазовому просторі також поділяться на групи.

Для розбиття на групи зазвичай використовують традиційний розподіл параметра P на групи високого, відносно підвищеного і відносно зниженого забруднення. Їх характеристика приведена у табл.1.3. В залежності від значень P ситуація може бути віднесена до однієї із трьох основних груп, причому межа між 1 и 2 групами може бути прийнята, як 0,30, так і 0,35 або 0,25 (це визначається загальним станом забруднення повітряного басейну міста) :

-**1 група** – відповідає значному вмісту домішок у повітрі;

-**2 група** – відповідає середньому вмісту домішок у повітрі;

-**3 група** – відповідає малому вмісту домішок у повітрі.

При прогнозі забруднення повітря МРО треба встановити схожість ситуації, для якої складається прогноз, з однією з груп забруднення. Схожість ситуацій установлюється по "відстані" між ними.

Під відстанню від точки прогнозу f до групи 1 приймається відстань від f до центру ваги цієї групи, тобто до точки з координатами :

$$M_i^1 = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^{K} X_{ij} \ , \qquad (3.3)$$

де підсумовування проводиться по всім К значенням кожного і-того предиктора, що входить до групи **1** , а M_i^I - середнє значення і-ої характеристики (предиктора) у цієї групи.

Тоді "відстань" від точки f до центру ваги групи **1** визначається:

$$\rho_1^2 = \sum_{i=1}^{L} \left[\frac{\left(X_{ij} - M_i^1\right)^2}{\left(D_i^1\right)^2} \right], \qquad (3.4)$$

де у знаменнику - дисперсії кожного предиктора, які розраховуються по формулі (1.32):

$$\left(D_i^1\right)^2 = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^{K} \left(X_{ij} - M_i^1\right)^2 . \qquad (3.5)$$

де $j = \overline{1, M}$ - перебір по усіх точках кожного предиктора;

$i = \overline{1, N}$ - належність до того або іншого предиктора.

Аналогічно визначається відстань від f до груп 2 і 3.

Приймається, що точка f у фазовім просторі ситуацій належить до тієї групи, відстань до якої **мінімальна.**

У цій схемі прогностична значущість предикторів визначається відмінністю як їх середніх значень (M), так і дисперсій (D). Дисперсії предикторів дозволяють під час прогнозу додатково враховувати реальний характер залежностей між забрудненням повітря та метеорологічними умовами.

Перевагами методу розпізнавання образів є кращий, ніж у методі лінійної регресії, облік реального характеру зв'язків між покажчиками забруднення повітря і метеорологічними умовами. Але при складних зв'язках (наприклад, наявність двох максимумів забруднення повітря в залежності від метеорологічних факторів) до однієї групи забруднення будуть віднесені істотно різні ситуації і як наслідок - різні значення предикторів. Тому при використанні поданого методу найкраще вибирати таки предиктори, з якими зв'язок забруднення повітря є монотонний.

Прогностична схема МРО ефективна як на залежному (на якому проводився етап вивчання), так і на незалежному матеріалі. Із

літературних джерел [2-4] відомо, що справджуваність складає відповідно 73-75% і 70%.

Контрольні запитання

1.У чому суть методу прогнозу забруднення атмосфери методом розпізнавання образів?

2.Дати характеристику предикторам та предиктанту, які зазвичай використовуються у прогностичних схемах при використанні МРО.

3.Що розуміють під “ситуацією” про прогнозі МРО?

4.Що розуміють під “відстанню” про прогнозі МРО?

5.Які має переваги МРО?

6.Які має недоліки МРО?

3.2 Завдання щодо виконання практичної роботи №2

1.Уважно вивчити теоретичну частину роботи.

2.Для складання прогнозу забруднення повітря методом розпізнавання образів кожен студент використовує тіж самі вихідні данні індивідуального варіанту, який отримав при виконанні попередньої роботи.

3.Використовуючи таблицю А.1 (вихідні дані) по значенню предиктанта слід розбити на три (для Р) групи.

4.Для кожної із трьох груп по усій кількості предикторів обчислюється середнє значення за формулою (3.3), та дисперсії кожного предиктора по формулі (3.5). Результати розрахунків представити у табличному вигляді згідно з табл. 3.1.

5.Використовуючи отримані значення центрів ваги (середніх значень предикторів) і дисперсій предикторів, розрахувати по кожній добі сезону (по кожному повному вектору-рядку) для показника Р - відстані R_1^2, R_2^2 і R_3^2.

6.Результати розрахунків відстаней викласти у вигляді табл. 3.2, в якій також для кожної доби треба визначити прогностичну групу забруднення, вказати фактичну групу забруднення і за допомогою спеціальної позначки („+” або „-”) вказати, чи справдився прогноз забруднення атмосфери з цю добу.

7.Визначити загальну справджуваність прогнозу. Якщо потрібно, таким же чином оцінити справджуваність прогнозу у кожній групі забруднення. Скласти висновок.

8.Усі результати розрахунків, коментарі до них і висновок викласти у вигляді письмового звіту.

3.3 Приклад розрахунків

Побудувати прогноз забруднення атмосфери домішкою за вихідними даними, наданими в табл. А.1.

1. Вихідні дані відповідно до значень предиктанта Р поділяють на три групи. До першої групи належать ситуації, в котрих $P \geq 0{,}30$ (висок фонове забруднення). До другої групи належать ситуації, для котрих Р приймає значення $0{,}2 \leq P < 0{,}30$ (відносно підвищений), а до третьої групи вектори зі значеннями $P < 0{,}20$ (знижене). Як наслідок отримуємо три матриці, які мають вигляд:

$P \geq 0{,}30$

T_0	BB_0	VV_0	F_0	H_1	H_2	H_3	$\gamma_{0\text{-}500}$	P`
22,4	20	5	96	0	1070	1440	0,1	0,1
1	150	2	91	0	1620	1750	0,18	0,1
13,5	350	2	60	0	2150	2230	0,06	0,22
9,3	10	4	84	50	960	1070	0,32	0,21
12,3	30	5	54	0	2360	2560	0,12	0,29
18	90	2	78	0	1710	1920	0,16	0,3

$0{,}2 \leq P < 0{,}30$

T_0	BB_0	VV_0	F_0	H_1	H_2	H_3	$\gamma_{0\text{-}500}$	P`
0,6	40	4	96	0	610	780	0,36	0,14
10,7	330	3	89	0	0	0	0,06	0,19
8,5	20	6	62	0	810	900	-0,06	0,08
11,9	340	6	62	0	1680	1890	0,06	0,2
8	160	2	92	0	690	910	0,08	0,17
7,3	180	2	100	0	650	670	0,02	0,15
12,8	290	3	54	0	1130	1990	-0,1	0,19
19	90	2	66	0	740	910	-0,22	0,17
19,2	170	3	86	0	0	0	-0,16	0,12

