

*Мокін В.Б.
Ящолт А.Р.
Варчук І.В.
Скорина Л.М.*

Моделювання та прогнозування стану довкілля

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В.Б. Мокін, А.Р.Ящолт, І.В. Варчук, Л.М.Скорина

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

Лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК 681.3(075)

М 74

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № від 2017 р.)

Рецензенти:

Петрук В.Г., доктор технічних наук, професор (Вінницький національний технічний університет)

Кулик А.Я., доктор технічних наук, професор (Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова)

Ковтун В.В., кандидат технічних наук, доцент (Вінницький національний технічний університет)

М 74 Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум :навчальний посібник [Електронний ресурс] / Під ред. В.Б. Мокіна. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 84 с.

У навчальному посібнику викладено порядок проведення лабораторних робіт з дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля» з теоретичними відомостями та практичними рекомендаціями щодо їх виконання. Наведено перелік контрольних питань для перевірки набутих при виконанні лабораторних робіт теоретичних знань та практичних навичок.

Посібник рекомендується для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» та за спеціальністю «Екологія».

УДК 681.3(075)

Навчальне самостійне електронне мережне видання

**Мокін Віталій Борисович
Ящолт Андрій Русланович
Варчук Ілона Вячеславівна
Скорина Любов Миколаївна**

**Моделювання та прогнозування стану довкілля
Лабораторний практикум**

Електронний навчальний посібник

Електронний ресурс PDF.

Підписано до видання 25.07.2018 р. Зам. № P2018-018

Видавець та вигоготовлювач - Вінницький національний технічний університет,

Інформаційний редакційно-видавничий центр. ВНТУ, ГНК, к.114,

Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021,

тел. (0432) 65-18-06.

press.vntu.edu.ua;

Email: irvc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

© В. Б. Мокін, А.Р.Ящолт, І. В. Варчук, Л. М. Скорина, 2017

Зміст

ВСТУП	5
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 ОЗНАЙОМЛЕННЯ ІЗ КОМП'ЮТЕРНИМИ ПРОГРАМАМИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ.....	6
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ ВОД У РІЧЦІ ЗАСОБАМИ MATHCAD PROFESSIONAL. СТАЦІОНАРНА ПЛОЩИННА ЗАДАЧА.....	11
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У РІЧЦІ ЗАСОБАМИ MICROSOFT EXCEL. СТАЦІОНАРНА ПЛОЩИННА ЗАДАЧА.....	18
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У РІЧКАХ ЗА РІЗНИМИ МОДЕЛЯМИ	21
5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАБРУДНЕННЯ У ҐРУНТАХ ЗА МГУА	28
6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПУЛЯЦІЙНОЇ ДИНАМІКИ ТА БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	32
7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7 МОДЕЛЮВАННЯ ДАНИХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАСОБАМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	37
8 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСІЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДИКИ ОНД-86 ТА MATHCAD PROFESSIONAL.....	44
9 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗСІЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ	

Зміст

АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДИКИ ОНД-86 ТА MICROSOFT EXCEL.....	51
10 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10 ПЕРВИННА СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ДАНИХ. КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ.....	60
11 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11 ІНТЕРПОЛЮВАННЯ ТА АПРОКСИМАЦІЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МОДЕЛЕЙ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ.....	66
12 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №12 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ РЕГІОНОМ НА ПРИКЛАДІ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ В ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІЙ ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ ГІС «РІДНА ПРИРОДА».....	71
ЛІТЕРАТУРА.....	80

Вступ

Однією з основних проблем людської цивілізації XXI століття є проблема охорони навколишнього природного середовища. Як відомо, у масштабах усєї земної кулі життя розвивається лише в тонкому шарі води, повітря і ґрунту: кілька кілометрів в океані й атмосфері та всього кілька метрів у ґрунті. Посилення впливу людської діяльності, що зумовлюється зростаючою технічною та енергетичною озброєністю людини, призводить до дедалі помітніших змін стану біосфери, причому більшість з них мають негативний характер для всього живого. Тому проблема охорони довкілля безпосередньо пов'язана не тільки з питаннями забезпечення нормальних умов життя людей, а й має пряме відношення до розвитку різноманітних природних систем (екосистем), що існують на Землі. У зв'язку з цим найбільшу важливість здобувають проблеми контролю якості і регулювання стану навколишнього середовища, прогнозування наслідків негативних впливів на природні екосистеми.

Розв'язання основних проблем екології, в тому числі тих, про які зазначалося вище, неможливе без знань основних положень і методів екологічної науки, які створюються і розвиваються на основі сучасної методології, зокрема, основних положень системного аналізу, математичних методів і методів математичного та імітаційного моделювання.

Мета виконання лабораторних робіт: на прикладі різних видів моделей оволодіти знаннями та навичками моделювання процесів у різних екосистемах з використанням методів прикладної математики, математичної статистики й оптимізації з використанням сучасних комп'ютерних програм та інформаційних технологій.

Матеріал посібника може бути корисним і для слухачів другої вищої освіти з екології та студентам інших спеціальностей, які недостатньо володіють основними знаннями та навичками роботи із методами та комп'ютерними засобами прикладної математики та моделювання і прогнозування.

1 Лабораторна робота №1

Ознайомлення із комп'ютерними програмами для моделювання та прогнозування стану довкілля

Мета: знайти в Internet та провести аналіз можливостей комп'ютерних програм та систем для моделювання та прогнозування стану довкілля.

1.1 Теоретичні відомості

Як знайти потрібну інформацію про засоби моделювання стану довкілля? Коли ви вже були на сайті, ви знаєте конкретну адресу. Але якщо її місцезнаходження невідоме?

Існують два способи.

Перший: ви знаєте, де інформація може бути. Наприклад, це – портали-агрегатори, на які надходить багато цікавої інформації, пов'язаної з дослідженням стану довкілля, наприклад такої:

- Портал Міністерства екології та природних ресурсів України:
<http://menr.gov.ua/>

- Портал Європейського агентства з навколишнього середовища (European Environment Agency): <https://www.eea.europa.eu/>

- Портал Фінського метеорологічного інституту, присвячений системі системі SILAM («System for Integrated modelLing of Atmospheric coMposition» – з англ.: «Система для інтегрованого моделювання складу атмосферного повітря»): <http://silam.fmi.fi/>

Другий: використати одну з відомих пошукових веб-систем. Найбільш популярною у світі є система Google. За даними Вікіпедії «Google щоденно реєструє близько 50 млн. пошукових запитів та індексує більше 8 мільярдів веб-сторінок. Google може знаходити інформацію 101 мовою». Вагомою перевагою є можливість перекладу текстів у режимі «онлайн», тобто ви можете читати тексти китайською, іспанською, французькою та іншими мовами, не володіючи ними. Звичайно, переклад ще далекий від ідеального, але зрозуміти, про що йдеться у статтях, можна.

Для ефективного пошуку інформації в Інтернет за допомогою пошукової машини пропонуємо деякі практичні поради (представлені правила найбільш загальні; всі відмінності, що стосуються якогось

конкретного пошуковика, завжди можна знайти в розділі «Допомога») [16]:

1. Перш за все, визначитися з метою вашого пошуку (і мовою запиту). При цьому потрібно концентруватися не тільки на самій меті, але і на тому, що може їй супроводити (ключові слова, спеціальні терміни, дієслова і так далі).

Увага! Кількість україномовних сторінок в мережі Інтернет значно менша, ніж англомовних. Тому варто робити пошук потрібної інформації й англійською мовою.

2. Є звичайний пошук, а є розширений пошук із значно більшою кількістю умов та фільтрів. Найпростіший спосіб перейти до розширеного пошуку в будь-якій пошуковій системі це – просто набрати у ній запит «розширений пошук» і першим же результатом пошуку буде форма для цього розширеного пошуку.

Для простого пошуку введіть ключові слова у поле запиту (як правило, виглядає як смужка білого кольору у верхній частині чи по центру екрану).

3. Як правило, не має значення літери великі чи маленькі. Але, якщо ключові слова починаються з великої літери або повністю введені великими літерами (наприклад «ОНД-86» чи «SILAM»), то ці ж слова, написані маленькими літерами, знайдені не будуть. При введенні ключових слів маленькими літерами область пошуку розширюється, тому що ключові слова шукаються незалежно від регістра.

4. Пошукова система прагне, в першу чергу, знайти сторінки, на яких знаходиться максимальна кількість слів із вашого запиту, більше того, якщо ці слова ще й слідуєть одне за іншим та розташовані ближче до початку сторінки або в заголовках. Бажано не використовувати у запиті прийменники, слова-паразити, ставити слова у відмінки та ін.

5. Іноді необхідно не прибирати зайві слова, а навпаки деталізувати запит, якщо слова, задані для пошуку, дуже загальні, а результати настільки схожі, що не легко вибрати потрібне з десятків або сотень сторінок. Наприклад, пошук по словах "моделювання атмосфери" дасть тисячі різних документів. Слова "математичне моделювання забруднення атмосферного повітря в Україні" звужать коло пошуку. "Математичне моделювання забруднення атмосферного повітря модель Гауса в Україні" напевно буде значно точнішим варіантом.

6. У більшості випадків просто скорегувати запит недостатньо. Необхідно використовувати оператори мови запитів пошукової системи, яку ви використовуєте. Ці оператори не тільки істотно полегшать вам життя, але і допоможуть знаходити таку інформацію, яку за допомогою простих запитів знайти неможливо.

Оператори, спільні для всіх пошукових систем [16]:

6.1. Оператор строгої відповідності, як правило, в сучасних пошукових системах це – лапки "". Поєднання слів, які ви вкажете в

Лабораторна робота №1

Ознайомлення із комп'ютерними програмами для моделювання та прогнозування стану довкілля

лапках, враховуватиметься системою як єдине ціле, тобто таким чином ви задаєте порядок слідування слів одне за іншим. Наприклад, за запитом «моделювання стану довкілля» ви можете отримати в результаті пошуку сторінки зі словами, що згадуються відокремлено, тобто на одній сторінці може бути слово «моделювання», на іншій – «стану» та «довкілля». Конструкція ж в лапках «моделювання стану довкілля» примушує пошукову систему відкинути всі зайві сторінки і показувати лише ті, на яких ці три слова йдуть одне за іншим.

6.2. Оператор обов'язкової наявності слова "+" ("плюс" або «&», або AND) і оператор обов'язкової відсутності слова "-" ("мінус" або NOT). Наприклад, якщо ви хочете знайти матеріали про математичне моделювання забруднення саме поверхневих вод тоді до «математичне моделювання забруднення вод» варто додати +поверхневих: «математичне моделювання забруднення вод» + «поверхневих». Якщо ж потрібно вивести всі такі ж результати, але без згадування підземних вод, потрібно ввести:

«математичне моделювання забруднення вод» +поверхневих - підземних.

Увага! Достатньо часто буває корисно, щоб ключові слова були присутні в межах одного документа. Для цього необхідно використовувати оператор логічного «І» (AND). Проте, в усіх пошукових системах це ж можна зробити, поставивши звичайний пропуск (Space). Наприклад, запити: моделювання прогнозування і моделювання AND прогнозування, як правило, дадуть один і той самий результат.

6.3. Оператор логічного «АБО», в якості якого використовується логічний оператор OR (знак «|») дозволяє знайти хоч би одне слово із запиту. Наприклад, за допомогою запиту: моделювання OR прогнозування можна знайти документи, в яких зустрічається або слово «моделювання», або слово «прогнозування».

6.4. Складні запити за допомогою логічних операторів можна здійснювати, використовуючи круглі дужки: системи моніторингу довкілля AND (обласні OR басейнові); системи моніторингу (річок OR водосховищ) + (обласні OR басейнові). Дужки задають певний порядок ключових слів і виконання їх операторів.

6.5. Пошук без урахування морфології. Щоб зафіксувати словоформу без розгляду машиною її морфологічних варіацій в рядку запиту перед терміном ставиться знак "!". Наприклад: !динамічна !математична !модель.

6.6. Усікання (пошук по частині ключового слова). Як правило, для цієї мети вживаються знаки: «*» (позначає довільну частину слова) і «?» (позначення будь-якого символу). Запит вод* дасть результати:

“вод”, “вода”, “водних”, «водосховище», «водойма» тощо.
Запит: к?мпанія – результат: кампанія або компанія.

6.7. З мовами запитів конкретної пошукової системи можна завжди ознайомитися в її розділі допомоги. При цьому потрібно відзначити, що у багатьох системах є власні додаткові оператори, які можуть допомогти досвідченим користувачам.

7. Кількість посилань на одній сторінці автоматично для більшості пошукачів дорівнює 20, але цю кількість можна змінити в налаштуваннях. Зовсім не обов'язково проглядати всі виведені посилання, краще змінити або скорегувати запит.

8. Варто враховувати, що текст посилань представлений тільки латинськими символами, більш того – англійськими словами. Тому, якщо здійснюється пошук книги – пишемо: books, посилання – links або http тощо.

1.2 Хід роботи

1. Скориставшись інформаційно-пошуковою системою, заданою викладачем (за замовчуванням – Google), здійснити пошук інформації на вибрану вами тематику екологічного спрямування (запит робити українською мовою).

Ключові слова: «програми» та «моделювання» або «прогнозування» (якщо буде багато знайдено – додати «моніторинг» або «управління») + (Ваш варіант) з такої тематики:

- якість річок (поверхневих вод);
- опади;
- паводки, повені;
- зміни клімату;
- стан атмосферного повітря;
- стан ґрунтів;
- стан водойм;
- скиди (випуски вод);
- викиди в атмосферне повітря;
- викиди транспорту;
- якість підземних вод;
- радіаційний вплив;
- динаміка біологічних популяцій, флора, фауна;
- біорізноманітність екосистеми;
- шумовий вплив;
- електромагнітний вплив на людей.

2. Здійснити пошук інформації на вибрану Вами у пункті 1 тематику екологічного спрямування (запит робити іноземною (англійською чи іншими) мовою; студенти-іноземці шукають рідною мовою).

Ключові слова: «software» та «simulation» або «prediction» (якщо буде багато знайдено – додати «monitoring», або «control», або «management») + (Ваш варіант) з такої тематики:

Лабораторна робота №1

Ознайомлення із комп'ютерними програмами для моделювання та прогнозування стану довкілля

- river (surface water) quality;
- precipitation;
- flood;
- climate changing;
- quality air;
- quality soil (ground);
- quality water bodies (reservoir, pond);
- water discharges;
- emissions;
- transport emissions;
- quality underground water;
- radiation influence (impact);
- biology populations dynamics, flora, fauna;
- ecosystem biodiversity;
- noise influence (impact);
- electromagnetic influence.

3. Знайти не менше 5 комп'ютерних програм для моделювання чи прогнозування із заданої Вам тематики (навести у звіті адресу сайту, опис програми, рисунок(ки) з прикладом(ами) роботи програми, операційну систему, галузь застосування, математичні можливості, переваги та недоліки). Також навести ключові слова, які задавались для пошуку і дали позитивний результат.

4. У звіті вказати тему, мету, хід виконання роботи із знайденими результатами за п.3, висновок по роботі.

Контрольні питання

- 1) *Який пошуковий засіб є лідером серед пошукових машин у світі?*
- 2) *Які спеціальні символи краще використовувати під час побудови пошукових запитів?*
- 3) *Які ключові слова дали оптимальний результат пошуку?*
- 4) *Яка комп'ютерна програма серед знайдених вам сподобалась найбільше? Чому?*

2 Лабораторна робота № 2

Математичне моделювання антропогенного впливу на якість вод у річці засобами Mathcad Professional.

Стаціонарна площинна задача

Мета: навчитись розв'язувати стаціонарну площинну задачу з математичного моделювання якості вод у річці на прикладі моделі А. В. Караушева засобами Mathcad Professional.

2.1 Теоретичні відомості

Математична модель А. В. Караушева усталених процесів поширення забруднення у воді річки на основі рівняння турбулентної дифузії має вигляд [20]:

$$V_{cp} \frac{dC}{dx} = \delta_{cp} \left(\frac{d^2C}{dy^2} + \frac{d^2C}{dz^2} \right), \quad (2.1)$$

де C – концентрація внесеної в потік річки забруднюючої речовини, кг/м^3 ; x, y, z – осі декартової системи координат; δ_{cp} – коефіцієнт турбулентної дифузії, усереднений уздовж осей y та z , кг/м^3 ; V_{cp} – швидкість течії річки у напрямку осі x .

Точка відліку для застосування формули (2.1) розташована на поверхні річки у місці надходження зворотних вод у річку. Вісь x спрямована уздовж напрямку течії водотоку, y – у напрямі до берега, а координата z – вглиб річки.

Рівняння (2.1) описує саме усталені процеси, тобто вважається, що значення концентрації забруднюючої речовини не залежить від часу і у місці скиду (саме так вважається на практиці для більшості випадків, що підприємство весь час скидає один і той самий обсяг забруднень протягом усього року [1]) і в самій річці – остання умова виконується рідко, але в даному випадку це суттєво спрощує розрахунок, що зручно в навчальних цілях.

Граничні умови визначають рівняння (2.1) визначають концентрацію у річці на границях ділянки, що моделюється і у самій річці до надходження до неї забруднених зворотних (стічних) вод.

Для переважної більшості водотоків України має місце ситуація, коли ширина є значно більшою за глибину. За цих умов, процесами пере-

Лабораторна робота № 2

Математичне моделювання антропогенного впливу на якість вод у річці засобами Mathcad Professional. Стационарна площинна задача

мішування по глибині, у першому наближенні, можна знехтувати. Тоді рівняння (2.1) перетворюється на таке [20]:

$$\frac{dC}{dx} = \frac{\delta_{cp}}{V_{cp}} \cdot \frac{d^2C}{dy^2}, \quad (2.2)$$

Традиційно рівняння турбулентної дифузії розв'язують за методом кінцевих різниць. А. В. Караушев запропонував оригінальний спосіб розв'язання рівняння (2.2).

Проводиться формалізація задачі. Опис осей, відносно напрямку течії і нумерації комірок (рис. 2.1).

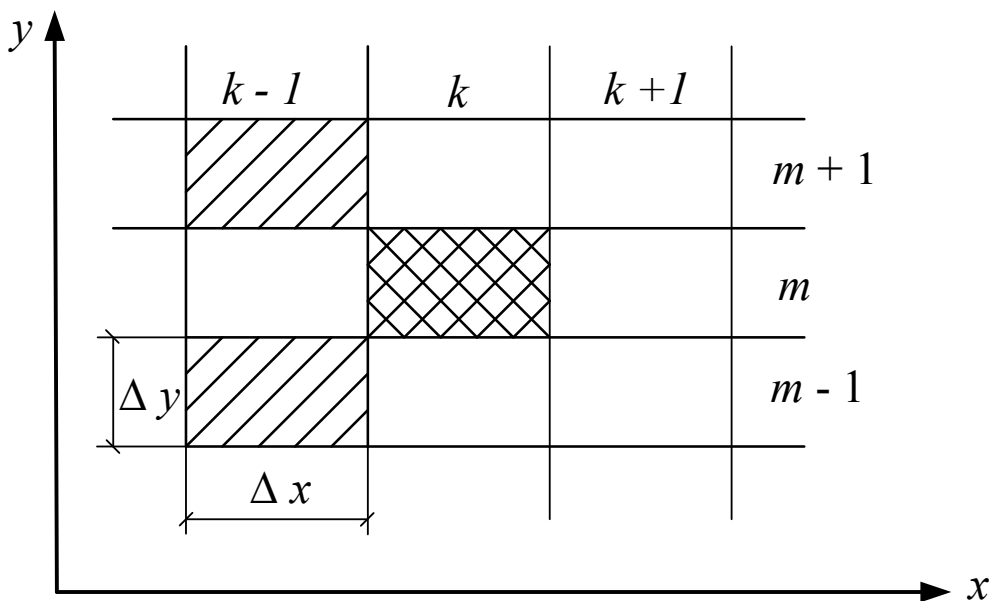


Рис. 2.1 – Схема розрахункових клітин до методу А. В. Караушева

З використанням запропонованої формалізації рівняння (2.2) записується у такому вигляді [20]:

$$\frac{\Delta_x C}{\Delta x} = \frac{\delta_{cp}}{V_{cp}} \cdot \frac{\Delta_y^2 C}{\Delta y^2}. \quad (2.3)$$

Використовуючи відомі співвідношення для різниць та позначення рисунку 2.1, записуємо:

$$\begin{cases} \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_{k,m} - C_{k-1,m}}{\Delta x}, \\ \frac{\Delta C}{\Delta y} = \frac{C_{k,m} - C_{k,m-1}}{\Delta y}. \end{cases} \quad (2.4)$$

Підставляємо співвідношення (2.4) в (2.3):

$$C_{k,m} = a(C_{k-1,m+1} + C_{k-1,m-1}) + (1 - 2a) \cdot C_{k-1,m}. \quad (2.5)$$

А. В. Караушев запропонував підбирати один із геометричних параметрів комірок схеми з рис. 2.1 у такий спосіб, щоб виконувалась умова [20]:

$$a = \frac{V_{cp}\Delta x}{V_{cp}\Delta y^2} = \frac{1}{2}. \quad (2.6)$$

Підставляємо (2.6) в (2.5) та отримуємо просте співвідношення:

$$C_{k,m} = \frac{C_{k-1,m+1} + C_{k-1,m-1}}{2}, \quad (2.7)$$

тобто концентрація забруднюючої речовини в клітині (k, m) дорівнює середньому арифметичному з концентрацій речовини в дотичних з нею клітинах, розташованих у попередньому перерізі. Зазначена залежність вимагає, щоб область потоку була розбита на сітку однакових прямокутних комірок (клітин) розмірами кожна Δx на Δy , пов'язаних між собою залежністю, яка виводиться із (2.6):

$$\Delta x = \frac{V_{cp}\Delta y^2}{2\delta_{cp}}. \quad (2.8)$$

Середні витрати річки пропонується розраховувати, використовуючи формулу:

$$Q_{cp} = BH_{cp}V_{cp}, \quad (2.9)$$

де B – ширина річки; H_{cp} – середня глибина річки.