P<0,20

T_0	BB_0	VV_0	F_0	H_1	H_2	H_3	γ_{0-500}	P`
-3,4	100	2	100	500	0	0	0,24	0
-1,3	90	3	100	0	290	750	0,24	0,1
0,4	80	3	100	0	390	760	-0,34	0,25
1,4	120	4	87	300	0	0	0,88	0,14
5,7	350	3	68	0	0	0	0,62	0,19
11,1	340	4	75	0	740	810	0,14	0,07
6,7	350	3	90	0	480	610	0,68	0,08
11	180	3	70	280	0	0	-0,04	0,08
10,3	180	5	73	110	0	0	0,3	0,17
7,7	150	4	72	0	710	800	0,04	0,16
7	140	3	90	80	620	750	0,14	0,25
6,8	150	3	96	0	380	420	0,58	0,13
7	150	3	91	0	670	700	-0,34	0,04
10,4	270	3	54	90	0	0	0,96	0
18	140	2	64	0	0	0	0,72	0
17,7	80	2	65	0	0	0	0,42	0
13,7	120	2	87	160	0	0	-0,12	0
21,7	160	3	62	0	0	0	0	0
22,9	230	3	56	0	0	0	0,32	0
17,9	90	6	85	550	0	0	0,48	0
19,6	320	3	82	190	0	0	0,02	0,08
20,5	90	2	76	0	0	0	0,8	0,08
16,5	160	3	95	0	460	520	0,28	0,11
18,6	350	4	73	0	0	0	0,33	0
18,5	360	3	63	0	0	0	0,17	0
21,8	80	1	62	0	0	0	0,22	0
20,5	170	3	83	0	0	0	0,29	0

Аналіз груп предикторів для кожного з класів забруднення показав, що предиктор H_1 доцільно виключити з прогностичної схеми, оскільки у першій групі забруднення ($P \geq 0,30$) тільки одне значення показника відрізняється від 0, а у другій групі ($0,2 \leq P < 0,30$) усі значення показника дорівнюють 0, тобто неможливо визначити середнє значення за формулою

(3.3), та дисперсію цього предиктора по формулі (3.5). В результаті в прогностичну схему включили 8 з 9 предикторів.

2. Отже, для інших предикторів по кожній групі визначають центр ваги цієї групи, тобто точку з координатами, які визначають за формулою (3.3), а за формулою (3.5) визначають дисперсії кожного предиктора для 1, 2 і 3 груп забруднення. Результати розрахунків центрів ваги і дисперсій для кожної групи забруднення занесені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків центру ваги і дисперсії предикторів 1, 2 і 3 груп фонового забруднення (м. Одеса, весна, SO_2)

Група	Показник	Предиктори							
		T_0	D_0	V_0	F_0	H_2	H_3	$Y_{0\text{-}500}$	P`
1	M_1	12,8	108,3	3,3	77,2	1645,0	1828,3	0,157	0,203
1	D_1^2	54,28	16816,6	2,27	284,97	314190,0	287416,67	0,0082	0,0077
2	M_2	10,9	180,0	3,4	78,6	701,1	894,4	0,004	0,157
2	D_2^2	34,05	14250,0	2,53	302,28	268711,1	481927,78	0,0289	0,0015
3	M_3	12,2	185,2	3,1	78,5	175,6	226,7	0,297	0,071
3	D_3^2	59,77	9572,08	0,99	199,72	72133,3	112323,08	0,1154	0,0065

3. Далі складають прогноз для 42 ситуацій вихідних даних. Для цього необхідно провезти розрахунок відстаней від прогнозованої точки до групи забруднення (до центру ваги відповідної групи).

Для цього за формулою (3.4) за допомогою значень центрів ваги і дисперсій, наведених в табл. 3.1 для кожної доби досліджуваного сезону розраховують три відстані. Відповідно до вихідних даних для 1, 2 і 3 груп відстані мають розраховуватися так:

$$R_1^2 = \sum_{i=1}^{L} \frac{(X_{0j} - M_i^1)^2}{(D_i^1)^2} = \frac{(T_{0j} - \overline{T}^1)^2}{(D_T^1)^2} + \frac{(DD_{0j} - D\overline{D}^1)^2}{(D_{DD}^1)^2} +$$

$$+ \frac{(VV_{0j} - V\overline{V}^1)^2}{(D_{VV}^1)^2} + \frac{(F_{0j} - \overline{F}^1)^2}{(D_F^1)^2} + \frac{(H_{2j} - \overline{H}_2^1)^2}{(D_{H2}^1)^2} + \frac{(H_{3j} - \overline{H}_2^1)^2}{(D_{H3}^1)^2} +$$

$$+ \frac{(\gamma_{0-500j} - \overline{\gamma}_{0-500}^1)^2}{(D_\gamma^1)^2} + \frac{(P`_j - \overline{P}`^1)^2}{(D_{P`}^1)^2}.$$

$$R_2^2 = \sum_{i=1}^{L} \frac{(X_{0j} - M_i^2)^2}{(D_i^2)^2} = \frac{(T_{0j} - \overline{T}^2)^2}{(D_T^2)^2} + \frac{(DD_{0j} - D\overline{D}^2)^2}{(D_{DD}^2)^2} +$$

$$+ \frac{(VV_{0j} - V\overline{V}^2)^2}{(D_{VV}^2)^2} + \frac{(F_{0j} - \overline{F}^2)^2}{(D_F^2)^2} + \frac{(H_{2j} - \overline{H}_2^2)^2}{(D_{H2}^2)^2} + \frac{(H_{3j} - \overline{H}_2^2)^2}{(D_{H3}^2)^2} +$$

$$+ \frac{(\gamma_{0-500j} - \overline{\gamma}_{0-500}^2)^2}{(D_\gamma^2)^2} + \frac{(P`_j - \overline{P}`^2)^2}{(D_{P`}^2)^2}.$$

$$R_3^2 = \sum_{i=1}^{L} \frac{(X_{0j} - M_i^3)^2}{(D_i^3)^2} = \frac{(T_{0j} - \overline{T}^3)^2}{(D_T^3)^2} + \frac{(DD_{0j} - D\overline{D}^3)^2}{(D_{DD}^3)^2} +$$

$$+ \frac{(VV_{0j} - V\overline{V}^3)^2}{(D_{VV}^3)^2} + \frac{(F_{0j} - \overline{F}^3)^2}{(D_F^3)^2} + \frac{(H_{2j} - \overline{H}_2^3)^2}{(D_{H2}^3)^2} + \frac{(H_{3j} - \overline{H}_2^3)^2}{(D_{H3}^3)^2} +$$

$$+ \frac{(\gamma_{0-500j} - \overline{\gamma}_{0-500}^3)^2}{(D_\gamma^3)^2} + \frac{(P`_j - \overline{P}`^3)^2}{(D_{P`}^3)^2}.$$

Наприклад, при складанні прогнозу для першого вектора (1.03) відстані розраховуватимуться таким чином:

$$R_1^2 = \frac{(-3{,}4 - 12{,}8)^2}{54{,}28} + \frac{(100 - 108{,}3)^2}{16816{,}67} + \frac{(2 - 3{,}3)^2}{2{,}27} + \frac{(100 - 77{,}2)^2}{284{,}97} +$$

$$+ \frac{(0 - 1645{,}0)^2}{314190{,}00} + \frac{(0 - 1828{,}3)^2}{287416{,}67} + \frac{(0{,}24 - 0{,}157)^2}{0{,}0082} + \frac{(0 - 0{,}203)^2}{0{,}0077} =$$

$$= 33{,}84$$

$$R_2^2 = \frac{(-3{,}4-10{,}9)^2}{34{,}05} + \frac{(100-180{,}0)^2}{14250{,}00} + \frac{(2-3{,}4)^2}{2{,}53} + \frac{(100-78{,}6)^2}{302{,}28} +$$

$$+ \frac{(0-701{,}1)^2}{26871{,}11} + \frac{(0-894{,}4)^2}{48192{,}78} + \frac{(0{,}24-0{,}004)^2}{0{,}0289} + \frac{(0-0{,}157)^2}{0{,}0015} =$$

$$= 30{,}59$$

$$R_3^2 = \frac{(-3{,}4-12{,}2)^2}{59{,}776} + \frac{(100-185{,}2)^2}{9572{,}08} + \frac{(2-3{,}1)^2}{0{,}99} + \frac{(100-78{,}5)^2}{199{,}72} +$$

$$+ \frac{(0-175{,}6)^2}{72133{,}333} + \frac{(0-226{,}7)^2}{11232{,}08} + \frac{(0{,}24-0{,}297)^2}{0{,}1154} + \frac{(0-0{,}071)^2}{0{,}0065} =$$

$$= 10{,}05$$

Коли розрахунки зроблено для усіх векторів (усіх діб досліджуваного сезону), заповнюють табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку відстаней від точки прогнозу до трьох груп забруднення і оцінка справджуваності прогнозу

№ п/п	Дата	R_1^2	R_2^2	R_3^2	Прогностична група забруднення	Фактична група забруднення	Справд-жуваність (да/ні)
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	1.03	33,84	30,59	10,05	3	3	+

Оскільки в прикладі найменшою є відстань від точки прогнозу (1.03) до третьої групи забруднення, тому для цього вектора слід дати прогноз - третя група, а у колонку № 6 записують 3.

Оскільки відповідно до вихідних даних 1.03 фактичне значення Р = 0,05, тобто група забруднення була 3 – у колонку № 7 записують 3. Оскільки прогностична і фактична групи забруднення співпадають (у колонках № 6 і № 7 однакові значення), то прогноз справдився і у колонці № 8 проставляють символ „+”. Якщо б у колонках № 6 і № 7 знаходилися різні значення (прогностична і фактична групи забруднення відрізнялися), то в колонці № 8 слід було б проставити символ „-”.

Щоб визначити справджуваність прогнозу, слід скласти пропорційне рівняння, в якому кількість векторів-рядків (у прикладі 42) - 100 %, а кількість випадків прогнозу, який справдився (кількість символів „+” у колонці № 8) – це X відсотків.

Якщо справджуваність прогнозу складає 70-75 %, то прогностична схема є адекватною, а отриману модель прогнозу забруднення атмосфери можна рекомендувати до практичного впровадження.

4 РОЗЯСНЕННЯ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Тема 1: **“Синоптико-статистичний прогноз забруднення атмосфери методом лінійної регресії ” (пункт, домішка, сезон).**
Вид контролю: захист курсового проекту.

Обов’язковим для студента є виконання індивідуального завдання (ЗМ-ІЗ) у вигляді курсового проекту (КП). Термін виконання курсового проекту **березень-квітень.** Максимальна кількість балів, яку студент може отримати за курсовий проект складає **30 балів.**

Індивідуальний варіант курсового проекту в електронному вигляді студент отримує у викладача на настановній лекції чи розміщується в системі Moodle або висилається на пошту кожному студенту.

В подальшому вихідні данні індивідуального варіанту використовуються студентом не тільки при написанні курсового проекту, а і для виконання практичної роботи № 2 на тему «Прогноз інтегрального показника забруднення атмосфери Р методом розпізнавання образів». Приклад індивідуального варіанту вихідних даних наведено у ДОДАТКУ А та Б.

Послідовність проведення розрахунків та критерії аналізу отриманих результатів наведено в розділах 2.1 - 2.3 цих методичних вказівок.

Детальний приклад, який відповідає завданню по виконанню курсового проекту, приведений в розділі 2.4.

При написанні курсового проекту **треба додержуватися вимог щодо оформлення**, які дійсні на цій момент (керівник не перевіряє КП, які оформлені не належним чином**).** Розглянемо основні вимоги до оформлення курсового проекту.

Текст курсового проекту має бути набраний на комп'ютері і надрукований українською мовою.

Під час виконання роботи над курсовим проектом необхідно дотримуватись рівномірної щільності, контрастності та чіткості.

Повністю виконаний (частинами на перевірку не надсилати!) курсовий проект висилається викладачу на електрону почту для перевірки Студенти надсилають КП на перевірку керівнику – Черняковій Оксані Іванівни на електрону почту – **oksvital65@gmail.com**

Після перевірки, врахування зауважень та допуску до захисту студент пересилає останній варіант курсового проекту на електронну почту кафедри екології та охорони довкілля, яка спеціально створена для офіційної реєстрації СРС заочної форми навчання по дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля» - **4k.modeluv.eaepek.kra@gmail.com** чи прикріплює відповідний файл в системі електронного освітнього ресурса (ЕОР) Moodle (**http://dpt09s.odeku.edu.ua/**).

Основні вимоги до оформлення:

-формат листа - А-4;

-поля: ліве - 3 см, праве - 1,5 см, верхнє - 2 см, нижнє - 2 см;

-інтервал - 1,5;

-абзацний відступ дорівнює п'яти знакам (1,25 см) і залишається постійним на протязі всього тексту.