Розраховувати один з геометричних параметрів клітини пропонується наступним чином:

$$\Delta y = \frac{B}{M}, \quad (2.10)$$

де M – кількість розрахункових клітин по ширині.

Кратність розбавлення стічних вод з річковими дозволяє розрахувати залежність:

$$n_0 = \frac{C_q}{C_{max}}, \quad (2.11)$$

Лабораторна робота № 2

Математичне моделювання антропогенного впливу на якість вод у річці засобами Mathcad Professional. Стационарна площинна задача

де C_q – надмірна концентрація забруднюючих речовин, мг/л; C_{max} – концентрація забруднюючих речовин у створі повного змішування, мг/л.

Кількість клітин для розрахунку по горизонталі визначається з:

$$K = \frac{L}{\Delta x} - 1, \quad (2.12)$$

де L – довжина річки.

Реалізація граничних умов в методі А. В. Караушева проводиться таким чином: при досягненні забрудненим річковим потоком берега (граничної клітини) слід врахувати непроникність кордонів, що здійснюється екстраполяцією концентрації за межі потоку (див. далі табл. 2.1) [20]. При цьому в усіх доданих клітинах записується та ж концентрація, що і в клітині, прилеглий до берега.

Наведені теоретичні відомості зручно автоматизуються засобами Mathcad Professional [25, 27, 28] та MS Excel [6, 11, 16, 22, 26].

2.2 Хід роботи

1. Задані викладачем значення концентрацій забруднюючої речовини, що скидаються в річку уздовж осі y , в залежності від варіанту, збільшувати на 5):

Концентрація забруднюючої речовини	4	4	4	20	20
------------------------------------	---	---	---	----	----

2. За допомогою програми Mathcad необхідно знайти поле концентрації забруднюючої речовини у різних точках річки. Скид вод здійснюється безпосередньо з берега річки.

$$\text{Conc}(s) := \begin{array}{l} s_{0,0} \leftarrow s_{0,1} \\ s_{0,M} \leftarrow s_{0,M-1} \\ \text{for } i \in 1..K \\ \quad \text{for } j \in 1..M-1 \\ \quad \quad s_{i,j} \leftarrow \frac{(s_{i-1,j-1} + s_{i-1,j+1})}{2} \\ \quad s_{i,0} \leftarrow s_{i,1} \\ \quad s_{i,M} \leftarrow s_{i,M-1} \\ s \end{array}$$

$$C := \text{Conc}(s)^T$$

C = ■

Рис. 2.2 – Матриця поширення забруднення

У матриці C містяться значення концентрації забруднюючої речовини, залежно від просторових координат (напрямку течії і ширини річки) в певний момент часу (стаціонарний процес).

3. Результатом є поле концентрації забруднюючої речовини в будь-якій точці річкового потоку:

$$R := \text{submatrix}(C, 1, M-1, 0, K)$$

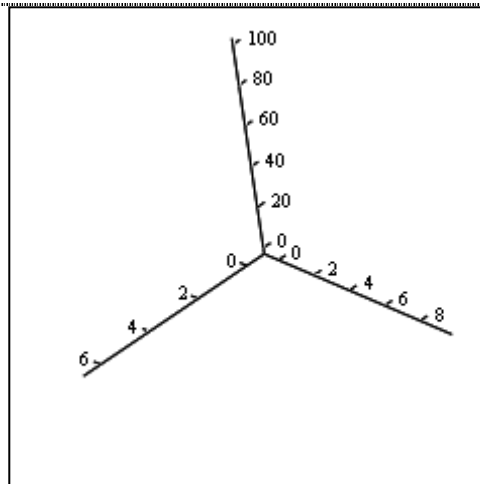
R = ■

Рис. 2.3 – Поле концентрації забруднюючої речовини

4. Поверхня поширення забруднюючої речовини у річці, включаючи перемішування її з річковими водами, подана на рис. 2.4:

Лабораторна робота № 2

Математичне моделювання антропогенного впливу на якість вод у річці засобами Mathcad Professional. Стационарна площинна задача



R

Рис. 2.4 – Поверхня поширення забруднюючої речовини у річці у вигляді гістограми

5. Дано: $H_{cp}=1,8$ м, $V_{cp}=0,4$ м/с, $B=20$ м, $\delta=0,2$ м/с², $q = 0,4$ м³/с, $C_q = 120$ мг/л, $B = 20$ м, $M = 5$ скид відбувається з берега.

Знайти n_0 на $L = 80$ м.

З (2.10):

$$\Delta y = \frac{B}{M} = \frac{20}{5} = 4 \text{ (м)}.$$

З (2.9):

$$Q_{cp} = BH_{cp}V_{cp} = 20 \cdot 1,8 \cdot 0,4 = 14,4 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

З (2.8):

$$\Delta x = \frac{V_{cp}\Delta y^2}{2\delta_{cp}} = \frac{0,4 \cdot 4^2}{2 \cdot 0,2} = 16 \text{ (м)}.$$

З (2.12):

$$K = \frac{L}{\Delta x} - 1 = \frac{80}{16} - 1 = 4.$$

Використовуючи залежність (2.7) отримаємо:

Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум

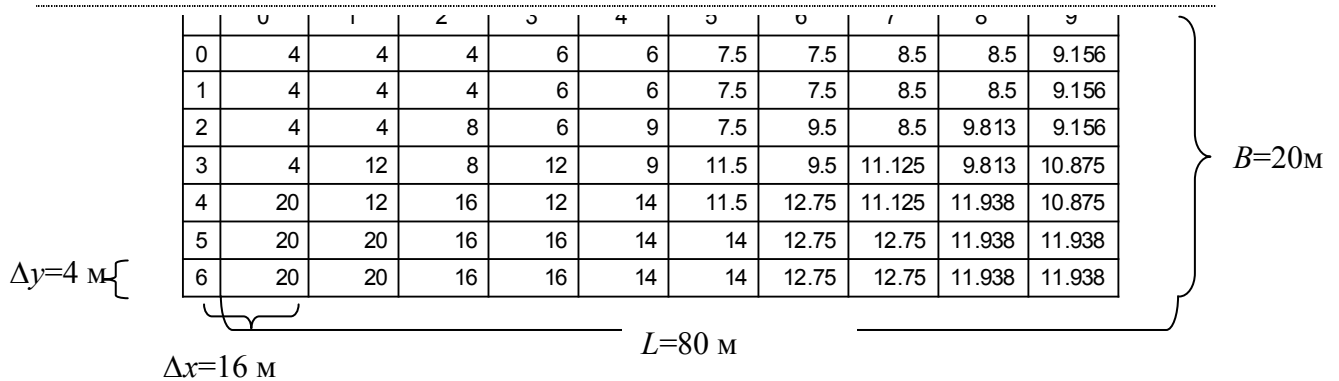


Рис. 2.5 –Поле концентрації забруднюючої речовини

Із залежності (2.11) кратність розбавлення становить:

$$n_0 = \frac{C_q}{C_{max}} = \frac{120}{11,94} = 10,05.$$

7. У звіті вказати тему, мету, хід виконання роботи із розрахованими параметрами задачі та полями концентрації заданої забруднюючої речовини у річці, висновок по роботі.

Контрольні питання

- 1) Назвіть основні параметри річки, які враховує модель А.В. Караушева?
- 2) Чи залежить процес розбавлення стічних вод з річковими від місця скиду?
- 3) Опишіть процес розрахунку концентрації забруднюючої речовини у створі повного змішування?
- 4) Опишіть процес розрахунку ширини та довжини ріки?
- 5) Опишіть процес розрахунку ширини та довжини розрахункових клітинок при здійсненні розрахунків за моделлю А.В. Караушева?
- 6) В чому основне спрощення моделі А.В. Караушева?
- 7) Який алгоритм проведення обчислень за моделлю А.В. Караушева?

3 Лабораторна робота № 3

Математичне моделювання антропогенного впливу на якість поверхневих вод у річці засобами Microsoft Excel. Стаціонарна площинна задача

Мета: Навчитись розв'язувати стаціонарну площинну задачу з математичного моделювання якості вод у річці на прикладі моделі А. В. Караушева засобами Microsoft Excel.

3.1 Хід роботи

1. На основі лекційного матеріалу та теоретичних відомостей до Лабораторної роботи № 2 розробити матрицю, яка буде розраховувати концентрацію зміни забруднюючих речовин в річці за допомогою засобів Microsoft Excel.

Базова матриця дорівнює: 5 на 5. Реальний розмір матриці залежить від варіанту і дорівнює 5 на 5+n. Розмір (концентрація) забруднюючої речовини та місце впадання у річку – задається викладачем. Вигляд розрахункової матриці представлено на рисунку 3.1.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4	8	9	9,5	9,5	9,625	9,5625	9,625	9,578125	9,617188
1	4	8	9	9,5	9,5	9,625	9,5625	9,625	9,578125	9,617188
2	12	10	10	9,5	9,75	9,5	9,6875	9,53125	9,65625	9,554688
3	16	12	10	10	9,5	9,75	9,5	9,6875	9,53125	9,65625
4	12	10	10	9,5	9,75	9,5	9,6875	9,53125	9,65625	9,554688
5	4	8	9	9,5	9,5	9,625	9,5625	9,625	9,578125	9,617188
6	4	8	9	9,5	9,5	9,625	9,5625	9,625	9,578125	9,617188

Рис. 3.1 – Розрахункова матриця

У матриці потрібно прописати розрахунки таким чином, щоб при заповненні нульового стовпця вся матриця розраховувалась автоматично.

2. Побудувати матрицю поширення забруднення графічно.

Для цього варто використати тип діаграми «Поверхність», а тип діаграми задати так, як показано на рисунку 3.2 [6, 11, 16, 22, 26]:

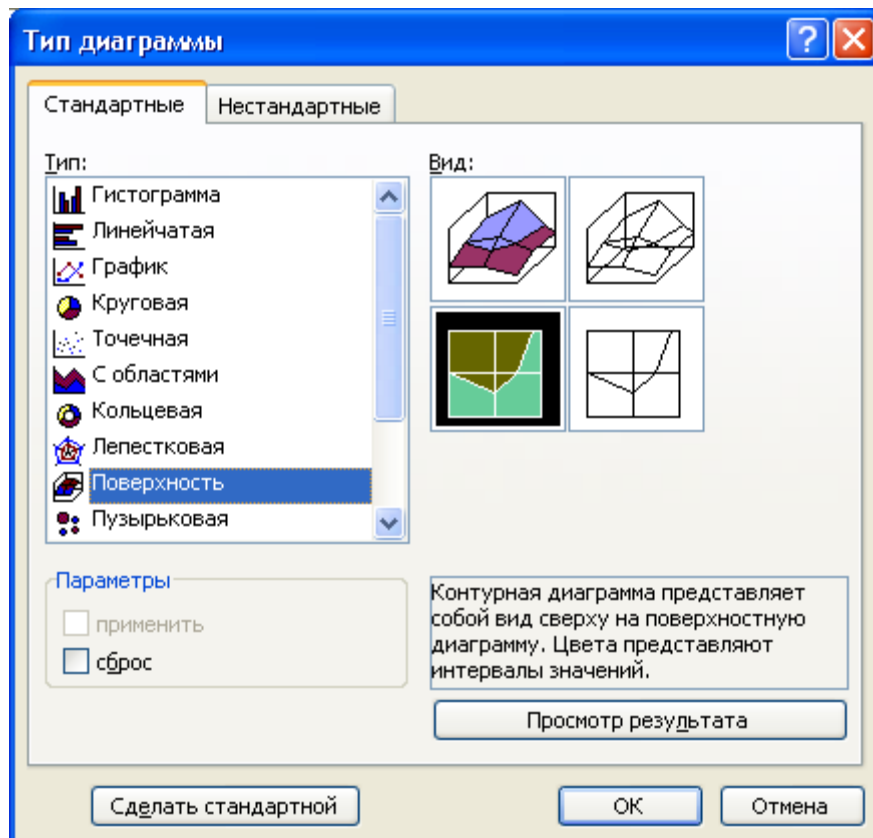


Рис. 3.2 – Панель побудови графіка в MS Excel

Використовуючи даний інструмент та розраховану матрицю поширення забруднення у річці, отримати графік, подібний до того, як на рисунку 3.3:

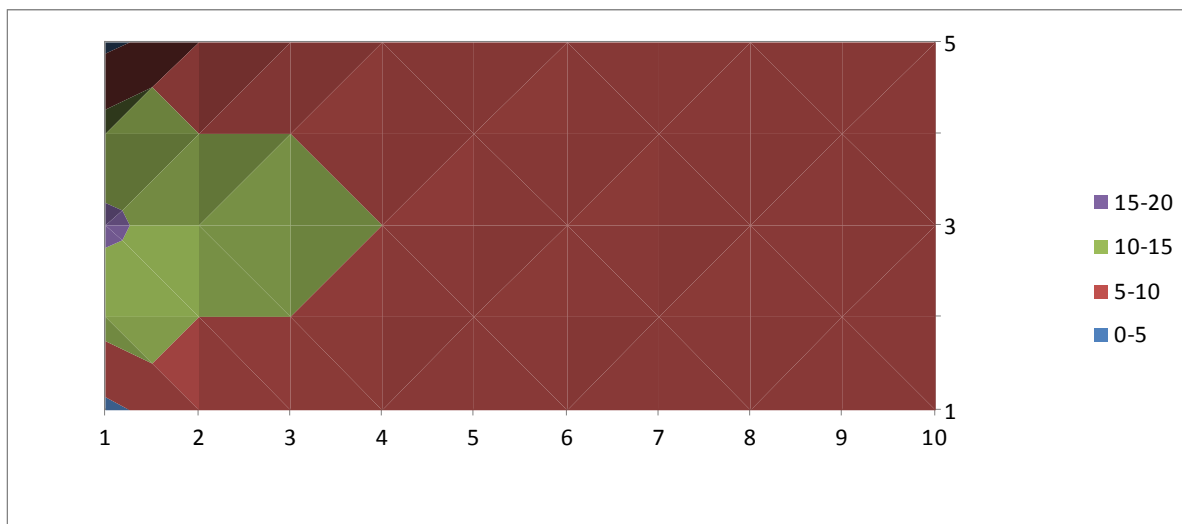


Рис. 3.3 – Матриця поширення забруднення у вигляді графіка в MS Excel

3. У звіті вказати: назву, мету, завдання, хід лабораторної роботи та результати за рисунками, подібними до рис. 3.1, 3.3; зробити загальні висновки по роботі.

Лабораторна робота № 3

Математичне моделювання антропогенного впливу на якість поверхневих вод у річці засобами Microsoft Excel. Стаціонарна площинна задача

Контрольні питання

- 1) *Яким чином можна автоматично побудувати матрицю поширення забруднення в MS Excel?*
- 2) *Якого типу діаграма використовується для побудови матриці поширення забруднення в MS Excel?*
- 3) *Що відображає графік матриці поширення забруднення в MS Excel?*
- 4) *Чи можна визначити місце скиду по матриці поширення забруднення в MS Excel?*

4 Лабораторна робота №4

Моделювання процесів поширення забруднюючих речовин у річках за різними моделями

Мета: за допомогою інструментарію пакету Mathcad Professional навчитись моделювати процеси поширення забруднюючих речовин у річках за заданими моделями.

4.1 Теоретичні відомості

Метод розрахунку розбавлення стічних вод у річках, запропонований В. А. Фроловим і розвинений І. Д. Родзиллером, заснований на розв'язанні диференціального рівняння турбулентної дифузії, за таких положень: область річкового потоку розглядається безмежною, початкове розбавлення відсутнє, випуск зосереджений (насправді, існують й більш складні варіанти моделі В. А. Фролова – І. Д. Родзиллера, але тут ми їх не розглядаємо). Розв'язок рівняння в умовах стаціонарної лінійної задачі для концентрації забруднюючої речовини $C_{\text{макс}}$ у максимально забрудненому струмені (потоці річки) має вигляд [17, 21]:

$$C_{\text{макс}} = C + (C_0 - C)\exp(-\alpha^3\sqrt{L}), \quad (4.1)$$

де C – концентрація забруднюючої речовини у створі повного перемішування, відстань до якого від місця скиду зворотних вод визначається спеціальним співвідношенням; C_0 – концентрація забруднюючої речовини у початковий момент часу; α – коефіцієнт, який враховує гідравлічні особливості умов змішування; L – відстань від місця скиду вод зворотних вод до створу, для якого проводиться розрахунок значення $C_{\text{макс}}$.

Аналіз експериментальних матеріалів дозволив запропонувати автограм наближену залежність для коефіцієнта α [17, 21]:

$$\alpha = \xi Z \varphi \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (4.2)$$

де ξ – коефіцієнт, що враховує місце розташування випуску (для берегового скиду вод: $\xi = 1$, для руслового – $\xi = 1,5$); φ – коефіцієнт звивистості, який визначається як відношення повної довжини L_k русла від місця скиду зворотних вод у річку до розрахункового створу до відстані L_n

Лабораторна робота №4

Моделювання процесів поширення забруднюючих речовин у річках за різними моделями

між цими створами, визначеної по прямій; D – коефіцієнт турбулентної дифузії; q – витрати зворотних (стічних) вод.

Для розрахунку кратності розбавлення n на заданій відстані використовується формула [17, 21]:

$$n = \frac{\beta \cdot Q + q}{q}, \quad (4.3)$$

де Q – витрати води у річці у місці скиду зворотних вод; β – коефіцієнт змішування, який обчислюється з наступного виразу, отриманого на основі залежностей (4.1), (4.2):

$$\beta = \frac{1 - \exp(-\alpha^3 \sqrt{L})}{1 + \left(\frac{Q}{q}\right) \exp(-\alpha^3 \sqrt{L})}. \quad (4.4)$$

Прийняті вихідні положення призводять до наступного обмеження методу В. А. Фролова – І. Д. Родзиллера [21]:

- 1) визначається тільки основне розведення для зосередженого випуску;
- 2) кратність розбавлення знаходиться в будь-якому створі для максимально забрудненого струменя, але без уточнення положення цього струменя, його форми і розмірів;
- 3) метод застосовується тільки для середніх річок.

Приклад. У річці влаштовується русловий зосереджений випуск зворотних вод з максимальними витратами $q = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

Розрахункова мінімальна середньомісячна витрата річки (95% забезпеченості) $Q = 120 \text{ м}^3/\text{с}$, при цьому середня швидкість потоку $v_n = 0,35 \text{ м/с}$, а середня глибина $H = 3 \text{ м}$. Потрібно визначити кратність розбавлення n стічних вод у розрахунковому створі водокористування, віддаленому від випуску на відстань $L = 500 \text{ м}$. Коефіцієнт турбулентної дифузії дорівнює $0,00545 \text{ м}^2/\text{с}$.

Далі обчислюємо коефіцієнт α за формулою (4.2) при $\varphi = 1$ і $\xi = 1,5$:

$$\alpha = 1 \cdot 1,5 \sqrt[3]{\frac{0,00545}{0,4}} = 0,358.$$

Визначимо коефіцієнт змішування β за формулою (4.4):

$$\beta = \frac{1 - \exp(-0,358\sqrt[3]{500})}{1 + \frac{120}{0,4} \exp(-0,358\sqrt[3]{500})} = 0,0508,$$

а кратність розбавлення n у розрахунковому створі знайдемо за формулою (4.3):

$$n = \frac{0,0508 \cdot 120 + 0,4}{0,4} = 16,3.$$

4.2 Хід роботи

1. Отримавши вихідні дані, реалізувати модель процесів у річках та водоймах, представлену у вигляді розв'язку диференціального рівняння першого порядку (рис. 4.1) [17].