-шрифт - Times New Roman, розмір шрифту - 14;

-нумерація сторінок – наскрізна, робиться арабськими цифрами у верхньому правому кутку без крапки (титульний аркуш та зміст включають до загальної нумерації, але номер сторінки на титульному аркуші та змісту не проставляють);

- вирівнювання тексту - по ширині та автоматична розстановка переносів виключена.

Курсовий проект (згідно з ДСТУ) має наступну структуру:

- **титульний аркуш** (зразок якого наведено нижче);
- **зміст** (розташовують безпосередньо після титульного листа, починаючи з нової сторінки і зразок якого наведено нижче);
- **вступ**;
- **основна частина**(3 розділи);
- **висновки** (стисло вказати ціль КП, дати характеристику вихідних даних (пункт, домішка, сезон) та навести основні висновки по кожному етапу роботи (без детальних роз'яснень);
- **перелік посилань** (на всі використані літературні джерела у тексті, крім **вступу та висновків**, повинні бути посилання, причому у переліку посилань джерела розташовують у порядку, за яким вони вперше згадуються в тексті, посилання на правила оформлення переліку джерел наведено нижче);
- **додатки** (розмістити в електронному вигляді вихідні дані індивідуального варіанту та 9 графіків залежності предиктанта (Р) від

кожного з вибраних предикторів (**T_0, D_0 ,V_0 ,F_0 ,H_1, H_2 , H_3 ,Y_{0-500} , P’)).**

Кожен **розділ** слід оформляти, починаючи **з нової сторінки**.

При оформлені **підрозділів** сторінку продовжують. Розділи та підрозділи повинні мати заголовки. **Заголовки розділів** слід розташовувати посередині рядка і друкувати великими літерами без крапки в кінці, не підкреслюючи. Перенос слів в заголовку не дозволяється. Відстань між заголовком та наступним текстом не менш двох рядків. **Заголовки підрозділів** починають з абзацного відступу і друкують маленькими літерами, крім першої великої, не підкреслюючи, без крапки в кінці.

Ілюстрації та таблиці розміщують **безпосередньо після тексту** або на наступній сторінці **після першого посилання** на неї (в тексті роботи обов’язково має бути посилання на ілюстрацію чи таблицю).

Ілюстрація повинна мати **назву, яку розміщують під ілюстрацією.** Ілюстрація починається словом « Рисунок », а далі розміщують номер та назву. Наприклад, "Рисунок 3.1 – Схема розташування ". Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації в розділі, відокремлених крапкою.

Таблиці нумерують арабськими цифрами. **Назву розміщують до таблиці**. Наприклад, "Таблиця 3.1 – Результати розрахунку". Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці в розділі, відокремлених крапкою.

Формули і рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються. Вище і нижче кожної формули повинно бути залишено один вільний рядок.

В курсовому проекті **формули слід нумерувати** порядковою нумерацією в межах розділу, навіть якщо існує одна формула або рівняння. Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою (наприклад, формула 1.3 – третя формула першого розділу).

Формули повинні бути набрані за допомогою редактора формул (внутрішній редактор формул в Microsoft Word for Windows).

Формулу розташовують посередині строки, а **номер формули** зазначають на рівні формули в дужках у крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнта слід надати з нового рядка. Перший рядок пояснення починають з абзацу словом «де» без двокрапки.

Наприклад:

$$СТЖ_{забр.} = (Q_{фак.} \cdot К_{фак.}) / (К_{забр.}) \ , \qquad (1.3)$$

де $Q_{фак}$ - імовірність перебування мешканця в умовах забрудненого атмосферного повітря;

$К_{фак.}$ – фактична концентрації домішки у атмосферному повітрі, мг/м^3 ;

$К_{забр}$ - питома концентрація забруднюючої речовини.

Правила оформлення переліків. Переліки починаються з абзацного отступу. Перед кожною позицією переліку слід ставити малу літеру української абетки в дужках, або, не нумеруючи – дефіс (перший рівень деталізації). Переліки першого рівня деталізації друкують малими літерами з абзацного відступу, другого рівня – з відступом відносно місця розташування переліків першого рівня. Для подальшої деталізації переліку слід використовувати арабські цифри з дужкою (другий рівень деталізації).

Приклад 1:

-форма і розмір клітини;

-живий склад клітини;

-утворення тканини.

Приклад 2:

а)форма і розмір клітини;

b)живий склад клітини:

с)утворення тканини.

Приклад 3:

а)форма і розмір клітини;

b)живий склад клітини:

1)частина клітин;

2)неживі включення протопластів;

с)утворення тканини.

Необхідно суворо дотримуватись правил переносу. **Не можна:**

- переносити прізвища, залишаючи в кінці попереднього рядка ініціали або інші умовні скорочення, що до них відносяться (наприклад, Т.Г. Шевченко, а не Т.Г. // Шевченко, доц. Гончаренко, а не

доц. //Гончаренко);

- розривати скорочені географічні назви (наприклад, оз. Байкал, а не оз. // Байкал, р. Дністер, а не р. //Дністер);
- якщо імена, по батькові, звання, географічні назви подаються повністю, то переносити їх можна;
- відривати скорочені назви розмірностей від цифр, до яких вони відносяться (наприклад, 2010-11 рр., а не 2010-//11 рр. або 2010-11// рр.);
- розривати граматичні закінчення, з'єднанні з цифрами через дефіс (наприклад, 2-й, 5-ої, а не 2- //й, 5- //ої);
- розривати умовні скорочення типу і т.д., і т. їн., та ін. тощо;
- розривати рисунок і підпис під ним;
- залишати назву розділу, підрозділу, таблиці або її «шапку» в нижній частині сторінки, якщо після них розміщується тільки 1 рядок тексту.

Перелік посилань: у квадратних дужках по тексту [1, 2, 3], бібліографічний список в кінці КП у розділі «ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ». Приклади бібліографічних описів для переліку посилань наведені нижче.

При формуванні **ПЕРЕЛІКУ ПОСИЛАНЬ** необхідно:

- навести **всі** використані літературні джерела, на які були посилання у тексті (крім **вступу та висновків);**
- причому у переліку посилань джерела розташовують у порядку, за яким вони **вперше згадуються в тексті** (посилання на правила оформлення переліку джерел наведено нижче).

Для написання розділу **ВСТУП** необхідно:

- стисло викласти актуальність питань охорони атмосфери (2 - 4 речення);
- пояснити як використання прогностичних моделей допомагає вирішувати питання охорони та поліпшення якості атмосферного повітря (2 – 4 речення);
- сформулювати ціль курсового проекту;
- надати стислу характеристику вихідних даних (пункт, домішка, сезон);
- описати структуру курсового проекту (описати з яких розділів складається курсовий проект та яка інформація наведена у кожному розділі).

Для написання розділу 1 **МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ РОЗСІЮВАННЯ ДОМІШОК В АТМОСФЕРІ** (теоретичний розділ) необхідно використувати наступні літературні джерела

Основна література

1.**Полетаєва Л.М.** Моделювання та прогнозування стану довкілля **(атмосферне повітря) : конспект лекцій.** Одеса, Одеський державний екологічний університет, 2021. 96 с.

http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9307/3/PoletaevaKL_Modeluvan_KL_2021.pdf

Додаткова література

1.Владимиров А. М, Ляхин Ю. И. и др. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 423 с.

2.Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие / Под ред. Безуглой Э. Ю, Берлянда М. Е. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 280 с.

3.Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха в городах. / Под ред. Берлянда М. Е. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 38 с.

4.Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха в городах с учетом метеорологических условий. РД 52.04.78-85 . М., 1986.

5.Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 272 с.

6.Сонькин Л. Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 223 с.

Для написання розділу **2 ПОБУДОВА СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУ** можна використувати розділи 1.2 - 1.4 цих методичних вказівок.

Необхідно:

- надати стислу характеристику синоптико-статистичних методів прогнозу.
- дати визначення що таке «предиктант» та «предиктори»;

- описати процедуру вибору предиктанта та формування складу предикторів.

Для написання **підрозділу 2.1 Алгоритм методу покрокової регресії** необхідно:

- дати характеристику прогнозування забруднення повітря методом лінійного регресійного аналізу;
- навести алгоритм методу покрокової регресії;

Для написання **підрозділу 2.2 Характеристика вихідних даних** необхідно:

- описати склад предикторів та предиктанта індивідуального варіанта;
- надати характеристику вихідних даних конкретного індивідуального варіанту (пункт, домішка, сезон).

Для написання **підрозділу 2.3 Аналіз зв'язків предикторів з предиктантом** необхідно:

-указати причину побудови та аналізу графіків залежності предиктанта **(P)** від кожного з вибраних предикторів (**T_0, D_0 ,V_0, F_0, H_1, H_2 , H_3 ,Y_{0-500} , P');**

-побудувати 9 графіків та розмістити їх у **Додатку** з урахуванням вимог оформлення;

-проаналізувати кожен графік враховуючи загальний вигляд та значення відповідного коефіцієнта кореляції, які наведено у результатах розрахунку індивідуального варіанта (при аналізі дев'яти кореляційних графіків виявити ті предиктори (чи предиктор), які мають лінійний зв'язок з предиктантом);

-**зробити висновок** о доцільності складання прогнозу забруднення повітря методом лінійного регресійного аналізу.

При написанні розділу **3 ПОБУДОВА ПРОГНОСТИЧНОГО РІВНЯННЯ ТА ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ** необхідно додержуватись послідовності, яка наведена у розділі 2.3. Детальний приклад розрахунку та аналізу отриманої інформації наведено у розділі 2.4.

При написанні розділу **ВИСНОВКИ** необхідно:

-стисло вказати ціль КП:

- дати стислу характеристику вихідних даних (пункт, домішка, сезон);
- навести основні висновки по кожному етапу роботи (без детальних роз'яснень).
- зробити загальний висновок (модель адекватна чи неадекватна);
- у випадку неадекватності моделі навести причини.

При формуванні **ПЕРЕЛІКУ ПОСИЛАНЬ** необхідно:
- навести **всі** використані літературні джерела, на які були посилання у тексті (крім **вступу та висновків);**
- причому у переліку посилань джерела розташовують у порядку, за яким вони вперше згадуються в тексті (посилання на правила оформлення переліку джерел наведено нижче).

Перелік посилань: у квадратних дужках по тексту [1, 3] чи [1], бібліографічний список в кінці тексту. Приклади бібліографічних описів для переліку посилань наведені нижче.

ПРИКЛАДИ БІБЛІОГРАФІЧНИХ ОПИСІВ ДЛЯ ПЕРЕЛІКУ ПОСИЛАНЬ

Книга:

одного - трьох авторів:

Панько Т.І., Кочан І.М., Мацюк Г.П. Українське термінознавство. Львів, 1994. 216 с.

чотирьох і більше авторів:

Управління персоналом в умовах економіки знань: монографія / Азаренкова Г. М. та ін. Київ, 2012. 406 с.

Розділ книги:

Наумов М.С. Напрями впливу інтелектуалізації економіки на розвиток ринкових відносин в Україні. Трансформаційні процеси в суспільстві в умовах інформаційної економіки: монографія // В.П. Решетило, М.С. Наумов, Ю.В. Федотова: Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. Харків, 2014. Розд. 4. С. 213 – 241.

Без автора (під назвою). Збірники:

Експлуатація і технічне обслуговування газорозподільчих станцій магістральних газопроводів / За заг. ред. А.А. Руднік. Київ, 2003. 370 с.

Становлення та розвиток комунального господарства й комунальної освіти міста Харкова (1873–2012): бібліогр. покажчик / Харківський національний університет міського господарства: уклад. О.М. Штангей, Т.С. Муханова, О.Ф. Сергієнко. Харків, 2012. 118 с.

Стаття з журналу:

Романюк О.М. Шляхи модернізації підприємств водопровідноканалізаційного господарства // Водопостачання та водовідведення. 2013. № 6. С. 16 – 25.

Стаття зі збірника:

Маляренко В.А., Ильченко М.Б. Снижения энергозатрат при эксплуатации газотранспортных систем путем автоматизации их учета // Комунальне господарство міст. Сер. Технічні науки та архітектура. Харків, 2017. Вип. 134. С. 27–33.

Матеріали конференцій, з'їздів, тези доповідей:

Рудська В.О., Саблій Л.А. Дослідження процесу іммобілізації мікроорганізмів на полімерному носії // Ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий и промышленных предприятий: материалы II международной научно-технической интернет-конференции (2 – 27 февр. 2016, г. Харьков).

Харьков, 2016. С. 36 – 38.

Багатотомні видання:

Енциклопедія історії України: у 10 т. Київ: Наукова думка, 2013. Т.10. 784 с.

Каталоги:

Національна академія наук України. Анотований каталог книжкових видань 2008 року. Київ : Академперіодика, 2009. 444 с.

Дисертації:

Романова Т.І. Підвищення ефективності освітлювальних установок внутрішньобудинкового освітлення: дис. канд. техн. наук: 05.09.07 – світлотехніка та джерела світла // Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. Харків, 2015. 256 с.

Автореферати дисертацій:

Ачкасов І.А. Управління інноваційними платформами проектів енергозберігаючих технологій у житлово-комунальному господарстві: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2008. 18 с.

Стандарти:

ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ, 2016. 16 с.

ГОСТ Р 517721-2001. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединений. Технические требования. Москва, 2001. 27 с.