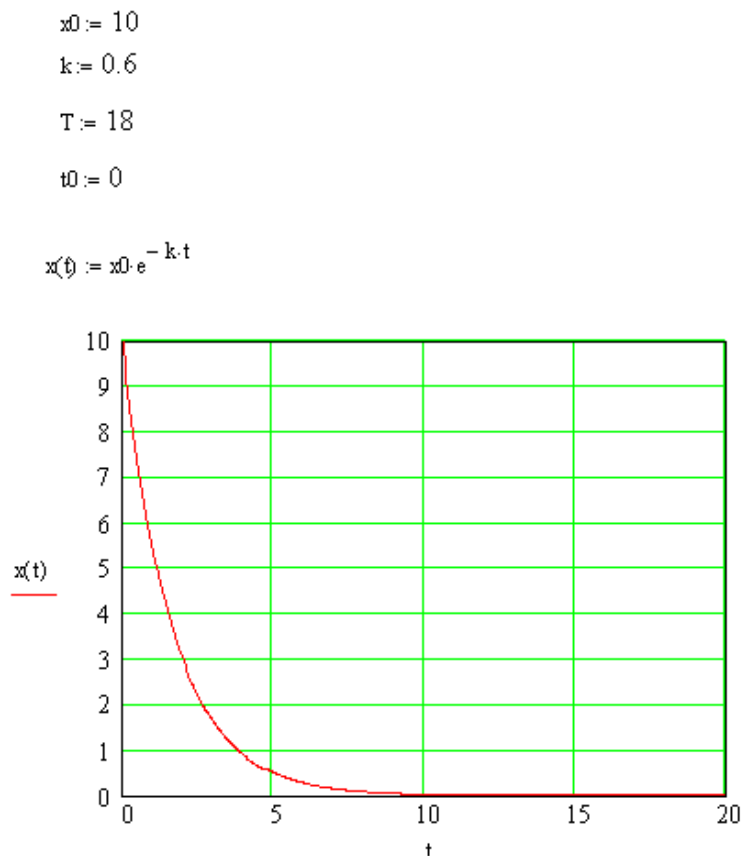


Рис. 4.1 – Розв'язання диференціального рівняння першого порядку моделі процесів у річках та водоймах в Mathcad Professional

2. Здійснити моделювання процесів у річках та водоймах за допомогою моделі В. А. Фролова – І. Д. Родзиллера (4.1)-(4.4) (рис. 4.2) [17, 21].

Лабораторна робота №4

Моделювання процесів поширення забруднюючих речовин у річках за різними моделями

$$E := 0.015 \quad x_0 := 10 \quad u := 60 \quad Q := 20$$

$$q := 4 \quad \xi := 1.5 \quad \varphi := 0.55 \quad a := 0.15$$

$$z := 0.40000$$

$$xz := \frac{x_0 \cdot Q + u \cdot q}{q + Q} \quad xz = 18.333$$

$$\alpha := \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}} \quad \alpha = 0.128$$

$$Lzm := \left[\left(\frac{1}{\alpha} \right) \cdot \ln \left[\frac{[(1-a) \cdot Q + q]}{a \cdot q} \right] \right]^3$$

$$Lzm := 2.134 \cdot 10^4 = 2.134 \times 10^4$$

$$X(z) := \begin{cases} x(z) & \text{if } z < Lzm \\ xz & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рис. 4.2 – Розв’язання моделі В. А. Фролова – І. Д. Родзиллера для процесів у річках і водоймах у пакеті програм Mathcad Professional

Графік зміни концентрації забруднення уздовж водотоку відповідно моделі В. А. Фролова – І. Д. Родзиллера (4.1)-(4.6), представлено на рис. 4.3.

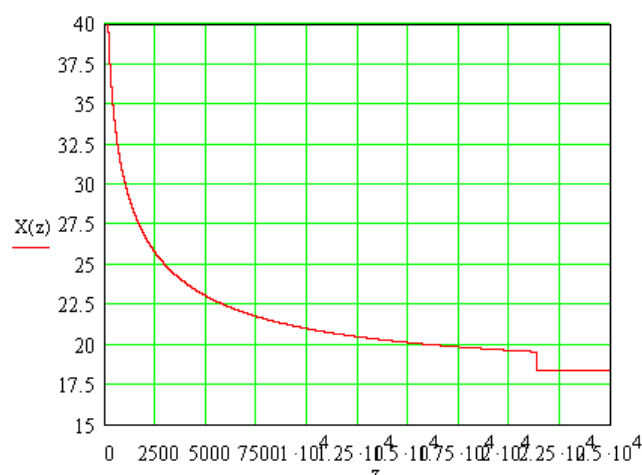


Рис. 4.3 – Графік зміни концентрації забруднення уздовж напрямку течії водотоку за моделлю В. А. Фролова – І. Д. Родзиллера в Mathcad Professional

Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум

3. Здійснити моделювання, використавши модель А.В. Караушева (2.1)-(2.10) (рис. 4.4), а також побудувати матрицю поширення забруднення та поле концентрації (рис. 4.5).

$$\begin{aligned}
 N_m &:= 6 \\
 N_k &:= N_m \cdot 2 + 1 & N_k &= 13 \\
 k &:= 0..N_k & m &:= 0..N_m \\
 C_{k,m} &:= 0 \\
 C_1 &:= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5 \\ 8 \\ 10 \\ 10 \\ 8 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 \delta &:= 0.01 & v &:= 0.5 & \Delta x &:= 4 \\
 \Delta x &:= \frac{v \cdot \Delta x}{\delta \cdot 2} & \Delta x &= 100 \\
 W &:= (N_k + 1) \cdot \Delta x & W &= 56 \\
 L &:= (N_m + 1) \cdot \Delta x & L &= 700
 \end{aligned}$$

Рис. 4.4 – Розрахунок в Mathcad Professional моделі Караушева процесів у річках та водоймах

Лабораторна робота №4

Моделювання процесів поширення забруднюючих речовин у річках за різними моделями

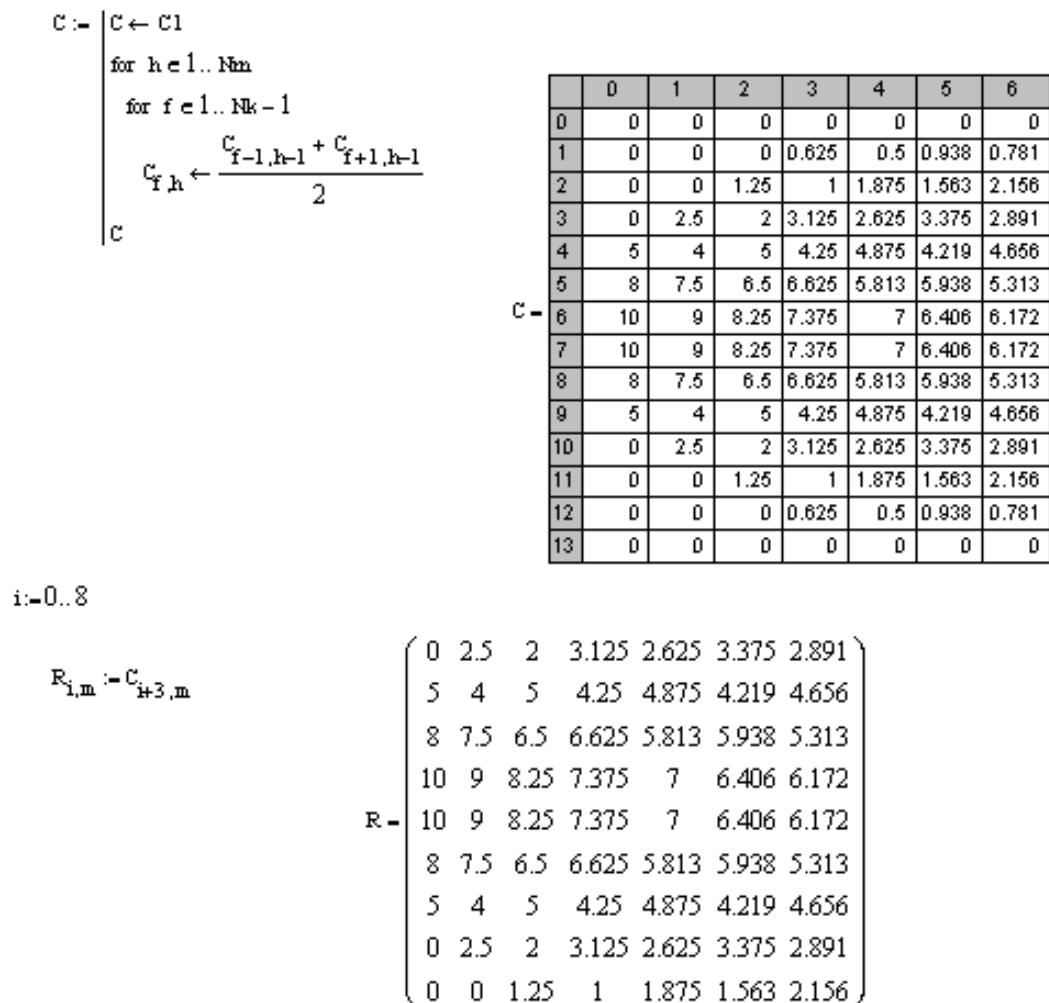


Рис. 4.5 – Побудова матриці поширення забруднення та поля концентрації в Mathcad Professional за моделлю А.В. Караушева (2.1)-(2.10) процесів у річках та водоймах

Графік зміни концентрації забруднення уздовж напрямку течії водотоку, відповідно до моделі А.В. Караушева, подано на рис. 4.6.

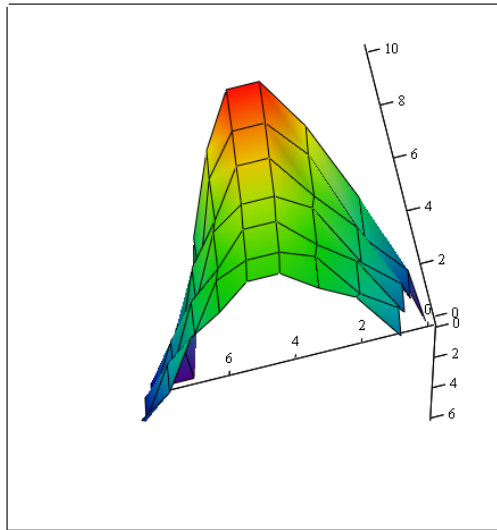


Рис. 4.6 – Тривимірний графік матриці поширення забруднення

4. У звіті вказати тему, мету, хід виконання роботи з побудованими графіками та значеннями розрахованих параметрів і результатами їх порівняння для різних моделей, висновок по роботі.

Контрольні питання

- 1) Що відображає диференціальне рівняння першого порядку процесів у річках і водоймах?
- 2) Що відображає графік, отриманий в результаті моделювання процесів у річках і водоймах за моделлю В. А. Фролова – І. Д. Родзиллера?
- 3) Які основні параметри враховує модель А. В. Караушева?
- 4) Що відображає графік, отриманий в результаті моделювання процесів у річках і водоймах за моделлю А. В. Караушева?
- 5) Що спільного в моделях, за якими здійснюється моделювання процесів у річках і водоймах?

5 Лабораторна робота №5

Моделювання та прогнозування процесів забруднення у ґрунтах за МГУА

Мета: За допомогою інструментарію MS Excel навчитись здійснювати моделювання процесів у ґрунтах з використанням математичних моделей, отриманих за МГУА.

5.1 Теоретичні відомості

Як правило, поширеними є такі задачі моделювання та прогнозування процесів забруднення у ґрунтах [2, 7, 19]:

1. Моделювання хімічного забруднення ґрунтів важкими металами та іншими забруднюючими речовинами з промислових майданчиків та шламонагромаджувачів.

2. Моделювання хімічного забруднення ґрунтів органічними та неорганічними сполуками на полігонах з твердими побутовими відходами, у разі можливого пошкодження ізоляції цих полігонів. Додатковою задачею є прогнозування ймовірності потрапляння цих забруднень у підземні та поверхневі води.

3. Поширення забруднюючих речовин у ґрунтах разом із потоком води (в цій задачі важливим є вологонасиченість ґрунтів: чим вона більша, тим інтенсивність проникнення забруднюючих речовин у ґрунт більша; існують окремі моделі для вологонасичених та вологоненасичених ґрунтів) — як правило, моделювання здійснюється на основі закону ламінарної фільтрації Дарсі: «Швидкість руху води у ґрунті прямо пропорційна гідравлічному градієнту».

4. Моделювання та прогнозування перенесення і випадання на ґрунт забруднюючих речовин в атмосферному повітрі від стаціонарних та пересувних джерел викидів.

5. Моделювання забруднення ґрунтів пестицидами на полях сільськогосподарського призначення. Додатковою задачею є прогнозування ймовірності потрапляння цих забруднень у підземні та поверхневі води.

6. Моделювання поширення у ґрунті радіонуклідів.

7. Моделювання меліоративних процесів у ґрунтах — моделювання та оптимізації параметрів технологій поливу сільськогосподарських угідь дощуванням та ін.

Оскільки даних екологічного моніторингу стану ґрунтів в Україні, як правило, недостатньо для ідентифікації складних математичних моделей, найбільше поширення отримали моделі, побудовані за методом групового урахування аргументів (МГУА). У цьому методі для заданого набору експериментальних даних перебирається велика кількість різних математичних моделей, які могли б описати цей набір даних. Він є особливо ефективним, за умови великої кількості параметрів, недостатності вивчення об'єкта і зв'язків між його параметрами та недостатності експериментальних даних для ідентифікації математичних моделей. За МГУА здійснюється рекурсивний селективний відбір моделей, на основі яких будуються складніші моделі. За рахунок ускладнення моделі на кожному наступному кроці рекурсії точність моделювання, тобто апроксимації заданих експериментальних даних, збільшується [7]. Через його ефективність саме за умов малої кількості експериментальних даних, МГУА отримав велике поширення в задачах моделювання та прогнозування саме стану забруднення ґрунтів (також, ще чимало є математичних моделей для розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері від стаціонарних та пересувних джерел викидів та ін.).

У роботі [7] наведено такі математичні моделі процесів хімічного забруднення ґрунтів важкими металами на промайданчиках та шламонакопичувачах у поверхневому шарі (на глибину до 20 см) на відстані r (км) меншій 0,5 км від місця потрапляння забруднюючої речовини у ґрунт:

– для міді:

$$y_1 = 0,004r^2 + 2\frac{x_0r}{100} + x_0 - 0,8, \quad (5.1)$$

– для цинку:

$$y_2 = 0,01r^2 + 0,6r + 0,9x_0, \quad (5.2)$$

– для хрому:

$$y_3 = 0,02r^2 + 1,2r + 0,9x_0, \quad (5.3)$$

– для нікелю:

$$y_4 = 0,02r^2 + \frac{x_0r}{100} + 0,9x_0, \quad (5.4)$$

де x_0 – початкове значення концентрації відповідного хімічного елемента у ґрунті, мг/кг.

5.2 Хід роботи

1. Отримати вихідні дані для формування моделі процесів забруднення ґрунтів заданою хімічною речовиною, реалізувати її модель (одне із рівнянь (5.1)-(5.4)), як представлено на рисунках 5.1–5.4.



Рис. 5.1 – Реалізація моделі процесів забруднення ґрунтів міддю



Рис. 5.2 – Реалізація моделі процесів забруднення ґрунтів цинком



Рис. 5.3 – Реалізація моделі процесів забруднення ґрунтів хромом

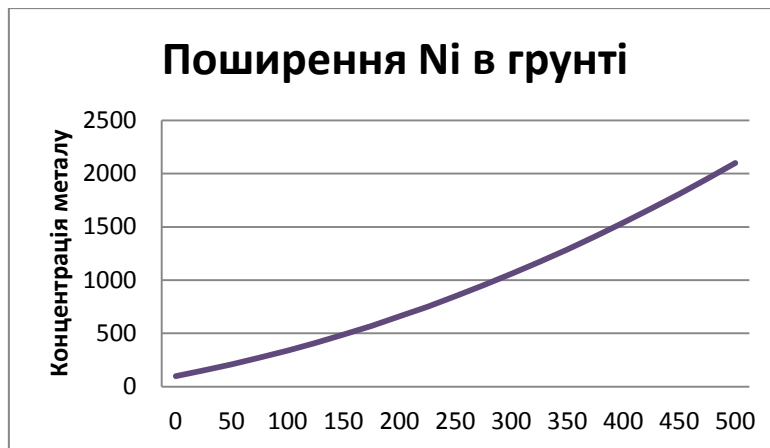


Рис. 5.4 – Реалізація моделі процесів забруднення ґрунтів нікелем

2. У звіті вказати тему, мету, хід виконання роботи з побудованими графіками та значеннями розрахованих параметрів, висновок по роботі.

Контрольні питання

- 1) Назвіть типові задачі моделювання та прогнозування забруднення ґрунтів.
- 2) В чому полягає і для чого застосовується закон Дарсі?
- 3) Яка характеристика ґрунтів є найважливішою для моделювання та прогнозування забруднення ґрунтів за законом Дарсі?
- 4) На основі якого методу, як правило, здійснюється моделювання та прогнозування забруднення ґрунтів, за умови недостатності даних для цього?
- 5) Що відображають графіки моделей процесів забруднення ґрунтів важкими металами?

6 Лабораторна робота № 6

Моделювання та прогнозування популяційної динаміки та біологічних процесів

Мета: за допомогою інструментарію пакету Mathcad Professional оволодіти навичками моделювання біологічних процесів, що відбуваються в довкіллі.

6.1 Теоретичні відомості

Важливе місце в екології займає моделювання популяційної динаміки та біологічних процесів. Найбільш поширеними моделями цього класу є такі [9, 10]:

1. Рівняння Міхаеліса-Ментен, що виражає швидкість (V) поглинання субстрату мікроорганізмами в залежності від концентрації субстрату (S):

$$V(S) = \frac{V_{\max} \cdot S}{K + S}, \quad (6.1)$$

де V_{\max} – максимальна швидкість поїдання субстрату мікроорганізмами; V – швидкість поїдання субстрату мікроорганізмами; K – константа напівнасичення (концентрація, за якої швидкість поглинання субстрату досягає половини V); S – концентрація субстрату.

2. Модель Баранова Ф. І. для обчислення ваги риб по їх довжині:

$$W(L) = b \cdot L^3, \quad (6.2)$$

де W – вага риби (кг);
 L – довжина риби (м);
 b – коефіцієнт пропорційності.

3. Різні тригонометричні функції для опису процесів, що повторюються (день–ніч, сезони року та ін.).

4. Експоненціальна функція, яка є розв'язком звичайного диференціального рівняння першого порядку, що описує, наприклад, загибель (відмирання) живих організмів (якщо $k > 0$) або розмноження мікроорганізмів (якщо $k < 0$):

$$x(t) = x_0 \cdot e^{-k \cdot t}, \quad (6.4)$$

де x_0 – початкове значення; k – константа, що характеризує швидкість процесів (відмирання/розмноження); t – змінна часу.

5. Логістичне рівняння, що виражає зростання чисельності популяції:

$$N(t) = \frac{a \cdot k}{a + e^{-r \cdot t}}, \quad a = \frac{N_0}{k - N_0}, \quad (6.5)$$

де N – кількість мікроорганізмів; r – питома швидкість розмноження; k – максимально можлива чисельність популяції; N_0 – початкова кількість мікроорганізмів.

6. Система диференціальних рівнянь, що описує взаємовідносини між двома видами організмів, наприклад хижацтво:

$$\begin{aligned} \frac{dy_0}{dt} &= r_1 \cdot y_0 - \gamma \cdot y_0 \cdot y_1, \\ \frac{dy_1}{dt} &= r_2 \cdot y_1 - \gamma \cdot y_0 \cdot y_1, \\ y_0(0) &= 25, \quad y_1(0) = 20, \end{aligned} \quad (6.6)$$

де y_0 – кількість зайців; y_1 – кількість вовків; γ – коефіцієнт, що характеризує взаємодію між видами; r_1, r_2 – коефіцієнти.

7. Більш складні трофічні моделі: трофічні ланцюги та цикли та ін.

6.2 Хід роботи

1. Дослідити в Mathcad рівняння Міхаеліса-Ментен (6.1) на основі дрібно-раціональної функції із заданими викладачем параметрами. Приклад результатів моделювання представлено на рисунку 6.1.