Опис електронного ресурсу загалом:

Наукові публікації і видавнича діяльність НАН України. Київ, 2007. URL: http://www.nas.gov.ua/publications (дата звернення: 19.03.2014).

Опис частини електронного ресурсу:

Конституція України: Закон від 28.06.1996 №254к/96-ВР. База даних «Законодавство України» // ВР України. URL: http//zacon2.rada.gov.ua/laws/show (дата звернення: 08.02.2012).

У ДОДАТКАХ:

- розмістити в електронному вигляді вихідні дані індивідуального варіанту (Додаток А та Б);
- 9 графіків залежності предиктанта (P) від кожного з вибраних предикторів (**T_0, D_0 ,V_0 ,F_0 ,H_1, H_2 , H_3 ,Y_{0-500} , P'))** Додаток В.

ОЦІНКА КУРСОВОГО ПРОЕКТУ
по дисципліні : "МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ"

студента (ки) _____ групи _____

Вид роботи	Максимальна кількість балів	Оцінка викладача
Оцінка своєчасності виконання етапів роботи на протязі семестру	4	
Оформлення курсового згідно з вимогами ДСТУ	4	
Оцінка змісту курсового проекту	10	
Оцінка захисту курсового проекту	12	
ЗАГАЛОМ бали	30	
ЗАГАЛОМ відсотки	100	
ОЦІНКА		

Перелік посилань

1.Полетаєва Л.М. Моделювання та прогнозування стану довкілля (атмосферне повітря) : конспект лекцій. Одеса, Одеський державний екологічний університет, 2021. 96 с. http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9307/3/PoletaevaKL_Modeluvan_KL_2021.pdf

2.Полетаєва, Л. М., Юрасов, С. М., Ільїна, В. Г., Чернякова, О. І., Грабко, Н. В., Фролова, Н. М. (2006) Моделювання та прогнозування стану довкілля: збірник методичних вказівок до практичних робіт. ОДЕКУ, Одеса. http://eprints.library.odeku.edu.ua/409/1/PoletaevaLM_Modeluvanny_PraktRab_MV_2006.pdf

3.Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 272 с.

4.Владимиров Ф.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. Охрана окружающей среды Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 424 с.

5.Генихович Е.Л., Гущин В.А., Сонькин Л.Р. О возможности прогноза загрязнения воздуха методом распознавания образов // Труды ГГО.- 1973. Вып. 293. С.21-25.

6.Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 224 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 - Значення предикторів і предиктанту за певний сезон року (вихідні дані)

Дата	T_0	BB_0	VV_0	F_0	H_1	H_2	H_3	$\gamma_{0\text{-}500}$	P`	P
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
1.03	-3,4	100	2	100	500	0	0	0,24	0	0,05
4.03	-1,3	90	3	100	0	290	750	0,24	0,1	0,05
6.03	0,4	80	3	100	0	390	760	-0,34	0,25	0,05
9.03	22,4	20	5	96	0	1070	1440	0,1	0,1	0,33
11.03	0,6	40	4	96	0	610	780	0,36	0,14	0,22
14.03	1	150	2	91	0	1620	1750	0,18	0,1	0,3
17.03	1,4	120	4	87	300	0	0	0,88	0,14	0,1
19.03	5,7	350	3	68	0	0	0	0,62	0,19	0,1
21.03	11,1	340	4	75	0	740	810	0,14	0,07	0,08
23.03	6,7	350	3	90	0	480	610	0,68	0,08	0,17
25.03	13,5	350	2	60	0	2150	2230	0,06	0,22	0,34
27.03	11	180	3	70	280	0	0	-0,04	0,08	0,05
29.03	10,3	180	5	73	110	0	0	0,3	0,17	0,19
30.03	10,7	330	3	89	0	0	0	0,06	0,19	0,29
1.04	7,7	150	4	72	0	710	800	0,04	0,16	0,16
3.04	7	140	3	90	80	620	750	0,14	0,25	0,16
5.04	9,3	10	4	84	50	960	1070	0,32	0,21	0,33
7.04	8,5	20	6	62	0	810	900	-0,06	0,08	0,22
9.04	11,9	340	6	62	0	1680	1890	0,06	0,2	0,28
11.04	12,3	30	5	54	0	2360	2560	0,12	0,29	0,33
13.04	8	160	2	92	0	690	910	0,08	0,17	0,27
15.04	6,8	150	3	96	0	380	420	0,58	0,13	0
17.04	7,3	180	2	100	0	650	670	0,02	0,15	0,2
19.04	12,8	290	3	54	0	1130	1990	-0,1	0,19	0,27
21.04	7	150	3	91	0	670	700	-0,34	0,04	0
22.04	10,4	270	3	54	90	0	0	0,96	0	0
23.04	18	140	2	64	0	0	0	0,72	0	0
24.04	17,7	80	2	65	0	0	0	0,42	0	0
25.04	13,7	120	2	87	160	0	0	-0,12	0	0

Продовження табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
27.04	19	90	2	66	0	740	910	-0,22	0,17	0,21
29.04	21,7	160	3	62	0	0	0	0	0	0
4.05	22,9	230	3	56	0	0	0	0,32	0	0,08
5.05	17,9	90	6	85	550	0	0	0,48	0	0,08
7.05	19,6	320	3	82	190	0	0	0,02	0,08	0,12
9.05	20,5	90	2	76	0	0	0	0,8	0,08	0
13.05	19,2	170	3	86	0	0	0	-0,16	0,12	0,22
15.05	16,5	160	3	95	0	460	520	0,28	0,11	0,17
17.05	18,6	350	4	73	0	0	0	0,33	0	0
19.05	18,5	360	3	63	0	0	0	0,17	0	0
23.05	18	90	2	78	0	1710	1920	0,16	0,3	0,32
25.05	21,8	80	1	62	0	0	0	0,22	0	0
28.05	20,5	170	3	83	0	0	0	0,29	0	0