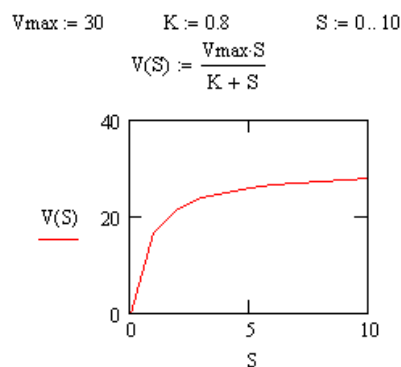


Рис. 6.1 – Реалізація рівняння Міхаеліса-Ментен

Лабораторна робота № 6

Моделювання та прогнозування популяційної динаміки та біологічних процесів

2. Дослідити степеневу функцію Баранова Ф. І. (6.2) для заданих викладачем параметрів риб. Приклад результатів моделювання ваги риб по їх довжині представлено на рисунку 6.2.

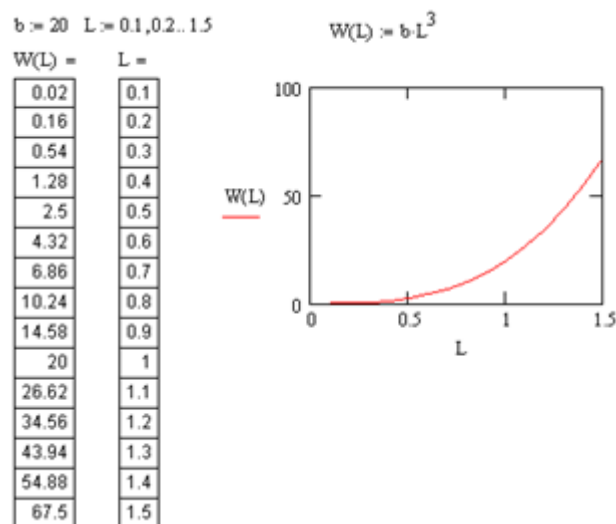


Рис. 6.2 – Реалізація моделі Баранова Ф. І.

3. Дослідити тригонометричну модель для залежності зміни температури T протягом доби за заданими викладачем параметрами:

$$T(t) = 5 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot t}{12} - \frac{\pi}{2}\right) + 20, \quad (6.3)$$

де T – температура ($^{\circ}\text{C}$); t – час (год).

Приклад результатів моделювання залежності зміни температури T протягом доби, наведено на рисунку 6.3.

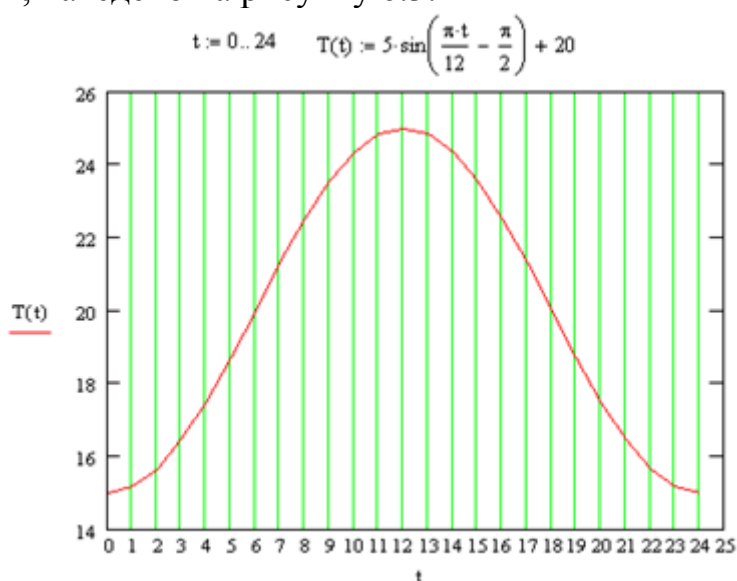


Рис. 6.3 – Реалізація залежності зміни температури протягом доби

4. Дослідити експоненціальну функцію (6.4) для життєдіяльності мікроорганізмів за заданими викладачем параметрами: їх загибель (якщо $-kt$) або розмноження (якщо kt) (див. рисунок 6.4).

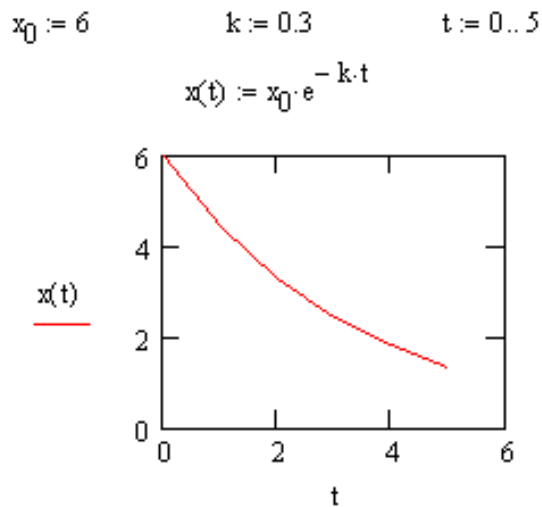


Рис. 6.4 – Графік відмирання живих організмів

5. Дослідити логістичне рівняння (6.5), що виражає зростання чисельності популяції, за заданими викладачем параметрами. Приклад результатів моделювання представлено на рисунку 6.5.

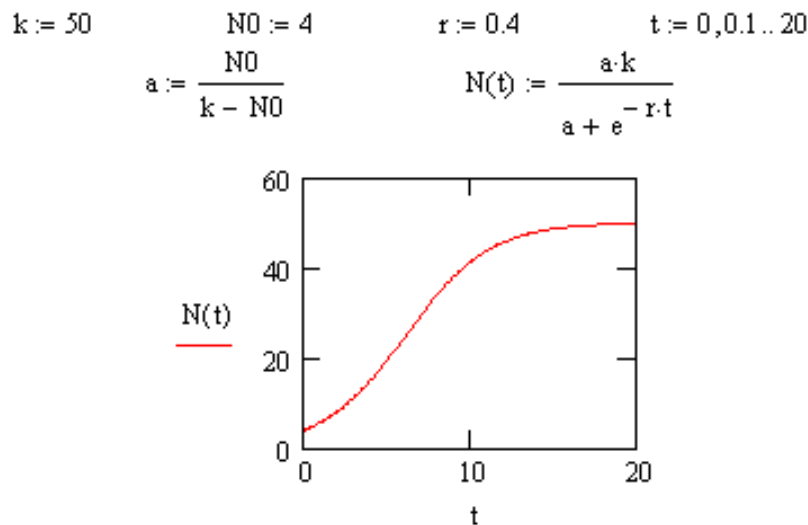


Рис. 6.5 – Графік моделювання зростання чисельності популяції

6. Дослідити систему диференціальних рівнянь, що описує взаємовідносини хижацтва між двома видами організмів за моделлю (6.6). Приклад результатів моделювання, за заданими викладачем параметрами, наведено на рисунку 6.6.

Лабораторна робота № 6

Моделювання та прогнозування популяційної динаміки та біологічних процесів

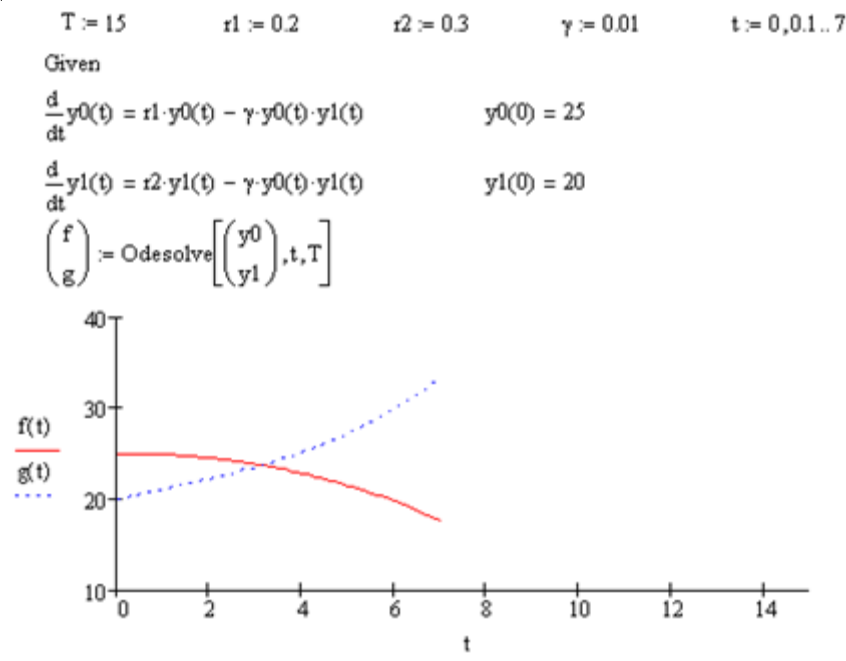


Рис. 6.6 – Графік моделювання взаємовідносин між двома видами організмів

7. У звіті вказати назву, мету, завдання та хід лабораторної роботи; зробити висновки по кожній дослідженій моделі біологічних процесів та навести загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

- 1) Який процес можна описати дрібно-раціональною функцією?
- 2) Яку залежність в біології наближено описує степенева функція?
- 3) Що саме в біології може описувати тригонометрична модель?
- 4) Що описує графік, що відображає експоненціальну функцію?
- 5) Що відображає графік логістичного рівняння для динаміки чисельності популяції?
- 6) Що і як відображає система диференціальних рівнянь, що описує взаємовідносини між двома видами організмів (на прикладі хижацтва).

7 Лабораторна робота № 7

Моделювання даних екологічного моніторингу засобами геоінформаційних технологій

Мета: навчитись використовувати засоби геоінформаційних технологій для моделювання та оброблення даних екологічного моніторингу.

7.1 Теоретичні відомості

Одним із дієвих заходів поліпшення стану атмосферного повітря є капітальний ремонт стану доріг, але як кількісно оцінити досягнутий ефект? Відповідь: проаналізувати стан забруднення атмосферного повітря до та після цього ремонту шляхом просторового моделювання даних екологічного моніторингу з використанням засобів геоінформаційних технологій. Охарактеризуємо як ця задача була вирішена одним із авторів для міста Вінниці у 2009 році (весь матеріал цього підрозділу взятий з роботи [14]).

За даними Вінницької міськради у ГІС «Панорама» на карті муніципальної ГІС міста Вінниці було виділено 7 ділянок доріг, які ремонтувались. Також, на цій карті відмічено пости моніторингу стану атмосферного повітря Вінницької міської СЕС (далі – ВМ СЕС) (рис. 7.1).



Рис. 7.1 – Карта м. Вінниці з постами вимірювання концентрації забруднюючих речовин ВМ СЕС в атмосферному повітрі біля автодоріг (виділено зірочками) та ділянками доріг, де робився капітальний ремонт у 2006-2008 рр. (виділено товстими лініями)

Лабораторна робота № 7

Моделювання даних екологічного моніторингу засобами геоінформаційних технологій

Серед шкідливих домішок, пов'язаних з викидами відпрацьованих газів, особливе місце займає оксид вуглецю. Оксид вуглецю – це продукт неповного згорання органічного (вуглеводневого) палива, який утворюється переважно, у бензинових двигунах при роботі на збагачених паливоповітряних сумішах [4]. При дослідженні впливу ремонту доріг на зміну концентрацій забруднюючих речовин аналізувалась концентрація саме оксиду вуглецю до та після ремонту доріг за даними ВМ СЕС.

Було використано спеціальний інструментарій універсальних пакетів програм для роботи з геоінформаційними системами. Спеціальні інструменти, як правило, дозволяють підібрати кращий варіант інтерполяції для заданої задачі [4, 8, 23].

Було з'ясовано, що капітальний ремонт доріг у м. Вінниці здійснювався в наступні періоди (таблиця 7.1):

Таблиця 7.1 – Періоди проведення ремонту доріг

Номери ділянок доріг, що ремонтувались (див. рис. 7.1)	Дати проведення ремонтних робіт
1	06.2006-08.2006
2	06.2007-08.2007
3	06.2008-08.2008
4	06.2007-08.2007
5	06.2007-08.2007
6	06.2008-08.2008
7	06.2008-08.2008

Аналіз даних проводився за таким алгоритмом:

1. Побудова поверхні значень концентрації СО за даними моніторингу ВМ СЕС до ремонту відповідної дороги (X_1).

2. Побудова поверхні значень концентрації СО за даними моніторингу ВМ СЕС після ремонту відповідної дороги (X_2).

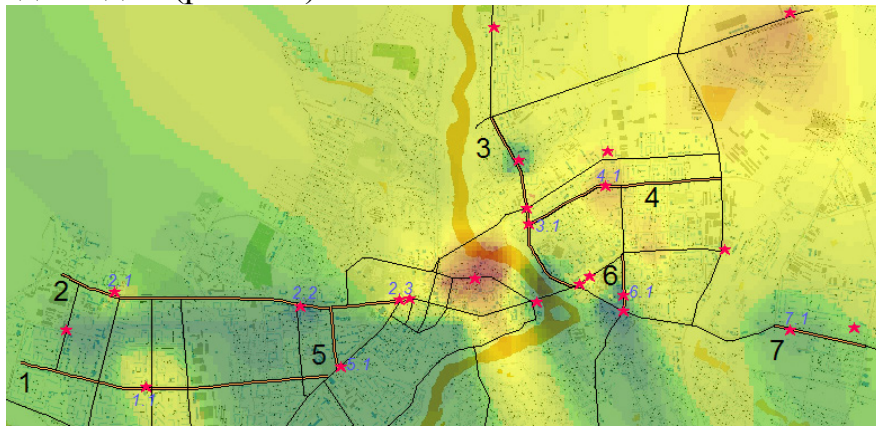
3. Знаходження різниці між інтерпольованою поверхнею значень концентрації СО до та після ремонту доріг ($\Delta X = X_2 - X_1$) (використання алгебри поверхонь).

4. Побудова профілю (зрізу) поверхні значень ΔX , уздовж доріг, які досліджувались.

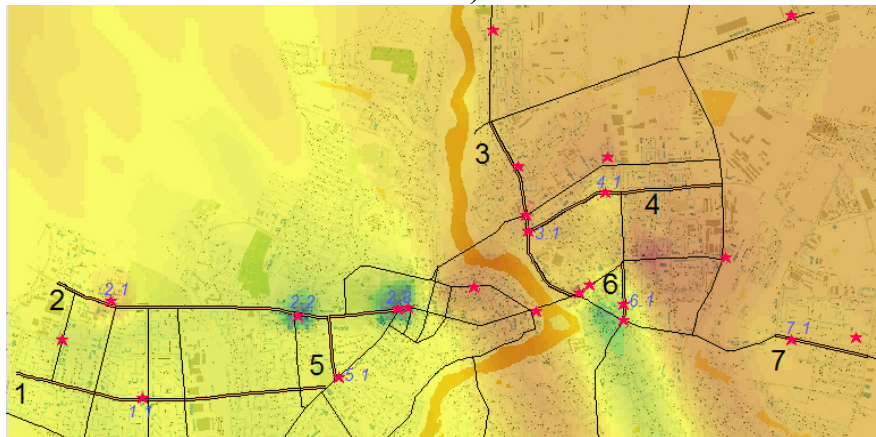
5. Порівняння отриманого графіку з картою інших доріг міста та виявлення й аналіз закономірностей.

На основі даних моніторингу була визначена поверхня різниці концентрації (ΔX) оксиду вуглецю та побудовано карти, які показують на

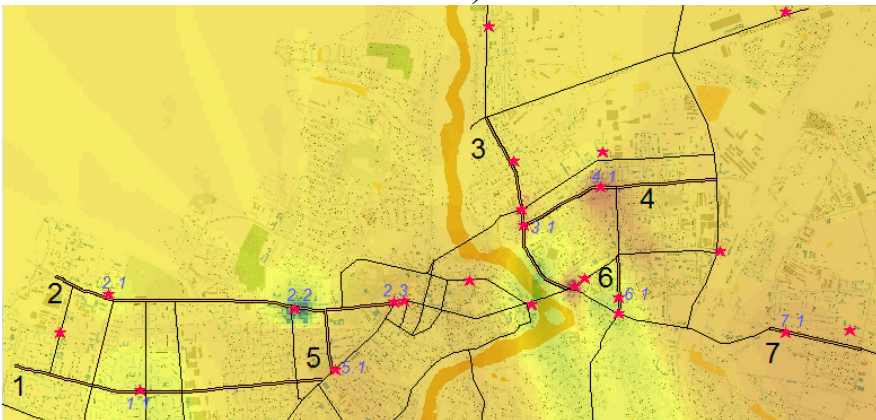
скільки змінилась концентрація після ремонту доріг у 2006, 2007 та 2008 роках, відповідно (рис. 7.2).



а)



б)



в)

Рис. 7.2 – Фрагменти тематичних карт зміни концентрації оксиду вуглецю у м. Вінниці після ремонту доріг: а) у 2006 р., б) у 2007 р. в) у 2008 р.

На основі розроблених карт були побудовані графіки зміни концентрації оксиду вуглецю уздовж ділянок доріг, що аналізувались (рис. 7.3).

Лабораторна робота № 7

Моделювання даних екологічного моніторингу засобами геоінформаційних технологій

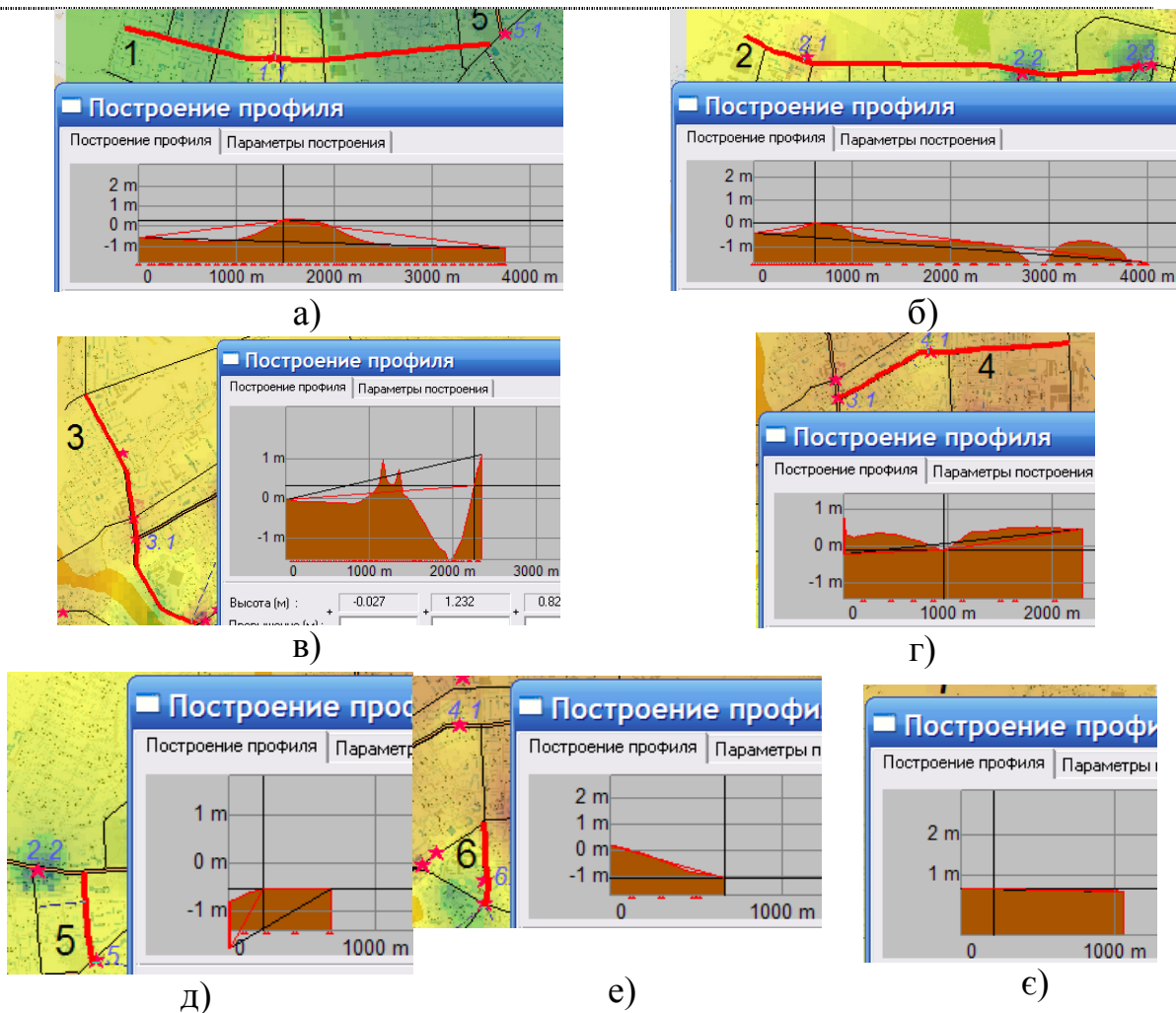


Рис. 7.3 – Графіки зміни концентрації оксиду вуглецю уздовж доріг 1-7 (відповідно, рис. а)-є) (на графіку «m» – це $\text{mg}/\text{m}^3 \text{CO}$ в атмосферному повітрі)

Для точнішого і складнішого моделювання поверхонь, включаючи оцінювання помилок і побудову імовірнісних параметрів побудованих поверхонь, використовують геостатистичні методи інтерполяції, які базуються на статистичних закономірностях.