ДОДАТОК Б

Результати розрахунку по програмі STEP

Середні предикторів і предиктанту

11.981 16.736 3.190 78.310 23.100 95.091 114.273 0.215 0.109 0.137

Середньоквадратичні відхилення предикторів і предиктанту

7.179 10.796 1.194 14.853 16.676 57.189 60.787 0.307 0.090 0.121

Матриця нормованих і центрованих значень X

-2,142	-0,624	-0,997	1,46	1,613	0	0	0,083	-1,209	-0,718
-1,85	-0,717	-0,159	1,46	0	-1,156	-0,646	0,083	-0,095	-0,718
-1,613	-0,809	-0,159	1,46	0	-0,981	-0,63	-1,804	1,575	-0,718
1,451	-1,365	1,515	1,191	0	0,208	0,489	-0,372	-0,095	1,603
-1,585	-1,18	0,678	1,191	0	-0,596	-0,597	0,473	0,35	0,691
-1,53	-0,161	-0,997	0,854	0	1,17	0,999	-0,112	-0,095	1,354
-1,474	-0,439	0,678	0,585	0,414	0	0	2,164	0,35	-0,304
-0,875	1,692	-0,159	-0,694	0	0	0	1,319	0,907	-0,304
-0,123	1,599	0,678	-0,223	0	-0,369	-0,547	-0,242	-0,429	-0,47
-0,736	1,692	-0,159	0,787	0	-0,823	-0,876	1,514	-0,318	0,276
0,212	1,692	-0,997	-1,233	0	2,097	1,789	-0,503	1,241	1,686
-0,137	0,117	-0,159	-0,559	0,294	0	0	-0,828	-0,318	-0,718
-0,234	0,117	1,515	-0,357	-0,726	0	0	0,278	0,684	0,442
-0,178	1,506	-0,159	0,72	0	0	0	-0,503	0,907	1,271
-0,596	-0,161	0,678	-0,425	0	-0,421	-0,564	-0,568	0,573	0,193
-0,694	-0,253	-0,159	0,787	-0,905	-0,579	-0,646	-0,242	1,575	0,193
-0,373	-1,458	0,678	0,383	-1,085	0,016	-0,12	0,343	1,129	1,603
-0,485	-1,365	2,353	-1,098	0	-0,246	-0,399	-0,893	-0,318	0,691
-0,011	1,599	2,353	-1,098	0	1,275	1,229	-0,503	1,018	1,188
0,044	-1,272	1,515	-1,637	0	2,464	2,332	-0,307	2,02	1,603
-0,555	-0,068	-0,997	0,922	0	-0,456	-0,383	-0,438	0,684	1,105
-0,722	-0,161	-0,159	1,191	0	-0,998	-1,189	1,189	0,239	-1,133
-0,652	0,117	-0,997	1,46	0	-0,526	-0,778	-0,633	0,461	0,525
0,114	1,136	-0,159	-1,637	0	0,313	1,394	-1,023	0,907	1,105

-0,694	-0,161	-0,159	0,854	0	-0,491	-0,728	-1,804	-0,763	-1,133
-0,22	0,951	-0,159	-1,637	-0,846	0	0	2,425	-1,209	-1,133
0,838	-0,253	-0,997	-0,963	0	0	0	1,644	-1,209	-1,133
0,797	-0,809	-0,997	-0,896	0	0	0	0,668	-1,209	-1,133
0,239	-0,439	-0,997	0,585	-0,426	0	0	-1,088	-1,209	-1,133
0,978	-0,717	-0,997	-0,829	0	-0,369	-0,383	-1,413	0,684	0,608
1,354	-0,068	-0,159	-1,098	0	0	0	-0,698	-1,209	-1,133
1,521	0,58	-0,159	-1,502	0	0	0	0,343	-1,209	-0,47
0,824	-0,717	2,353	0,45	1,913	0	0	0,863	-1,209	-0,47
1,061	1,414	-0,159	0,248	-0,246	0	0	-0,633	-0,318	-0,138
1,187	-0,717	-0,997	-0,155	0	0	0	1,904	-0,318	-1,133
1,006	0,024	-0,159	0,518	0	0	0	-1,218	0,127	0,691
0,629	-0,068	-0,159	1,124	0	-0,858	-1,024	0,213	0,016	0,276
0,922	1,692	0,678	-0,357	0	0	0	0,376	-1,209	-1,133
0,908	1,784	-0,159	-1,031	0	0	0	-0,145	-1,209	-1,133
0,838	-0,717	-0,997	-0,021	0	1,327	1,279	-0,177	2,131	1,52
1,368	-0,809	-1,834	-1,098	0	0	0	0,018	-1,209	-1,133
1,187	0,024	-0,159	0,316	0	0	0	0,245	-1,209	-1,133

Суміщена матриця коеф. кореляції Rij і коеф. значущості tij

1	0,099	-0,054	-0,49	-0,074	0,234	0,228	-0,032	-0,319	-0,115
0,641	1	-0,052	-0,276	-0,087	0,093	0,091	0,076	-0,077	-0,066
0,35	0,334	1	-0,096	0,1	0,106	0,105	0,004	0,141	0,262
4,128	1,917	0,617	1	0,173	-0,505	-0,52	-0,084	0,1	0,039
0,478	0,562	0,65	1,141	1	0,034	0,048	0,032	-0,284	-0,156
1,588	0,6	0,689	4,338	0,219	1	0,953	-0,06	0,296	0,481
1,537	0,591	0,683	4,566	0,309	66,541	1	-0,097	0,314	0,482
0,203	0,489	0,023	0,543	0,206	0,387	0,624	1	-0,252	-0,282
2,277	0,497	0,923	0,644	1,975	2,079	2,23	1,724	1	0,73
0,744	0,423	1,8	0,251	1,023	4,012	4,02	1,96	10,013	1

КРОК 1-й
Вільний член A[0] = -5.0076751424E-13
Частинний коеф. регресії:
A[1] = 0.730 Коеф. значущості ta = 6.758 Предиктор 9

Множинний коеф. кореляції Rmk = 0.730

КРОК 2-й
Вільний член A[0] = -3.8015203159E-13
Частинні коеф. регресії:
A[1] = 0.644 Коеф. значущості ta = 6.524 Предіктор 9
A[2] = 0.397 Коеф. значущості ta = 2,943 Предіктор 6
Множинний коеф. кореляції Rmk = 0.781

КРОК 3-й
Вільний член A[0] = -2.1273151664E-12
Частинні коеф. регресії:
A[1] = 0.627 Коеф. значущості ta = 6.519 Предиктор 9
A[2] = 0.383 Коеф. значущості ta = 2,917 Предиктор 6
A[3] = 0.143 Коеф. значущості ta = 1.492 Предиктор 3
Множинний коеф. кореляції Rmk = 0.794

КРОК 4-й
Вільний член A[0] = -3.1646249354E-14
Частинні коеф. регресії:
A[1] = 0.571 Коеф. значущості ta = 6.163 Предиктор 9
A[2] = 0.538 Коеф. значущості ta = 4.254 Предиктор 6
A[3] = 0.158 Коеф. значущості ta = 1.703 Предиктор 3
A[4] = 0.196 Коеф. значущості ta = 2.118 Предиктор 4
Множинний коеф. кореляції Rmk = 0.810