Геостатистичний аналіз автоматизовано у пакеті прикладних програм «ArcGIS ArcInfo» та включено до складу додаткового модуля «ArcGIS Geostatistical Analyst» [4, 23].

Методи кригінгу дають змогу [4, 14]:

- задавати різні методи інтерполяції (ординарний, простий, універсальний, індикаторний, імовірнісний та диз'юнктивний кригінг);
- створювати різні види вихідних поверхонь: карта інтерпольованих значень, карта квантилей, карта вірогідності та карта стандартної помилки інтерполяції.

Пакет програм «ArcGIS Geostatistical Analyst» містить багато інструментів, які дозволяють визначити, які параметри є оптимальними за певними критеріями, а також пропонує установки за замовчуванням, що забезпечують швидку побудову поверхні.

Аналіз даних проводився за таким алгоритмом:

1. Запуск майстра геостатистики та вибір вхідних даних і методу інтерполяції.
2. Задавання потрібних параметрів в діалозі «Моделювання варіограм/коваріації».
3. В діалозі «Пошук сусідства» зазначається кількість сусідніх точок, що враховуються при побудові карти.
4. За допомогою діалогу «Перехресна перевірка» аналізуються отримані результати, розглядаються різні похибки інтерполяції.
5. Порівняння результатів аналізу та виявлення закономірностей.

Відповідно до запропонованого алгоритму проведено геостатистичний аналіз даних ΔX за 2006, 2007, 2008 роки в пакеті «ArcGIS Geostatistical Analyst». Аналіз проводився за допомогою різних методів кригінгу. Були побудовані поверхні за значеннями варіограм і відомими вимірюваннями в окремих точках.

При цьому застосовувались різні геостатистичні методи (ординарний кригінг, простий кригінг, універсальний кригінг, індикаторний кригінг, імовірнісний кригінг та диз'юнктивний кригінг). Після чого вибирався оптимальний з них. Фрагменти побудованих карт різниці ΔX концентрації оксиду вуглецю чотирма методами кригінгу, доступними в «ArcGIS Geostatistical Analyst 9», зображені на рис. 7.4.

В результаті порівняння значення нормованої середньої помилки, середньоквадратичної помилки інтерполяції, середньої стандартної помилки обчислень і нормованої середньоквадратичної помилки для всіх застосованих методів, було з'ясовано, що оптимальним методом для інтерполяції значень концентрації оксиду вуглецю є універсальний кригінг.

Як видно із графіків на рис. 7.3 та 7.4, майже всюди зміна концентрації має від'ємні значення, що свідчить про зменшення концентрації оксиду вуглецю біля доріг після їх ремонту. Аналіз показує, що для більшості ділянок доріг має місце зменшення на 10-20%, а для ділянок № 2, 5 та 7 (за даними постів 2.3, 5.1, 7.1 – див. рис. 7.1) зменшення складало 60–75%. Більш точний аналіз слід робити, враховуючи додаткові фактори, які впливають на закономірності руху автомобілів після ремонту, в т.ч. той факт, що після ремонту водії часто змінюють маршрут і по відремонтованих дорогах їх може їхати більше, ніж їхало до ремонту (коли на дорозі були ями, водії їздили іншими дорогами). Отже, вибірка транспортних засобів до та після ремонту не є однаковою.

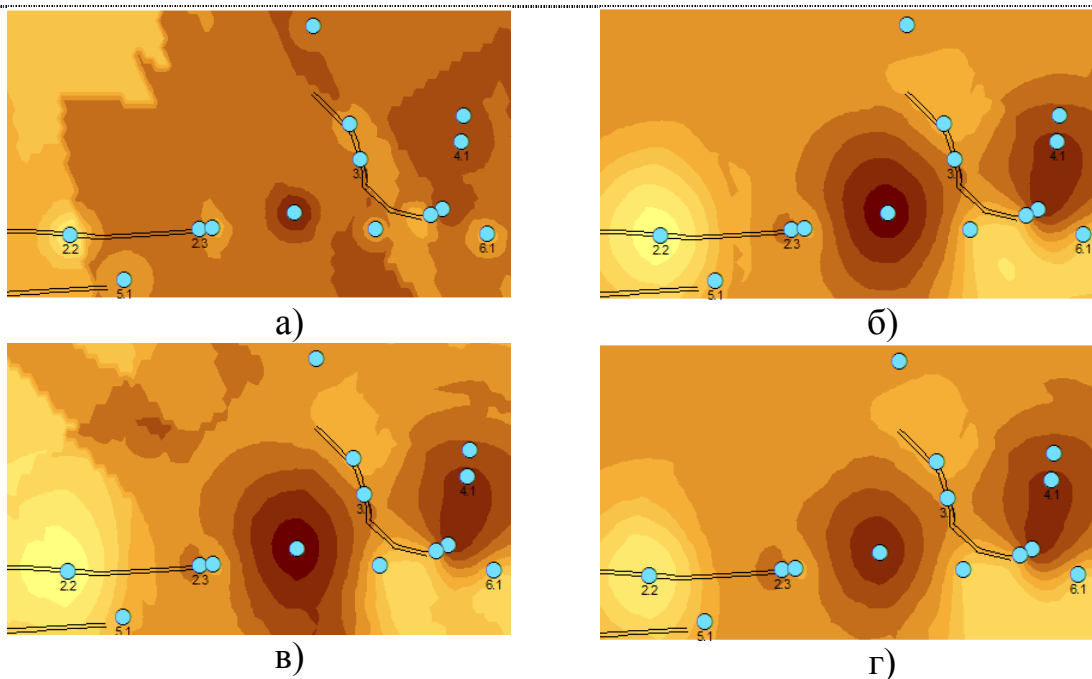


Рис. 7.4 – Фрагменти карт з поверхнею ΔX , побудованою за даними моніторингу концентрації оксиду вуглецю у м. Вінниці за 2006 рік, методами: а) ординарного кригінгу, б) простого кригінгу, в) універсального кригінгу, г) диз'юнктивного кригінгу

7.2 Хід роботи

1. Уточнити постановку задачі дослідження впливу заданого фактору (природоохоронного заходу чи негативного антропогенного або природного фактору) на основі виданих викладачем даних моніторингу стану ґрунтів, вод, атмосферного повітря чи ін.
2. Нанести на карту задані викладачем місця розташування створів спостережень.
3. Здійснити просторове інтерполювання даних екологічного моніторингу до та після появи (чи початку дії) заданого фактору.
4. Побудувати поверхню, яка є різницею поверхні «до» та «після» появи (чи початку дії) заданого фактору.
5. Проаналізувати вплив заданого фактору.
6. У звіті вказати тему, мету, хід виконання роботи та результати роботи за п. 2-5, висновок по роботі.

Контрольні питання

- 1) Приклади природоохоронних заходів та негативних антропогенних або природних факторів, які можуть змінювати стан довкілля.

- 2) *Поняття геоінформаційної системи та геоінформаційних технологій.*
- 3) *Алгоритм аналізу за даними екологічного моніторингу наслідків впливу (дії) певного фактору на стан довкілля з використанням геоінформаційних технологій на основі алгебри поверхонь.*
- 4) *Алгоритм аналізу за даними екологічного моніторингу наслідків впливу (дії) певного фактору на стан довкілля з використанням геоінформаційних технологій за допомогою реостат аналізу.*

8 Лабораторна робота № 8

Математичне моделювання розсіювання забруднення атмосферного повітря за допомогою методики ОНД-86 та Mathcad Professional

Мета: навчитися проводити розрахунок приземних концентрацій забруднюючих речовин викидів стаціонарних джерел по вісі факелу за допомогою інструментарію пакету Mathcad Professional.

8.1 Теоретичні відомості

Розрахунок забруднення атмосферного повітря викидами одинарного джерела проводиться згідно вимог нормативного документу ОНД-86 «Методика расчета концентрацій в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий». Ця методика призначена для розрахунку приземних концентрацій в двометровому шарі над поверхнею землі, а також вертикального розподілу концентрації.

Ступінь небезпеки забруднення атмосферного повітря характеризується найбільшим розрахованим значенням концентрації, що відповідає несприятливим метеорологічним умовам, в тому числі небезпечності швидкості вітру. Норми не розповсюджуються на розрахунок концентрацій на дальніх (більше 100 км) відстанях від джерела викиду.

Для джерел в розрахункових формулах довжина (висота) виражена в метрах, час – у секундах, маса забруднюючих речовин – в грамах, їх концентрація в атмосферному повітрі – в міліграмах на кубічний метр, концентрація на виході з джерела – грамах на кубічний метр.

Розрахунок концентрації забруднюючих речовин, що повністю або частково хімічно трансформуються в більш небезпечні речовини, проводиться по кожній вихідній і утвореній речовині окремо. При цьому потужність джерела для кожної речовини встановлюється з розрахунком максимально можливої трансформації вихідної речовини в більш токсичні. Розрахунками визначаються разові концентрації.

Математичне моделювання та прогнозування стану атмосферного повітря за вмістом забруднюючих речовин у відповідності до методики ОНД-86 є досить простим та дає змогу проводити обчислення як «вручну», так і за допомогою пакетів прикладних програм, що автоматизують розрахунок. Розрахунок проводиться в програмному середовищі Mathcad, яке дозволяє автоматизовано проводити обчислення та виводити графіки залежностей концентрації забруднюючих речовин у повітрі від відстані до джерела здійснення викиду.

Розрахунок концентрації забруднюючих речовин в атмосфері без врахування впливу забудови здійснюється за методикою ОНД-86 для точкових джерел і проводиться за допомогою програмного забезпечення Mathcad.

Розраховуємо максимальне значення приземної концентрації забруднюючої речовини C_m (мг/м³) при викиді газоповітряної суміші з одного точкового джерела з круглим устям, що досягається при несприятливих метеорологічних умовах на відстані $x_{ам}$ від джерела:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}, \quad (8.1)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери, для території країни $A=200$; F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання забруднюючої речовини в атмосферному повітрі, $F=1$ для газів та мілко дисперсних аерозолів; m , n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду; η – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості. Для всієї Вінницької області, де перепади висот не перевищують 50 м на 1 км, $\eta = 1$; ΔT (°C) – різниця між температурою газоповітряної суміші та температурою навколишнього середовища.

Розраховуємо середню швидкість виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду (м/с):

$$\omega_0 = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}, \quad (8.2)$$

де V , м³/с – витрата газоповітряної суміші; D , м – діаметр устя джерела викиду.

Для визначення коефіцієнтів m і n розраховуємо f , v , v^1 :

$$f = \frac{1000 \cdot \omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (8.3)$$

$$v = 0.65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}}, \quad (8.4)$$

$$v^1 = 1.3 \cdot \frac{\omega_0 \cdot D}{H}, \quad (8.5)$$

$$f_e = 800 \cdot (v^1)^3. \quad (8.6)$$

Оскільки $f \leq 100$, коефіцієнт m визначається за формулою:

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1 \cdot \sqrt{f} + 0.34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (8.7)$$

Коефіцієнт n у випадку $f \leq 100$ та при $v > 2$ визначається за формулою:

$$n = 0.532 \cdot v^2 - 2.13 \cdot v + 3.13, \quad (8.8)$$

Розраховуємо відстань до джерела викиду, при якому приземна концентрація досягає максимального значення при несприятливих метеорологічних умовах:

$$x = d \cdot H \cdot \frac{5-F}{4}, \quad (8.9)$$

де H – висота джерела викиду над рівнем землі, м; F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання забруднюючої речовини в атмосферному повітрі, $F=1$ для газів та мілко дисперсних аерозолів; d – безрозмірний коефіцієнт, що при $f < 100$ та при $0.5 < v < 2$, визначається за формулою:

$$d = 4.95 \cdot v \cdot (1 + 0.28 \cdot \sqrt[3]{f}), \quad (8.10)$$

8.2 Хід роботи

1. Розрахувати за допомогою інструментарію пакету Mathcad Professional для заданих трьох підприємств м. Вінниці максимальні концентрації, відстані на яких досягаються максимальні концентрації забруднюючих речовин від викидів стаціонарних джерел за методикою ОНД-86.

2. Розподіл підприємств по варіантах, які вказує викладач (таблиця 8.1).

Таблиця 8.1 – Розподіл підприємств по варіантах

Варіант	Номери підприємств для побудови карти
1.	1, 13, 24
2.	1, 16, 17
3.	15, 16, 17
4.	4, 12, 11
5.	16, 28, 35
6.	4, 12, 28
7.	11, 17, 33
8.	15, 16, 25
9.	15, 16, 33
10.	10, 11, 13
11.	19, 26, 39
12.	1, 5, 28
13.	5, 6, 38
14.	3, 27, 39
15.	3, 20, 21
16.	3, 8, 40
17.	3, 6, 27
18.	5, 8, 27
19.	18, 23, 32
20.	13, 24, 32
21.	17, 18, 32
22.	10, 11, 23
23.	2, 9, 31
24.	22, 31, 40
25.	8, 36, 40
26.	7, 31, 40
27.	36, 37, 40
28.	3, 7, 8
29.	2, 27, 29
30.	5, 6, 7
31.	19, 20, 39
32.	3, 27, 29
33.	29, 31, 40
34.	5, 21, 38
35.	6, 21, 30
36.	22, 36, 40
37.	20, 21, 8
38.	20, 27, 29
39.	3, 21, 27
40.	6, 7, 39

3. Вихідні дані для модельовання забруднюючих речовин (ЗР) від викидів стаціонарних джерел за методикою ОНД-86 (таблиця 8.2).

Лабораторна робота № 8

Математичне моделювання розсіювання забруднення атмосферного повітря за допомогою методики ОНД-86 та Mathcad Professional

Таблиця 8.2 – Вихідні дані для моделювання забруднюючих речовин від викидів стаціонарних джерел за методикою ОНД-86

№ п-ва	Параметри				ЗР				
	H, м	D, м	V, м ³ /с	T _r /°C	SO ₂ , г/с	CO, г/с	NO ₂ , г/с	Пил, г/с	NO, г/с
1	20	1,1	0,5	120			0,0909		
2	25	2	0,8	150			0,0507		
3	23	1,5	0,3	100			0,0785		0,0977
4	15	0,8	0,09	97			0,0907		
5	15	2,5	0,4	120			0,0855		
6	19,4	0,6	0,7	96,1	0,0260	0,0109	0,0292		
7	18,9	1,3	0,9	88,5		0,1014	0,0619		
8	10,1	0,7	0,5	97,0		0,1049	0,0578		
9	16,9	1,1	0,3	109,4			0,0325		
10	16,5	0,7	0,9	110,0			0,0644	0,0794	
11	15,2	0,8	0,4	91,9			0,0900		
12	19,8	0,8	0,8	101,2			0,0389		
13	19,6	1,0	0,1	124,5		0,0959	0,0672	0,0583	
14	16,0	1,2	0,5	82,4		0,0333	0,1028		
15	15,6	0,8	0,6	91,6		0,0656	0,0494	0,0844	
16	12,1	0,6	0,5	129,5		0,1006		0,0486	
17	13,9	1,4	0,8	120,9		0,0106		0,1022	
18	19,7	1,4	0,7	93,6		0,0949		0,0181	
19	16,4	0,6	0,4	80,5		0,0245	0,0625	0,0638	
20	12,4	0,7	0,6	104,3		0,0883	0,0310		
21	11,3	0,5	0,4	109,6		0,0361	0,0530		
22	17,5	1,3	0,8	83,7		0,0979	0,0842	0,0583	
23	18,3	0,8	0,2	110,7	0,0619	0,0713	0,0689		
24	18,4	0,9	0,7	98,1	0,0679	0,0270	0,0587		
25	14,5	1,2	0,5	106,5	0,0934	0,0267	0,0638		
26	14,3	0,7	0,4	129,8	0,0733	0,0984	0,0771		
27	19,4	1,1	0,3	104,1	0,0199		0,0815		
28	19,8	1,0	0,3	109,0	0,0815		0,0903		
29	10,7	1,0	0,8	81,9	0,0892		0,0441		
30	18,3	1,3	0,3	124,6	0,0515		0,0291		
31	15,1	1,3	0,9	80,2	0,0333		0,0660		
32	15,2	1,2	0,0	87,2	0,0915		0,0922	0,0413	0,0768
33	15,6	0,8	0,7	83,4	0,0138		0,0822	0,0395	0,1011
34	11,0	1,4	0,8	118,5	0,0146	0,0756	0,0555	0,1080	0,0225
35	12,7	1,2	0,2	91,3	0,0991	0,0765	0,1008	0,0643	0,0677
36	13,7	0,9	0,5	80,4	0,0542	0,0967	0,0778	0,0326	0,0281
37	19,0	1,1	0,4	121,1	0,0777	0,0510	0,0494	0,0644	0,1073
38	14,4	0,5	0,2	109,1	0,0260	0,0312	0,0624	0,0201	0,0440
39	15,3	1,1	0,0	111,9	0,0431	0,0885	0,0104	0,1047	0,0118
40	11,8	1,0	0,1	124,9	0,0230	0,0169	0,0171	0,0259	0,0811

Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум

4. Результати розрахунків про потужність викиду та максимальну концентрацію по забруднюючій речовині (пилу) представлено на рисунку 8.1.

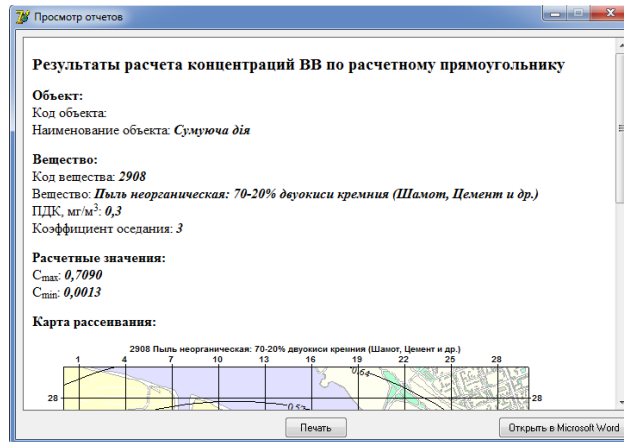


Рисунок 8.1 – Викид та концентрація пилу в атмосферному повітрі

5. Карта розсіювання по пилу для групи джерел наведено на рисунку 8.2.

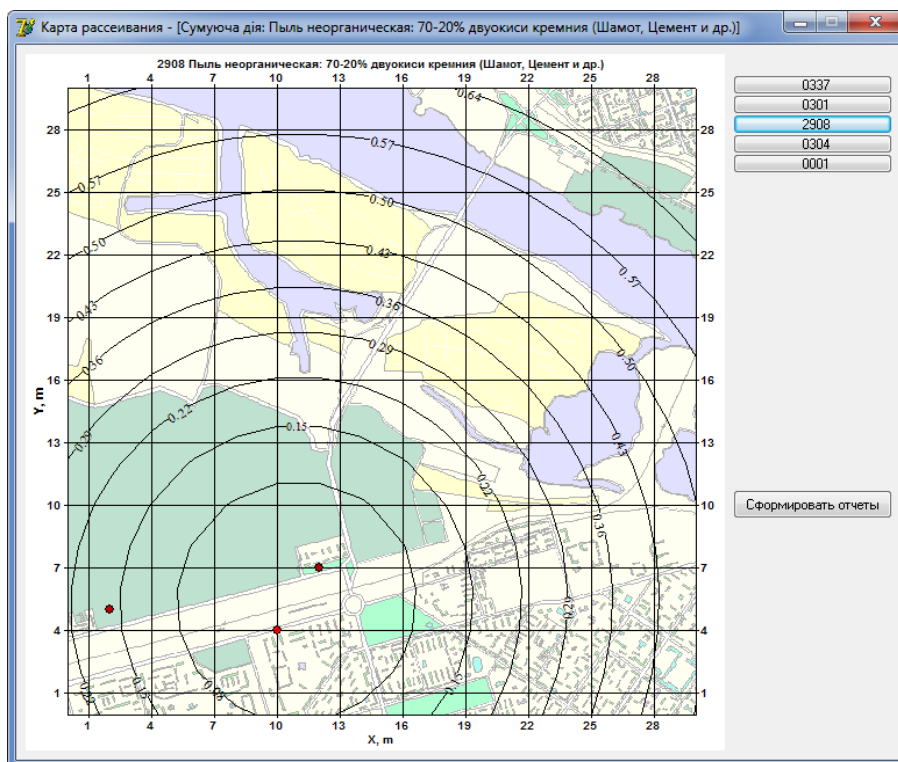


Рисунок 8.2– Карта розсіювання пилу від групи підприємств

6. У звіті вказати назву, мету та хід лабораторної роботи із скріншотами створеної у Mathcad методики розрахунку, а також графіки

Лабораторна робота № 8

Математичне моделювання розсіювання забруднення атмосферного повітря за допомогою методики ОНД-86 та Mathcad Professional розсіювання забруднюючих речовин. Зробити висновки, відповідно до мети роботи та її результатів.