КРОК 5-й
Вільний член A[0] = -1.4102225261E-13
Частинні коеф. регресії:
A[1] = 0.546 Коеф. значущості ta = 5,979 Предиктор 9
A[2] = 0.534 Коеф. значущості ta = 4.287 Предиктор 6
A[3] = 0.161 Коеф. значущості ta = 1.768 Предиктор 3
A[4] = 0.189 Коеф. значущості ta = 2.069 Предиктор 4
A[5] = -0,105 Коеф. значущості ta = 1.153 Предиктор 8
Множинний коеф. кореляції Rmk = 0.816

КРОК 6-й
Вільний член A[0] = -1.3437117873E-13
Частинні коеф. регресії:
A[1] = 0.581 Коеф. значущості ta = 6.426 Предиктор 9
A[2] = 0.517 Коеф. значущості ta = 4.188 Предиктор 6
A[3] = 0.167 Коеф. значущості ta = 1.851 Предиктор 3

A[4] = 0.230 Коеф. значущості ta = 2.548 Предиктор 4
A[5] = -0.091 Коеф. значущості ta = 1.002 Предиктор 8
A[6] = 0.101 Коеф. значущості ta = 1.120 Предиктор 1
Множинний коеф. кореляції Rmk = 0.820

КРОК 7-й
Вільний член A[0] = 4.4601235607E-14
Частинні коеф. регресії:
A[1] = 0.547 Коеф. значущості ta = 6.080 Предиктор 9
A[2] = 0.551 Коеф. значущості ta = 4.490 Предиктор 6
A[3] = 0.178 Коеф. значущості ta = 1,978 Предиктор 3
A[4] = 0.254 Коеф. значущості ta = 2.823 Предиктор 4
A[5] = -0.094 Коеф. значущості ta = 1.044 Предиктор 8
A[6] = 0.092 Коеф. значущості ta = 1.017 Предиктор 1
A[7] = -0.135 Коеф. значущості ta = 0.739 Предиктор 5
Множинний коеф. кореляції Rmk = 0.822

КРОК 8-й
Вільний член A[0] = 9.6109847785E-14
Частинні коеф. регресії:
A[1] = 0.536 Коеф. значущості ta = 5.979 Предиктор 9
A[2] = 0.377 Коеф. значущості ta = 3.075 Предиктор 6
A[3] = 0.180 Коеф. значущості ta = 2.005 Предиктор 3
A[4] = 0.268 Коеф. значущості ta = 2.990 Предиктор 4
A[5] = -0.089 Коеф. значущості ta = 0.989 Предиктор 8
A[6] = 0.092 Коеф. значущості ta = 1.022 Предиктор 1
A[7] = -0.152 Коеф. значущості ta = 0.835 Предиктор 5
A[8] = 0.199 Коеф. значущості ta = 1.622 Предиктор 7
Множинний коеф. кореляції Rmk = 0.824

КРОК 9-й
Вільний член A[0] = -6.6196257950E-04
Частинні коеф. регресії:
A[1] = 0.537 Коеф. значущості ta = 5.988 Предиктор 9
A[2] = 0.376 Коеф. значущості ta = 3.072 Предиктор 6
A[3] = 0.181 Коеф. значущості ta = 2.016 Предиктор 3
A[4] = 0.272 Коеф. значущості ta = 3.035 Предиктор 4
A[5] = -0.089 Коеф. значущості ta = 0.994 Предиктор 1
A[6] = 0.093 Коеф. значущості ta = 1.033 Предиктор 8
A[7] = -0.151 Коеф. значущості ta = 0.829 Предиктор 5
A[8] = 0.200 Коеф. значущості ta = 1.630 Предиктор 7
A[9] = 0.012 Коеф. значущості ta = 0.139 Предиктор 2
Множинний коеф. кореляції Rmk = 0.824

ДОДАТОК В

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра екології та охорони довкілля

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ
з "МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ"

на тему: " СИНОПТИКО-СТАТИСТИЧНИЙ ПРОГНОЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ МЕТОДОМ ЛІНІЙНОЇ РЕГРЕСІЇ"
(М. ОДЕСА, *ДОМІШКА, СЕЗОН*)

Студента (ки) 4 курсу _____групи
_____

Спеціальність 101 Екологія

Керівник ст. викладач
ЧЕРНЯКОВА ОКСАНА ІВАНІВНА

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка ECTS _____

Члени комісії _____ Чернякова О.І._____
(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Одеса - 202 _ рік

ДОДАТОК Г

ЗМІСТ

ВСТУП

1 МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ РОЗСІЮВАННЯ ДОМІШОК В АТМОСФЕРІ ……..

2 ПОБУДОВА СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУ……

2.1 Алгоритм методу покрокової регресії…….....

2.2 Характеристика вихідних даних……

2.3 Аналіз зв’язків предикторів з предиктантом……

3 ПОБУДОВА ПРОГНОСТИЧНОГО РІВНЯННЯ ТА ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ…….....

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

ДОДАТОК Д

Приклад оформлення титульного листа письмового звіту

Дисципліна: «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ»

Практична робота № 1 на тему: «Прогнозування забруднення повітря методом лінійного регресійного аналізу»

Студента заочного відділення

Курс ____Група ___ 202_ - 202__ навчальний рік

_____

(Прізвище, ініціали студента)

Індивідуальний варіант № _____

Дисципліна: «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ»

Практична робота № 2 на тему: «Прогнозування забруднення повітря методом розпізнавання образів»

Студента заочного відділення

Курс ____Група ___ 202_ - 202__ навчальний рік

_____

(Прізвище, ініціали студента)

Індивідуальний варіант № _____

Примітка: Для студентів, у яких в навчальному плані немає курсового проекту, виконують дві практичні роботи, а по результатам оформлюють письмовий звіт. Письмовий звіт для кожного практичного модуля складається окремо, причому роботи необхідно переслати для перевірки на електронну почту кафедри екології та охорони довкілля, яка спеціально створена для офіційної реєстрації СРС заочної форми навчання по дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля» - **4k.modeluv.eaepek.kra@gmail.com** для перевірки викладачем та оцінювання. Письмовий звіт для кожного практичного заняття оформлюється по аналогії з прикладом розрахунку, який наведено для кожної практичної роботи.

За кожну практичну роботу з дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля (атмосферне повітря)» студент може отримати за умови своєчасного виконання завдання на дату запланованого контролюючого заходу та захисту **10 балів**.

ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ ТА ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ
З ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ
СТАНУ ДОВКІЛЛЯ» (атмосферне повітря)

для бакалаврів 4 року навчання заочної форми
спеціальності 101 «Екологія»

Укладачі: Чернякова О.І.,
Грабко Н.В.,
Наконечна З.В.

Підп. до друку Формат 60х84/16
Папір
Умовн. друк. арк. Тираж Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
65015, Одеса, вул. Львівська, 15