Контрольні питання

- 1) *Які основні параметри враховуються при здійсненні розрахунку розсіювання забруднюючих речовин за методикою ОНД-86?*
- 2) *Як методика ОНД-86 враховує вплив рельєфу та метеорологічних факторів?*
- 3) *Які параметри джерела викиду найбільше впливають на процес розсіювання забруднюючих речовин?*
- 4) *Який кінцевий показник розраховується за методикою ОНД-86?*
- 5) *В якому вигляді з використанням карт візуалізується результат моделювання розсіювання забруднюючих речовин за методикою ОНД-86?*
- 6) *Як знайти місце розташування джерела викиду на карті з результатами моделювання розсіювання забруднюючих речовин за методикою ОНД-86?*

9 Лабораторна робота № 9

Математичне моделювання та прогнозування розсіювання забруднення атмосферного повітря за допомогою методики ОНД-86 та Microsoft Excel

Мета: Оволодіти навичками побудови карти розсіювання забруднюючих речовин від стаціонарних джерел за допомогою програми ОНД-86. Навчитися здійснювати прогнозування забруднення атмосфери за допомогою Microsoft Excel.

9.1 Хід роботи

1. На основі лекційного матеріалу та теоретичних відомостей до Лабораторної роботи № 8 за допомогою програми ОНД-86 та наданими викладачем картами гіпотетичних районів розташування підприємств у м. Вінниці побудувати карту розсіювання забруднюючих речовин від викидів трьох стаціонарних джерел (дані для розрахунків використовувати, надані викладачем у лабораторній роботі № 8).

2. За вказівками викладача в середовищі Microsoft Excel здійснити прогнозування забруднення атмосфери на основі даних спостережень за один місяць (таблиця 9.1). Для прогнозу використати лінійну, поліноміальну (2-го, 3-го степеня), експоненціальну, логарифмічну та степеневу залежності [6, 12, 26].

Таблиця 9.1 – Результати вимірювання якості атмосферного повітря на підприємстві по варіантах

Варіант 1		Варіант2		Варіант3		Варіант4		Варіант5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.01.2012	6,06	01.02.2012	3,72	01.03.2012	51,03	01.04.2012	39,79	01.05.2012	10,28
02.01.2012	6,70	02.02.2012	5,12	02.03.2012	51,23	02.04.2012	40,69	02.05.2012	5,57
03.01.2012	8,14	03.02.2012	4,78	03.03.2012	48,13	03.04.2012	39,47	03.05.2012	17,35
04.01.2012	8,88	04.02.2012	6,81	04.03.2012	47,71	04.04.2012	41,39	04.05.2012	14,79
05.01.2012	7,88	05.02.2012	11,30	05.03.2012	49,75	05.04.2012	43,48	05.05.2012	27,75
06.01.2012	11,73	06.02.2012	14,43	06.03.2012	43,38	06.04.2012	35,25	06.05.2012	20,63
07.01.2012	9,67	07.02.2012	16,18	07.03.2012	43,17	07.04.2012	41,82	07.05.2012	32,17
08.01.2012	12,04	08.02.2012	14,95	08.03.2012	46,96	08.04.2012	34,37	08.05.2012	30,22
09.01.2012	12,07	09.02.2012	21,00	09.03.2012	42,20	09.04.2012	40,91	09.05.2012	34,76
10.01.2012	15,60	10.02.2012	19,62	10.03.2012	41,84	10.04.2012	38,15	10.05.2012	37,35
11.01.2012	16,90	11.02.2012	22,71	11.03.2012	38,13	11.04.2012	35,46	11.05.2012	41,12
12.01.2012	15,53	12.02.2012	26,80	12.03.2012	39,07	12.04.2012	38,35	12.05.2012	49,39

Лабораторна робота № 9

Математичне моделювання та прогнозування розсіювання забруднення атмосферного повітря за допомогою методики ОНД-86 та Microsoft

Excel

13.01.2012	15,53	13.02.2012	29,04	13.03.2012	33,34	13.04.2012	32,80	13.05.2012	45,57
14.01.2012	16,22	14.02.2012	30,20	14.03.2012	29,89	14.04.2012	34,37	14.05.2012	57,55
15.01.2012	16,66	15.02.2012	32,59	15.03.2012	32,75	15.04.2012	33,01	15.05.2012	55,57
16.01.2012	18,71	16.02.2012	32,41	16.03.2012	34,71	16.04.2012	33,69	16.05.2012	64,29
17.01.2012	18,67	17.02.2012	32,42	17.03.2012	27,05	17.04.2012	24,34	17.05.2012	63,54
18.01.2012	20,86	18.02.2012	40,38	18.03.2012	27,85	18.04.2012	26,39	18.05.2012	63,77
19.01.2012	22,41	19.02.2012	37,38	19.03.2012	27,14	19.04.2012	26,53	19.05.2012	73,76
20.01.2012	23,59	20.02.2012	38,60	20.03.2012	27,64	20.04.2012	20,45	20.05.2012	74,54
21.01.2012	23,23	21.02.2012	46,28	21.03.2012	25,25	21.04.2012	20,31	21.05.2012	76,94
22.01.2012	24,03	22.02.2012	46,38	22.03.2012	24,31	22.04.2012	25,13	22.05.2012	76,23
23.01.2012	24,53	23.02.2012	50,45	23.03.2012	21,93	23.04.2012	22,77	23.05.2012	89,45
24.01.2012	26,07	24.02.2012	50,46	24.03.2012	14,39	24.04.2012	25,99	24.05.2012	82,65
25.01.2012	30,46	25.02.2012	53,38	25.03.2012	18,76	25.04.2012	17,66	25.05.2012	86,52
26.01.2012	27,59	26.02.2012	53,43	26.03.2012	17,41	26.04.2012	21,00	26.05.2012	101,28
27.01.2012	30,30	27.02.2012	56,17	27.03.2012	12,48	27.04.2012	15,46	27.05.2012	92,63
28.01.2012	32,52	28.02.2012	57,97	28.03.2012	14,29	28.04.2012	14,38	28.05.2012	100,21
29.01.2012	31,50	01.03.2012	62,15	29.03.2012	15,33	29.04.2012	18,26	29.05.2012	111,01
30.01.2012	35,02	02.03.2012	60,28	30.03.2012	11,59	30.04.2012	10,23	30.05.2012	111,24
31.01.2012	34,29	03.03.2012	66,31	31.03.2012	3,55	01.05.2012	19,02	31.05.2012	113,00
Варіант 6		Варіант 7		Варіант 8		Варіант 9		Варіант 10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.06.2012	6,72	01.07.2012	23,38	01.08.2012	2,42	01.09.2012	44,41	01.10.2012	18,86
02.06.2012	5,01	02.07.2012	15,41	02.08.2012	31,13	02.09.2012	11,99	02.10.2012	20,52
03.06.2012	7,21	03.07.2012	9,37	03.08.2012	7,85	03.09.2012	3,70	03.10.2012	38,97
04.06.2012	13,53	04.07.2012	26,36	04.08.2012	35,33	04.09.2012	37,50	04.10.2012	9,91
05.06.2012	12,84	05.07.2012	23,42	05.08.2012	28,80	05.09.2012	37,29	05.10.2012	4,00
06.06.2012	18,73	06.07.2012	24,50	06.08.2012	38,71	06.09.2012	36,89	06.10.2012	17,62
07.06.2012	11,27	07.07.2012	13,93	07.08.2012	7,93	07.09.2012	17,59	07.10.2012	7,13
08.06.2012	16,25	08.07.2012	20,35	08.08.2012	10,87	08.09.2012	27,71	08.10.2012	34,86
09.06.2012	9,46	09.07.2012	12,79	09.08.2012	14,51	09.09.2012	38,26	09.10.2012	33,48
10.06.2012	19,48	10.07.2012	18,86	10.08.2012	20,38	10.09.2012	16,31	10.10.2012	45,87
11.06.2012	22,22	11.07.2012	18,14	11.08.2012	21,33	11.09.2012	61,40	11.10.2012	39,18
12.06.2012	18,64	12.07.2012	16,89	12.08.2012	37,28	12.09.2012	63,55	12.10.2012	50,32
13.06.2012	20,98	13.07.2012	5,16	13.08.2012	49,91	13.09.2012	65,14	13.10.2012	24,27
14.06.2012	29,79	14.07.2012	12,60	14.08.2012	23,94	14.09.2012	69,40	14.10.2012	39,74
15.06.2012	36,68	15.07.2012	7,88	15.08.2012	42,84	15.09.2012	50,99	15.10.2012	40,78
16.06.2012	30,88	16.07.2012	6,45	16.08.2012	44,27	16.09.2012	78,11	16.10.2012	56,72
17.06.2012	40,09	17.07.2012	5,91	17.08.2012	58,30	17.09.2012	54,97	17.10.2012	39,51
18.06.2012	47,02	18.07.2012	21,89	18.08.2012	35,75	18.09.2012	80,27	18.10.2012	46,89
19.06.2012	45,14	19.07.2012	17,41	19.08.2012	42,65	19.09.2012	60,84	19.10.2012	62,03
20.06.2012	45,11	20.07.2012	9,46	20.08.2012	63,92	20.09.2012	70,08	20.10.2012	72,17
21.06.2012	46,48	21.07.2012	8,23	21.08.2012	47,02	21.09.2012	107,96	21.10.2012	59,91
22.06.2012	59,59	22.07.2012	15,86	22.08.2012	81,18	22.09.2012	76,95	22.10.2012	84,06
23.06.2012	66,66	23.07.2012	16,71	23.08.2012	73,85	23.09.2012	93,48	23.10.2012	88,86
24.06.2012	59,86	24.07.2012	17,82	24.08.2012	88,57	24.09.2012	109,61	24.10.2012	68,63
25.06.2012	71,65	25.07.2012	17,77	25.08.2012	72,54	25.09.2012	124,47	25.10.2012	99,18
26.06.2012	80,71	26.07.2012	21,28	26.08.2012	84,33	26.09.2012	120,62	26.10.2012	101,56
27.06.2012	76,16	27.07.2012	12,16	27.08.2012	88,50	27.09.2012	115,51	27.10.2012	110,06

Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум

28.06.2012	92,47	28.07.2012	13,39	28.08.2012	95,03	28.09.2012	132,28	28.10.2012	97,51
29.06.2012	98,39	29.07.2012	17,28	29.08.2012	88,66	29.09.2012	135,26	29.10.2012	88,14
30.06.2012	101,31	30.07.2012	30,21	30.08.2012	93,15	30.09.2012	158,66	30.10.2012	104,27
01.07.2012	107,72	31.07.2012	12,71	31.08.2012	98,63	01.10.2012	161,00	31.10.2012	111,56
Варіант 11		Варіант 12		Варіант 13		Варіант 14		Варіант 15	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.11.2012	1,23	01.12.2012	11,33	01.01.2011	3,09	01.02.2011	30,84	01.03.2011	20,96
02.11.2012	12,94	02.12.2012	15,02	02.01.2011	6,33	02.02.2011	27,57	02.03.2011	19,00
03.11.2012	14,20	03.12.2012	25,11	03.01.2011	8,34	03.02.2011	25,09	03.03.2011	18,10
04.11.2012	22,98	04.12.2012	30,48	04.01.2011	9,24	04.02.2011	22,41	04.03.2011	18,01
05.11.2012	20,57	05.12.2012	28,11	05.01.2011	11,69	05.02.2011	21,98	05.03.2011	17,62
06.11.2012	29,04	06.12.2012	35,33	06.01.2011	10,08	06.02.2011	20,46	06.03.2011	16,45
07.11.2012	29,76	07.12.2012	40,99	07.01.2011	11,46	07.02.2011	20,32	07.03.2011	16,31
08.11.2012	32,45	08.12.2012	32,29	08.01.2011	13,79	08.02.2011	18,29	08.03.2011	16,80
09.11.2012	30,64	09.12.2012	44,56	09.01.2011	14,63	09.02.2011	17,94	09.03.2011	15,94
10.11.2012	33,86	10.12.2012	36,03	10.01.2011	15,48	10.02.2011	17,22	10.03.2011	15,88
11.11.2012	37,35	11.12.2012	48,43	11.01.2011	13,78	11.02.2011	17,44	11.03.2011	16,12
12.11.2012	35,60	12.12.2012	50,13	12.01.2011	14,43	12.02.2011	16,58	12.03.2011	15,53
13.11.2012	29,48	13.12.2012	40,10	13.01.2011	16,78	13.02.2011	14,67	13.03.2011	15,86
14.11.2012	38,58	14.12.2012	48,64	14.01.2011	14,25	14.02.2011	15,31	14.03.2011	14,94
15.11.2012	37,81	15.12.2012	46,74	15.01.2011	16,50	15.02.2011	15,53	15.03.2011	14,97
16.11.2012	38,39	16.12.2012	42,96	16.01.2011	16,03	16.02.2011	15,30	16.03.2011	14,76
17.11.2012	38,30	17.12.2012	45,45	17.01.2011	16,95	17.02.2011	14,68	17.03.2011	14,66
18.11.2012	32,92	18.12.2012	47,30	18.01.2011	17,28	18.02.2011	12,94	18.03.2011	15,17
19.11.2012	41,11	19.12.2012	55,30	19.01.2011	17,50	19.02.2011	13,18	19.03.2011	14,66
20.11.2012	38,07	20.12.2012	54,65	20.01.2011	17,31	20.02.2011	13,83	20.03.2011	14,13
21.11.2012	44,20	21.12.2012	53,41	21.01.2011	18,31	21.02.2011	12,68	21.03.2011	14,17
22.11.2012	44,58	22.12.2012	49,86	22.01.2011	16,73	22.02.2011	13,10	22.03.2011	13,99
23.11.2012	43,30	23.12.2012	58,94	23.01.2011	18,93	23.02.2011	12,28	23.03.2011	13,94
24.11.2012	42,30	24.12.2012	58,81	24.01.2011	18,19	24.02.2011	11,33	24.03.2011	14,46
25.11.2012	42,00	25.12.2012	57,92	25.01.2011	19,44	25.02.2011	11,10	25.03.2011	14,42
26.11.2012	41,06	26.12.2012	58,76	26.01.2011	18,00	26.02.2011	10,85	26.03.2011	14,21
27.11.2012	37,39	27.12.2012	55,29	27.01.2011	19,47	27.02.2011	10,52	27.03.2011	13,71
28.11.2012	46,53	28.12.2012	54,62	28.01.2011	17,70	28.02.2011	11,09	28.03.2011	14,17
29.11.2012	39,72	29.12.2012	59,40	29.01.2011	20,46	01.03.2011	10,00	29.03.2011	13,47
30.11.2012	40,53	30.12.2012	56,01	30.01.2011	19,01	02.03.2011	9,99	30.03.2011	13,60
01.12.2012	48,16	31.12.2012	58,39	31.01.2011	20,73	03.03.2011	10,22	31.03.2011	13,66
Варіант 16		Варіант 17		Варіант 18		Варіант 19		Варіант 20	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.04.2011	5,09	01.05.2011	27,99	01.06.2011	26,73	01.07.2011	16,73	01.08.2011	15,72
02.04.2011	5,74	02.05.2011	22,08	02.06.2011	22,45	02.07.2011	16,63	02.08.2011	14,90
03.04.2011	7,00	03.05.2011	24,53	03.06.2011	24,43	03.07.2011	14,96	03.08.2011	13,82
04.04.2011	6,72	04.05.2011	20,73	04.06.2011	18,74	04.07.2011	16,75	04.08.2011	13,44
05.04.2011	7,34	05.05.2011	20,04	05.06.2011	21,44	05.07.2011	16,11	05.08.2011	13,56
06.04.2011	7,61	06.05.2011	21,82	06.06.2011	20,77	06.07.2011	14,25	06.08.2011	12,39
07.04.2011	7,33	07.05.2011	20,50	07.06.2011	16,17	07.07.2011	13,38	07.08.2011	12,42
08.04.2011	7,21	08.05.2011	23,30	08.06.2011	18,01	08.07.2011	15,24	08.08.2011	11,89
09.04.2011	7,61	09.05.2011	21,10	09.06.2011	21,07	09.07.2011	12,60	09.08.2011	12,45
10.04.2011	7,72	10.05.2011	22,81	10.06.2011	17,82	10.07.2011	14,78	10.08.2011	11,88
11.04.2011	7,99	11.05.2011	21,58	11.06.2011	18,15	11.07.2011	14,59	11.08.2011	12,13
12.04.2011	8,26	12.05.2011	22,25	12.06.2011	17,64	12.07.2011	11,82	12.08.2011	12,21
13.04.2011	8,51	13.05.2011	22,24	13.06.2011	19,01	13.07.2011	11,23	13.08.2011	11,90
14.04.2011	8,46	14.05.2011	20,19	14.06.2011	21,38	14.07.2011	11,55	14.08.2011	11,11

Лабораторна робота № 9

Математичне моделювання та прогнозування розсіювання забруднення атмосферного повітря за допомогою методики ОНД-86 та Microsoft

Excel

15.04.2011	8,32	15.05.2011	21,53	15.06.2011	16,92	15.07.2011	14,20	15.08.2011	11,73
16.04.2011	8,65	16.05.2011	18,55	16.06.2011	20,77	16.07.2011	12,46	16.08.2011	11,37
17.04.2011	8,45	17.05.2011	17,57	17.06.2011	14,66	17.07.2011	11,74	17.08.2011	11,12
18.04.2011	8,10	18.05.2011	17,60	18.06.2011	19,73	18.07.2011	11,06	18.08.2011	11,46
19.04.2011	8,90	19.05.2011	18,98	19.06.2011	21,09	19.07.2011	11,41	19.08.2011	11,21
20.04.2011	8,78	20.05.2011	20,40	20.06.2011	20,91	20.07.2011	11,36	20.08.2011	11,36
21.04.2011	8,69	21.05.2011	18,33	21.06.2011	14,06	21.07.2011	11,69	21.08.2011	10,60
22.04.2011	8,89	22.05.2011	20,72	22.06.2011	17,82	22.07.2011	12,88	22.08.2011	10,45
23.04.2011	8,25	23.05.2011	19,98	23.06.2011	15,85	23.07.2011	11,41	23.08.2011	11,11
24.04.2011	8,89	24.05.2011	20,73	24.06.2011	15,98	24.07.2011	12,16	24.08.2011	10,41
25.04.2011	8,93	25.05.2011	18,83	25.06.2011	15,00	25.07.2011	13,35	25.08.2011	10,19
26.04.2011	9,11	26.05.2011	17,78	26.06.2011	16,35	26.07.2011	10,84	26.08.2011	11,07
27.04.2011	8,74	27.05.2011	20,66	27.06.2011	19,79	27.07.2011	12,68	27.08.2011	10,86
28.04.2011	8,72	28.05.2011	20,01	28.06.2011	18,12	28.07.2011	12,42	28.08.2011	10,36
29.04.2011	9,07	29.05.2011	21,26	29.06.2011	15,72	29.07.2011	12,37	29.08.2011	10,94
30.04.2011	9,08	30.05.2011	20,34	30.06.2011	15,94	30.07.2011	10,25	30.08.2011	10,16
01.05.2011	9,02	31.05.2011	16,70	01.07.2011	17,27	31.07.2011	12,54	31.08.2011	9,95
Варіант 21		Варіант 22		Варіант 23		Варіант 24		Варіант 25	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.09.2011	36,00	01.10.2011	22,78	01.11.2011	42,43	01.12.2011	29,31	01.01.2010	31,68
02.09.2011	37,08	02.10.2011	22,46	02.11.2011	41,72	02.12.2011	16,70	02.01.2010	30,16
03.09.2011	29,63	03.10.2011	22,54	03.11.2011	32,08	03.12.2011	22,00	03.01.2010	30,40
04.09.2011	31,81	04.10.2011	17,87	04.11.2011	29,18	04.12.2011	19,38	04.01.2010	30,36
05.09.2011	27,14	05.10.2011	17,04	05.11.2011	28,12	05.12.2011	13,82	05.01.2010	28,64
06.09.2011	26,27	06.10.2011	17,98	06.11.2011	27,15	06.12.2011	12,04	06.01.2010	28,45
07.09.2011	30,90	07.10.2011	16,93	07.11.2011	32,37	07.12.2011	8,64	07.01.2010	28,79
08.09.2011	24,97	08.10.2011	20,73	08.11.2011	26,85	08.12.2011	10,36	08.01.2010	30,89
09.09.2011	25,71	09.10.2011	19,90	09.11.2011	30,54	09.12.2011	12,02	09.01.2010	30,58
10.09.2011	25,65	10.10.2011	19,77	10.11.2011	21,76	10.12.2011	6,63	10.01.2010	28,32
11.09.2011	24,13	11.10.2011	19,13	11.11.2011	22,25	11.12.2011	10,99	11.01.2010	29,94
12.09.2011	22,77	12.10.2011	19,04	12.11.2011	24,05	12.12.2011	11,04	12.01.2010	29,48
13.09.2011	24,17	13.10.2011	16,79	13.11.2011	21,28	13.12.2011	13,87	13.01.2010	31,18
14.09.2011	22,08	14.10.2011	16,82	14.11.2011	21,81	14.12.2011	5,90	14.01.2010	27,91
15.09.2011	27,07	15.10.2011	16,73	15.11.2011	25,41	15.12.2011	9,13	15.01.2010	30,42
16.09.2011	23,62	16.10.2011	18,87	16.11.2011	20,92	16.12.2011	9,63	16.01.2010	29,50
17.09.2011	23,00	17.10.2011	16,41	17.11.2011	24,98	17.12.2011	9,41	17.01.2010	30,31
18.09.2011	23,45	18.10.2011	17,32	18.11.2011	25,15	18.12.2011	4,33	18.01.2010	30,92
19.09.2011	21,98	19.10.2011	18,09	19.11.2011	20,60	19.12.2011	7,95	19.01.2010	27,73
20.09.2011	21,69	20.10.2011	14,23	20.11.2011	21,74	20.12.2011	8,42	20.01.2010	30,35
21.09.2011	24,27	21.10.2011	17,55	21.11.2011	23,96	21.12.2011	7,11	21.01.2010	27,78
22.09.2011	22,87	22.10.2011	15,83	22.11.2011	19,60	22.12.2011	4,87	22.01.2010	30,67
23.09.2011	23,54	23.10.2011	16,86	23.11.2011	16,43	23.12.2011	4,75	23.01.2010	30,77
24.09.2011	20,21	24.10.2011	14,90	24.11.2011	19,74	24.12.2011	5,27	24.01.2010	30,12
25.09.2011	23,22	25.10.2011	17,01	25.11.2011	15,06	25.12.2011	2,03	25.01.2010	29,66
26.09.2011	21,39	26.10.2011	16,63	26.11.2011	16,60	26.12.2011	1,71	26.01.2010	30,66
27.09.2011	19,98	27.10.2011	13,74	27.11.2011	22,07	27.12.2011	5,87	27.01.2010	27,31
28.09.2011	20,31	28.10.2011	13,82	28.11.2011	18,23	28.12.2011	7,98	28.01.2010	28,38
29.09.2011	18,45	29.10.2011	14,34	29.11.2011	15,11	29.12.2011	1,76	29.01.2010	26,71

Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум

30.09.2011	21,20	30.10.2011	13,52	30.11.2011	18,38	30.12.2011	6,39	30.01.2010	27,33
01.10.2011	22,87	31.10.2011	13,91	01.12.2011	13,36	31.12.2011	6,86	31.01.2010	26,95
Варіант 26		Варіант 27		Варіант 28		Варіант 29		Варіант 30	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.02.2010	6,21	01.03.2010	52,03	01.04.2010	20,37	01.06.2010	30,49	01.07.2010	28,68
02.02.2010	7,81	02.03.2010	53,02	02.04.2010	24,47	02.06.2010	32,59	02.07.2010	29,75
03.02.2010	7,68	03.03.2010	47,13	03.04.2010	35,33	03.06.2010	30,91	03.07.2010	26,56
04.02.2010	8,78	04.03.2010	44,09	04.04.2010	34,60	04.06.2010	27,92	04.07.2010	24,07
05.02.2010	9,83	05.03.2010	40,99	05.04.2010	36,60	05.06.2010	30,76	05.07.2010	18,61
06.02.2010	9,97	06.03.2010	37,29	06.04.2010	38,06	06.06.2010	28,29	06.07.2010	13,59
07.02.2010	6,56	07.03.2010	38,57	07.04.2010	37,67	07.06.2010	28,67	07.07.2010	23,44
08.02.2010	6,24	08.03.2010	41,76	08.04.2010	39,36	08.06.2010	31,74	08.07.2010	14,87
09.02.2010	9,87	09.03.2010	33,88	09.04.2010	36,44	09.06.2010	27,52	09.07.2010	25,29
10.02.2010	8,42	10.03.2010	37,99	10.04.2010	40,67	10.06.2010	29,12	10.07.2010	18,71
11.02.2010	6,87	11.03.2010	37,95	11.04.2010	34,91	11.06.2010	30,90	11.07.2010	11,60
12.02.2010	5,37	12.03.2010	33,75	12.04.2010	38,38	12.06.2010	26,95	12.07.2010	20,78
13.02.2010	6,01	13.03.2010	37,00	13.04.2010	33,58	13.06.2010	26,58	13.07.2010	22,08
14.02.2010	6,98	14.03.2010	33,29	14.04.2010	35,09	14.06.2010	30,81	14.07.2010	14,14
15.02.2010	5,65	15.03.2010	32,26	15.04.2010	40,67	15.06.2010	27,81	15.07.2010	14,83
16.02.2010	5,57	16.03.2010	33,82	16.04.2010	35,84	16.06.2010	26,82	16.07.2010	15,13
17.02.2010	5,44	17.03.2010	34,02	17.04.2010	41,83	17.06.2010	27,38	17.07.2010	14,03
18.02.2010	6,45	18.03.2010	31,48	18.04.2010	43,26	18.06.2010	28,32	18.07.2010	13,43
19.02.2010	10,87	19.03.2010	28,45	19.04.2010	38,86	19.06.2010	25,79	19.07.2010	20,01
20.02.2010	7,28	20.03.2010	32,63	20.04.2010	44,64	20.06.2010	29,10	20.07.2010	10,85
21.02.2010	9,86	21.03.2010	34,36	21.04.2010	36,90	21.06.2010	28,87	21.07.2010	18,76
22.02.2010	9,09	22.03.2010	32,54	22.04.2010	36,21	22.06.2010	25,26	22.07.2010	20,73
23.02.2010	5,09	23.03.2010	29,51	23.04.2010	42,92	23.06.2010	25,73	23.07.2010	15,94
24.02.2010	10,01	24.03.2010	31,87	24.04.2010	36,56	24.06.2010	29,24	24.07.2010	12,10
25.02.2010	8,98	25.03.2010	29,36	25.04.2010	36,81	25.06.2010	23,66	25.07.2010	12,57
26.02.2010	6,42	26.03.2010	32,37	26.04.2010	40,07	26.06.2010	23,58	26.07.2010	12,07
27.02.2010	9,42	27.03.2010	29,07	27.04.2010	41,53	27.06.2010	30,23	27.07.2010	13,93
28.02.2010	7,16	28.03.2010	23,96	28.04.2010	37,90	28.06.2010	23,42	28.07.2010	7,09
01.03.2010	8,38	29.03.2010	24,24	29.04.2010	37,48	29.06.2010	27,32	29.07.2010	15,26
02.03.2010	6,55	30.03.2010	28,40	30.04.2010	46,86	30.06.2010	23,38	30.07.2010	20,70
03.03.2010	5,65	31.03.2010	24,03	01.05.2010	41,90	01.07.2010	30,08	31.07.2010	9,48
Варіант 31		Варіант 32		Варіант 33		Варіант 34		Варіант 35	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.06.2012	6,72	01.07.2012	23,38	01.08.2012	2,42	01.09.2012	44,41	01.10.2012	18,86
02.06.2012	5,01	02.07.2012	15,41	02.08.2012	31,13	02.09.2012	11,99	02.10.2012	20,52
03.06.2012	7,21	03.07.2012	9,37	03.08.2012	7,85	03.09.2012	3,70	03.10.2012	38,97
04.06.2012	13,53	04.07.2012	26,36	04.08.2012	35,33	04.09.2012	37,50	04.10.2012	9,91
05.06.2012	12,84	05.07.2012	23,42	05.08.2012	28,80	05.09.2012	37,29	05.10.2012	4,00
06.06.2012	18,73	06.07.2012	24,50	06.08.2012	38,71	06.09.2012	36,89	06.10.2012	17,62
07.06.2012	11,27	07.07.2012	13,93	07.08.2012	7,93	07.09.2012	17,59	07.10.2012	7,13
08.06.2012	16,25	08.07.2012	20,35	08.08.2012	10,87	08.09.2012	27,71	08.10.2012	34,86
09.06.2012	9,46	09.07.2012	12,79	09.08.2012	14,51	09.09.2012	38,26	09.10.2012	33,48
10.06.2012	19,48	10.07.2012	18,86	10.08.2012	20,38	10.09.2012	16,31	10.10.2012	45,87
11.06.2012	22,22	11.07.2012	18,14	11.08.2012	21,33	11.09.2012	61,40	11.10.2012	39,18
12.06.2012	18,64	12.07.2012	16,89	12.08.2012	37,28	12.09.2012	63,55	12.10.2012	50,32
13.06.2012	20,98	13.07.2012	5,16	13.08.2012	49,91	13.09.2012	65,14	13.10.2012	24,27
14.06.2012	29,79	14.07.2012	12,60	14.08.2012	23,94	14.09.2012	69,40	14.10.2012	39,74
15.06.2012	36,68	15.07.2012	7,88	15.08.2012	42,84	15.09.2012	50,99	15.10.2012	40,78
16.06.2012	30,88	16.07.2012	6,45	16.08.2012	44,27	16.09.2012	78,11	16.10.2012	56,72

Лабораторна робота № 9

Математичне моделювання та прогнозування розсіювання забруднення атмосферного повітря за допомогою методики ОНД-86 та Microsoft Excel

17.06.2012	40,09	17.07.2012	5,91	17.08.2012	58,30	17.09.2012	54,97	17.10.2012	39,51
18.06.2012	47,02	18.07.2012	21,89	18.08.2012	35,75	18.09.2012	80,27	18.10.2012	46,89
19.06.2012	45,14	19.07.2012	17,41	19.08.2012	42,65	19.09.2012	60,84	19.10.2012	62,03
20.06.2012	45,11	20.07.2012	9,46	20.08.2012	63,92	20.09.2012	70,08	20.10.2012	72,17
21.06.2012	46,48	21.07.2012	8,23	21.08.2012	47,02	21.09.2012	107,96	21.10.2012	59,91
22.06.2012	59,59	22.07.2012	15,86	22.08.2012	81,18	22.09.2012	76,95	22.10.2012	84,06
23.06.2012	66,66	23.07.2012	16,71	23.08.2012	73,85	23.09.2012	93,48	23.10.2012	88,86
24.06.2012	59,86	24.07.2012	17,82	24.08.2012	88,57	24.09.2012	109,61	24.10.2012	68,63
25.06.2012	71,65	25.07.2012	17,77	25.08.2012	72,54	25.09.2012	124,47	25.10.2012	99,18
26.06.2012	80,71	26.07.2012	21,28	26.08.2012	84,33	26.09.2012	120,62	26.10.2012	101,56
27.06.2012	76,16	27.07.2012	12,16	27.08.2012	88,50	27.09.2012	115,51	27.10.2012	110,06
28.06.2012	92,47	28.07.2012	13,39	28.08.2012	95,03	28.09.2012	132,28	28.10.2012	97,51
29.06.2012	98,39	29.07.2012	17,28	29.08.2012	88,66	29.09.2012	135,26	29.10.2012	88,14
30.06.2012	101,31	30.07.2012	30,21	30.08.2012	93,15	30.09.2012	158,66	30.10.2012	104,27
01.07.2012	107,72	31.07.2012	12,71	31.08.2012	98,63	01.10.2012	161,00	31.10.2012	111,56
Варіант 36		Варіант 37		Варіант 38		Варіант 39		Варіант 40	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.04.2011	5,09	01.05.2011	27,99	01.06.2011	26,73	01.07.2011	16,73	01.08.2011	15,72
02.04.2011	5,74	02.05.2011	22,08	02.06.2011	22,45	02.07.2011	16,63	02.08.2011	14,90
03.04.2011	7,00	03.05.2011	24,53	03.06.2011	24,43	03.07.2011	14,96	03.08.2011	13,82
04.04.2011	6,72	04.05.2011	20,73	04.06.2011	18,74	04.07.2011	16,75	04.08.2011	13,44
05.04.2011	7,34	05.05.2011	20,04	05.06.2011	21,44	05.07.2011	16,11	05.08.2011	13,56
06.04.2011	7,61	06.05.2011	21,82	06.06.2011	20,77	06.07.2011	14,25	06.08.2011	12,39
07.04.2011	7,33	07.05.2011	20,50	07.06.2011	16,17	07.07.2011	13,38	07.08.2011	12,42
08.04.2011	7,21	08.05.2011	23,30	08.06.2011	18,01	08.07.2011	15,24	08.08.2011	11,89
09.04.2011	7,61	09.05.2011	21,10	09.06.2011	21,07	09.07.2011	12,60	09.08.2011	12,45
10.04.2011	7,72	10.05.2011	22,81	10.06.2011	17,82	10.07.2011	14,78	10.08.2011	11,88
11.04.2011	7,99	11.05.2011	21,58	11.06.2011	18,15	11.07.2011	14,59	11.08.2011	12,13
12.04.2011	8,26	12.05.2011	22,25	12.06.2011	17,64	12.07.2011	11,82	12.08.2011	12,21
13.04.2011	8,51	13.05.2011	22,24	13.06.2011	19,01	13.07.2011	11,23	13.08.2011	11,90
14.04.2011	8,46	14.05.2011	20,19	14.06.2011	21,38	14.07.2011	11,55	14.08.2011	11,11
15.04.2011	8,32	15.05.2011	21,53	15.06.2011	16,92	15.07.2011	14,20	15.08.2011	11,73
16.04.2011	8,65	16.05.2011	18,55	16.06.2011	20,77	16.07.2011	12,46	16.08.2011	11,37
17.04.2011	8,45	17.05.2011	17,57	17.06.2011	14,66	17.07.2011	11,74	17.08.2011	11,12
18.04.2011	8,10	18.05.2011	17,60	18.06.2011	19,73	18.07.2011	11,06	18.08.2011	11,46
19.04.2011	8,90	19.05.2011	18,98	19.06.2011	21,09	19.07.2011	11,41	19.08.2011	11,21
20.04.2011	8,78	20.05.2011	20,40	20.06.2011	20,91	20.07.2011	11,36	20.08.2011	11,36
21.04.2011	8,69	21.05.2011	18,33	21.06.2011	14,06	21.07.2011	11,69	21.08.2011	10,60
22.04.2011	8,89	22.05.2011	20,72	22.06.2011	17,82	22.07.2011	12,88	22.08.2011	10,45
23.04.2011	8,25	23.05.2011	19,98	23.06.2011	15,85	23.07.2011	11,41	23.08.2011	11,11
24.04.2011	8,89	24.05.2011	20,73	24.06.2011	15,98	24.07.2011	12,16	24.08.2011	10,41
25.04.2011	8,93	25.05.2011	18,83	25.06.2011	15,00	25.07.2011	13,35	25.08.2011	10,19
26.04.2011	9,11	26.05.2011	17,78	26.06.2011	16,35	26.07.2011	10,84	26.08.2011	11,07
27.04.2011	8,74	27.05.2011	20,66	27.06.2011	19,79	27.07.2011	12,68	27.08.2011	10,86
28.04.2011	8,72	28.05.2011	20,01	28.06.2011	18,12	28.07.2011	12,42	28.08.2011	10,36
29.04.2011	9,07	29.05.2011	21,26	29.06.2011	15,72	29.07.2011	12,37	29.08.2011	10,94
30.04.2011	9,08	30.05.2011	20,34	30.06.2011	15,94	30.07.2011	10,25	30.08.2011	10,16
01.05.2011	9,02	31.05.2011	16,70	01.07.2011	17,27	31.07.2011	12,54	31.08.2011	9,95

Графік експоненціальної залежності зміни концентрації забруднюючих речовин у повітрі показано на рисунку 9.1.

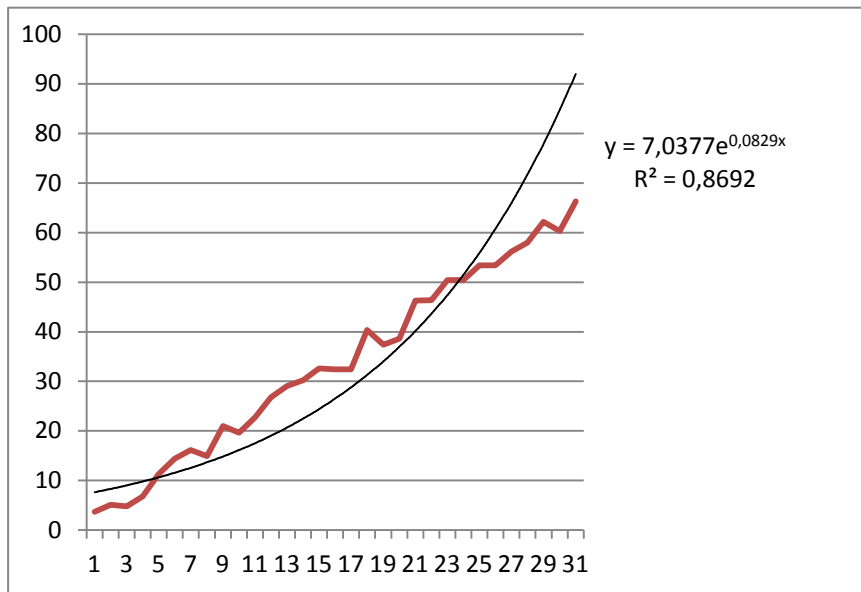


Рисунок 9.1 – Експоненційна залежність зміни концентрації заруднюючих речовин у повітрі

Графік лінійної залежності зміни концентрації забруднюючих речовин у повітрі показано на рисунку 9.2.

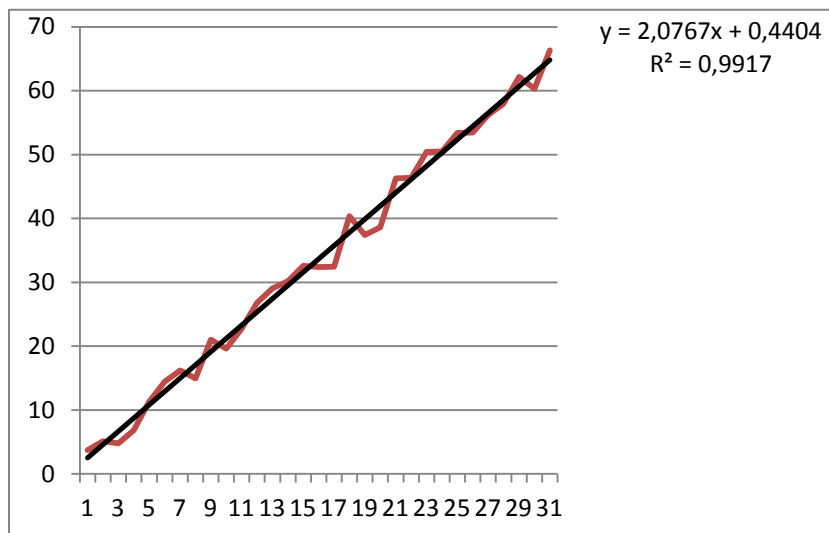


Рисунок 9.2 – Лінійна залежність зміни концентрації забруднюючих речовин

Графік логарифмічної залежності зміни концентрації забруднюючих речовин у повітрі показано на рисунку 9.3.

Лабораторна робота № 9

Математичне моделювання та прогнозування розсіювання забруднення атмосферного повітря за допомогою методики ОНД-86 та Microsoft Excel

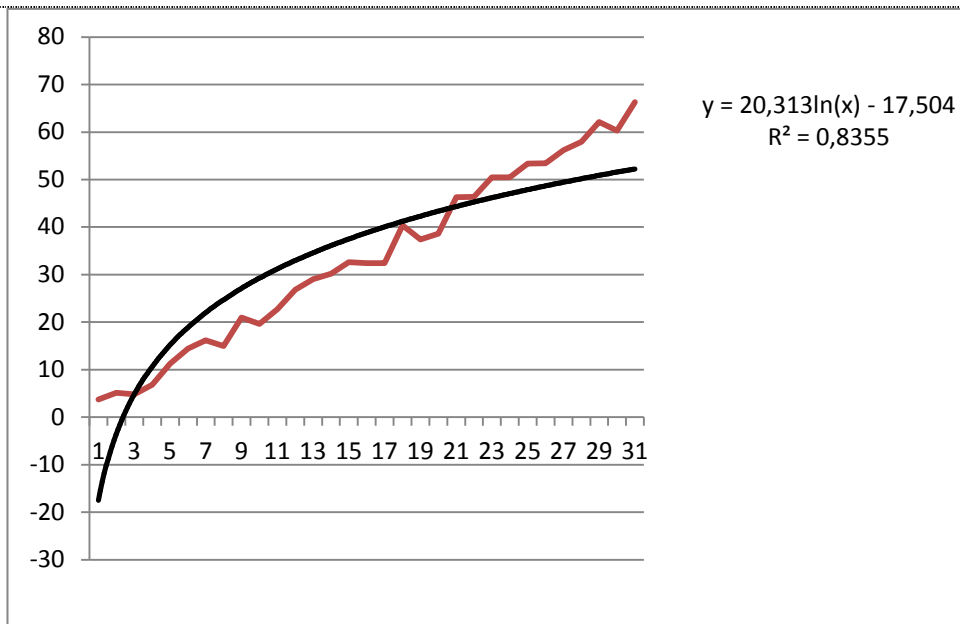


Рисунок 9.3 – Логарифмічна залежність зміни концентрації забруднюючих речовин у повітрі

Для моделювання зміни концентрації забруднюючих речовин у повітрі застосовуємо поліноміальне рівняння n -х порядків. Результати моделювання для полінома 2-го порядку представлено на рисунку 9.4.

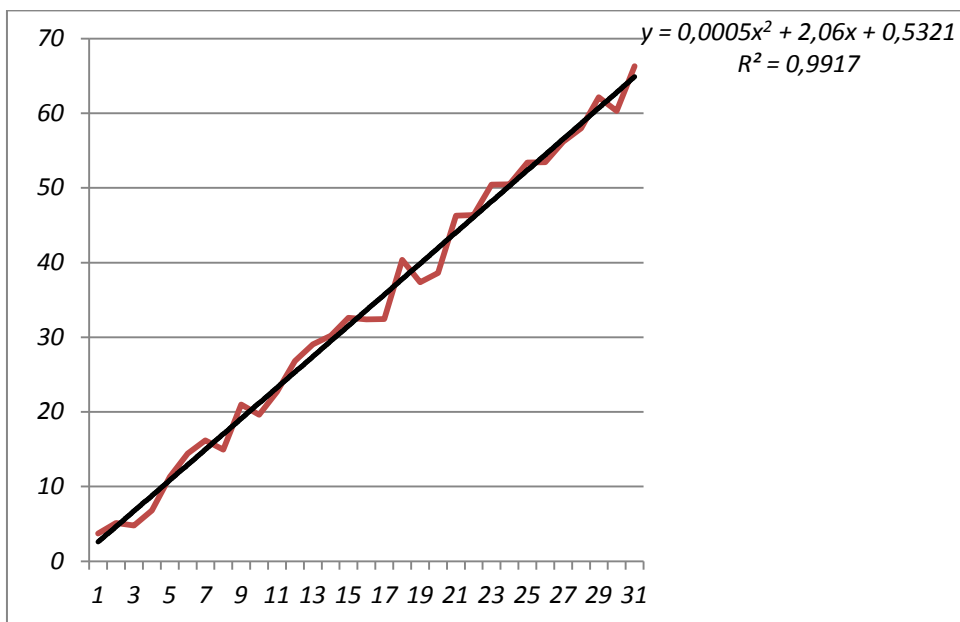


Рисунок 9.4 – Поліноміальна залежність 2-го степеня зміни концентрації забруднюючих речовин у повітрі

3. Обчислити відносну похибку точності ідентифікації заданих експериментальних даних.

4. У звіті вказати тему, мету, хід виконання роботи з ідентифікованими виразами моделей, їх графіками та похибками апроксимації, які вони дозволяють досягти, висновок по роботі щодо того, яка залежність є оптимальною і за структурою, і за параметрами та яку похибку вона забезпечує.

Контрольні питання

- 1) *Які варіанти побудови ліній тренду існують в MS Excel?*
- 2) *Яким чином можливо провести прогнозування викидів, використовуючи засоби MS Excel?*
- 3) *Яким чином проводиться розрахунок похибки результатів прогнозування?*

10 Лабораторна робота №10

Первинна статистична обробка даних. Кореляційний аналіз

Мета: навчитись проводити первинну статистичну обробку даних та, використовуючи метод кореляційного аналізу, визначити ступінь залежності між показниками якості води у річці.

10.1 Теоретичні відомості

Кореляція (від лат. correlatio - співвідношення) - це статистична залежність між випадковими величинами, що носить імовірнісний характер.

Характер кореляційного аналізу залежить від:

- типу кореляції (додатна чи від'ємна);
- кількості змінних (проста, парна, множинна, часткова кореляція);
- форми зв'язку (лінійна, нелінійна, рангова кореляція);
- типу зв'язку явищ (безпосередня, посередня, хибна кореляція).

Задачі кореляційного аналізу:

- визначення ступеня зв'язності (щільності, інтенсивності тощо) двох чи більше явищ;
- верифікація відомих зв'язків чи виявлення невідомих;
- відбір інформативних факторів (змінних), що впливають на результуючу ознаку.

Парний кореляційний аналіз включає вивчення кореляційних залежностей тільки між парами перемінних, а множинний, або багатовимірний, – між багатьма змінними одночасно. Поширеною у прикладній статистиці формою багатовимірного кореляційного аналізу є факторний аналіз.

Коефіцієнт лінійної кореляції визначається за допомогою наступної формули [12, 13, 15]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{n \cdot \sqrt{\bar{s}_x^2 \cdot \bar{s}_y^2}}, \quad (10.1)$$

де r_{xy} – коефіцієнт лінійної кореляції; \bar{x} , \bar{y} – середні вибіркові значення порівнюваних величин; x_i , y_i – вибіркові значення порівнюваних вели-

чин; n – загальне число величин в порівнюваних рядах показників; \bar{S}_x^2 , \bar{S}_y^2 – дисперсії, відхилення порівнюваних величин від середніх значень.

Ступінь стохастичного зв'язку:

- $r_{xy} = 1$ – між x та y є детермінований зв'язок, тобто один ряд можна точно (з помилкою 0%) вирахувати з іншого;
- $1 > r_{xy} \geq 0,9$ – між x та y є сильний стохастичний зв'язок;
- $0,9 > r_{xy} \geq 0,7$ – між x та y є середній стохастичний зв'язок;
- $0,7 > r_{xy} \geq 0,6$ (іноді вважають 0,3) – між x та y є слабкий стохастичний зв'язок;
- $r_{xy} = 0$ – x та y можуть бути незалежними випадковими змінними або між ними немає лінійної залежності.

Метод множинних кореляцій на відміну від методу парних кореляцій дозволяє виявити загальну структуру кореляційних залежностей, які існують всередині багатовимірного експериментального матеріалу, який включає більше двох змінних, і представити ці кореляційні залежності у вигляді деякої системи.

При знаходженні часткового коефіцієнта кореляції необхідно дотримуватися таких умов [12, 13]:

1. Змінні, що порівнюються повинні бути виміряні в шкалі інтервалів або відносин.
2. Передбачається, що всі змінні мають нормальний закон розподілу.
3. Число варійованих ознак у порівнюваних змінних має бути однаковим.
4. Для оцінки рівня достовірності кореляційних відношень використовують формулу Персона і таблицю критичних значень для t -критерію Стьюдента при $k = n - 2$.

10.2 Хід роботи

1. Провести первинну статистичну обробку даних та підрахувати статистичні характеристики даних вимірювань забруднюючих речовин у воді відповідно до варіанту (дані наведені в таблиці 10.1).

Опишемо процес первинної обробки даних, використовуючи засоби Mathcad.

У результаті вимірювання концентрації нітратів у воді були отримані такі дані:

$$x := (4.31 \ 4.52 \ 4.61 \ 4.26 \ 4.12 \ 4.14 \ 4.53 \ 4.47 \ 4.51 \ 4.31 \ 4.22 \ 4.28 \ 4.37 \ 4.29 \ 4.38)^T$$

Кількість значень $n := 15$

Функція для сортування значень $x_i := \text{sort}(x)$, результат обрахунку на рис. 10.1.

Лабораторна робота №10

Первинна статистична обробка даних. Кореляційний аналіз

$$x_i^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 4.12 & 4.14 & 4.22 & 4.26 & 4.28 & 4.29 & 4.31 & 4.31 & 4.37 & 4.38 \end{array}$$

Рис. 10.1 – Реалізація сортування значень в Mathcad

Знаходження обернених значень в Mathcad здійснюється, використовуючи функцію $ober := \frac{1}{x_i}$, результат розрахунку на рис. 10.2.

$$ober^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0.243 & 0.242 & 0.237 & 0.235 & 0.234 & 0.233 & 0.232 & 0.232 & 0.229 & 0.228 \end{array}$$

Рис. 10.2 – Знаходження обернених значень в Mathcad

Таблиця 10.1 – Варіанти завдань для первинної статистичної обробки даних

Вар. 1 рН	Вар. 2 Cl	Вар. 3 SO ₄	Вар. 4 BSK5
7,98	19,14	21,52	5,31
7,75	19	22,86	5,90
8,23	27,8	39,03	9,18
7,52	22,75	32,06	5,11
7,67	19,75	44,4	5,28
8,1	18	39,05	7,15
7,98	35,45	38,1	3,84
8,03	34,99	40,73	4
8,12	32,27	40,95	3,8
8,12	32,27	40,95	3,8
7,84	35,57	32,83	3,75
7,88	32,49	28,41	3,61
7,84	27,32	39,02	9,29
7,55	23,25	43,41	9,43
8,1	23	43,5	6,62

Обчислення:

– середнє арифметичне

$$x_{\text{ср}} := \text{mean}(x_i)$$

$$x_{\text{ср}} = 4.355$$

– середнє гармонійне

$$x_h := \frac{n}{\sum_{\text{ober}}$$

$$x_h = 4.35$$

– середнє квадратичне

$$x_q := \sqrt{\text{mean}(x_i^2)}$$

$$x_q = 4.357$$

– середнє кубічне

$$x_Q := \sqrt[3]{\text{mean}(x_i^3)}$$

$$x_Q = 4.359$$

– медіана

$$\text{median}(x_i) = 4.31$$

– мода

$$\text{mode}(x_i) = 4.31$$

– варіаційний розмах

$$r := \max(x_i) - \min(x_i)$$

$$r = 0.49$$

– середнє квадратичне відхилення

$$S_x := \text{stdev}(x_i)$$

$$S_x = 0.142$$

– дисперсія

$$S_x^2 = 0.02$$

– коефіцієнт варіації

$$C_v := \frac{S_x \cdot 100}{\text{mean}(x_i)}$$

$$C_v = 3.267$$

2. Внести у Mathcad дані вимірювання показників якості води у річці. Після чого обчислити основні статистичні характеристики вимірюваних показників. Побудувати графік зміни показників якості води у річці від часу.

Проведемо обробку даних вимірювань показників температури повітря і температури води у річці протягом року.

Лабораторна робота №10

Первинна статистична обробка даних. Кореляційний аналіз

ORIGIN := 1

Кількість вимірювань кожного показника: N := 12

i:=LN j:= 1..3
i:=LN

Значення температури повітря $tp_i := A_{i,2}$

	1
1	-5
2	-2
3	10
4	12
5	21
6	26
7	30
8	28
9	23
10	17
11	13
12	5

Місяць року $Op_i := A_{i,1}$

	1
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12

Температура води у річці $tg_i := A_{i,3}$

	1
1	-2
2	-1
3	4
4	7
5	17
6	20
7	24
8	22
9	19
10	12
11	7
12	2

$$SD(x) := stdev(x) \cdot \sqrt{\frac{N}{N-1}}$$

Основні статистичні характеристики вимірюваних показників наведено на рис 10.3.

	Параметр - tp	Параметр - tg	Параметр - Op
Мат. очікування	mean(tp) = 14.833	mean(tg) = 10.917	mean(Op) = 6.5
Медіана	median(tp) = 15	median(tg) = 9.5	median(Op) = 6.5
С.к.в.	SD(tp) = 11.464	SD(tg) = 9.278	SD(Op) = 3.606
Дисперсія	SD(tp) ² = 131.424	SD(tg) ² = 86.083	SD(Op) ² = 13
Регресійні коефіцієнти			
Коефіцієнт кореляції	corr(tp, tg) = 0.981	corr(tp, Op) = 0.4113	corr(tg, Op) = 0.3411
Дисперсія	corr(tp, tg) ² = 0.962	corr(tp, Op) ² = 0.169	corr(tg, Op) ² = 0.116
Коваріація	cvar(tp, tg) = 95.653	cvar(tp, Op) = 15.583	cvar(tg, Op) = 10.458
С.к.в.	stderr(tp, tg) = 1.886	stderr(tp, Op) = 3.447	stderr(tg, Op) = 3.555

Рис. 10.3 – Розрахунок статистичних показників в Mathcad

Графік зміни температури повітря і температури води у річці в залежності від місяця року наведено на рисунку 10.4.

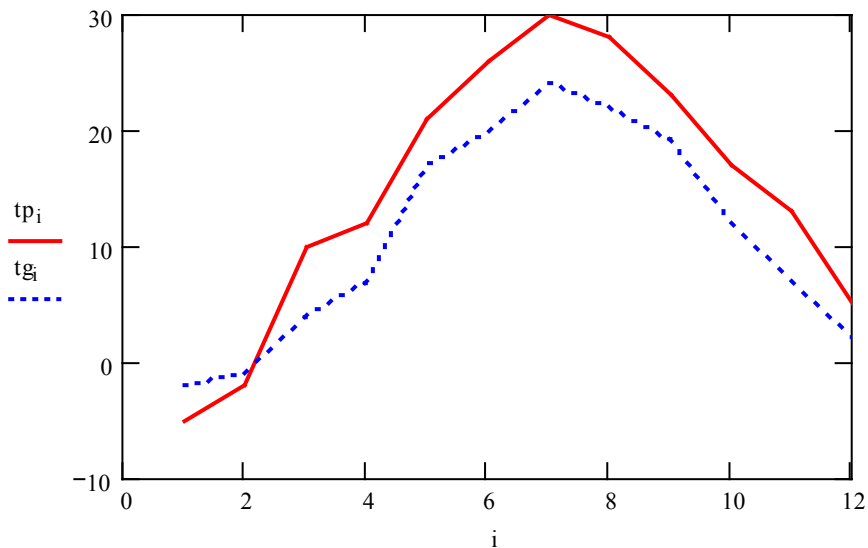


Рис. 10.4 – Графік зміни температури повітря і температури води у річці

3. У звіті вказати тему, мету, хід виконання роботи з побудованими графіками та значеннями розрахованих параметрів, висновок по роботі, у т.ч. щодо того чи виявлена кореляція між заданими випадковими величинами i , якщо – так, то якого виду?

Контрольні питання

- 1) Назвіть відомі вам методи пошуку кореляції.
- 2) Чим відрізняються парний і непарний коефіцієнти кореляції?
- 3) Як знайти лінійний коефіцієнт кореляції?
- 4) Назвіть основні статистичні показники вибірки.
- 5) Яка функція Mathcad здійснює сортування даних?
- 6) За допомогою якої функції Mathcad знаходять обернені значення?

11 Лабораторна робота № 11

Інтерполювання та апроксимація залежностей для ідентифікації моделей стану довкілля

Мета: навчитись застосовувати метод найменших квадратів для інтерполювання та апроксимація залежностей для ідентифікації математичних моделей стану довкілля за експериментальними даними щоденних спостережень.

11.1 Теоретичні відомості

Під час реалізації алгоритмів оптимальної параметричної ідентифікації сигналів та систем, розглянутих у попередніх підрозділах цього розділу, використано метод найменших квадратів (МНК), ідея якого належить Гаусу (весь матеріал цього підрозділу взятий з роботи [13]).

І хоча опис основ МНК можна знайти у посібниках із математичної статистики та обробки результатів експериментів, доцільно подати їх у цьому посібнику також. Оскільки, по-перше, його використання є невід'ємною частиною Фур'є-інтегрального методу ідентифікації, змістом якого заповнено саме цей розділ, а по-друге, використання МНК має певні обмеження, на які автори багатьох посібників не звертають увагу студентів, що у подальшому може стати джерелом помилок в їх дослідженнях, обробка результатів яких здійснюється з використанням МНК. В цьому посібнику ці обмеження не лише показано, але й висвітлено можливі наслідки їх ігнорування.

Після цього коротенького вступу перейдемо до викладу безпосередньо МНК.

Нехай відомо, що вихідний параметр процесу, який вивчається, позначимо його y , лінійно залежить від вхідного параметра x (суцільна пряма лінія на рис. 11.1).

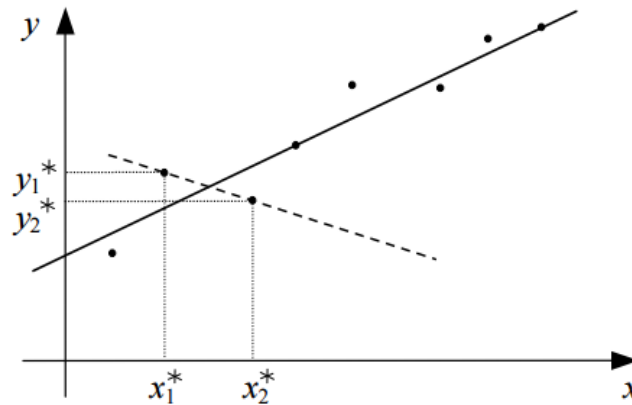


Рисунок 11.1 – Графічна інтерпретація причин, які обумовлюють необхідність використання МНК

Тобто припустимо, що статична характеристика цього процесу може бути подана у вигляді:

$$y=ax+b, \quad (11.1)$$

де a і b – коефіцієнти, для визначення числових значень яких необхідно, як мінімум, задати два значення x_1, x_2 вхідній величині x і заміряти відповідні їм значення y_1, y_2 вихідної величини y , оскільки лише під час виконання цих умов для моделі (11.1) можна скласти систему двох алгебраїчних рівнянь із двома невідомими a і b :

$$\begin{cases} y_1 = ax_1 + b, \\ y_2 = ax_2 + b. \end{cases} \quad (11.2)$$

Але результати будь-яких експериментальних вимірювань несуть у собі похибки, обумовлені класом точності вимірювальних засобів, дією різноманітних завод, неточністю зчитування показів приладів, округленням під час приведення даних до однакових умов обробки інформації – список умов виникнення похибок можна продовжити, але для обґрунтування МНК цього досить.

Тож через наявність цих похибок в експериментальних значеннях x_1, x_2, y_1, y_2 безпосередній розв’язок системи рівнянь (11.2) відносно a та b може нести в собі похибку в 10, 100, 1000 і більше відсотків.

Наприклад, якщо використати лише значення $x_1^*, x_2^*, y_1^*, y_2^*$ (рисунок 11.1) для розв’язання системи рівнянь (11.2), то похибка буде вже не у відсотках, а у характері функціональної залежності (пунктирна лінія на рис. 11.1).

У свій час Гаус запропонував інший спосіб визначення коефіцієнтів a, b моделі (11.1). Він запропонував сформулювати суму квадратів різниць J між теоретично заданими за допомогою рівняння (11.1) значеннями

Лабораторна робота № 11

Інтерполювання та апроксимація залежностей для ідентифікації моделей стану довкілля

вихідної координати y при значеннях аргументу $x_i, i=1, N$ та її експериментальними значеннями y_i :

$$J = \sum_{i=1}^N (y(x_i) - y_i)^2, \quad (11.3)$$

а потім знайти такі значення коефіцієнтів a, b рівняння (11.1), котрі мінімізують вираз (11.3). Від цієї процедури і назва методу – метод найменших квадратів.

11.2 Хід роботи

1. Ввести в Mathcad Professional заданий набір даних щоденних спостережень певного показника у заданих пунктах. Побудувати його графік.

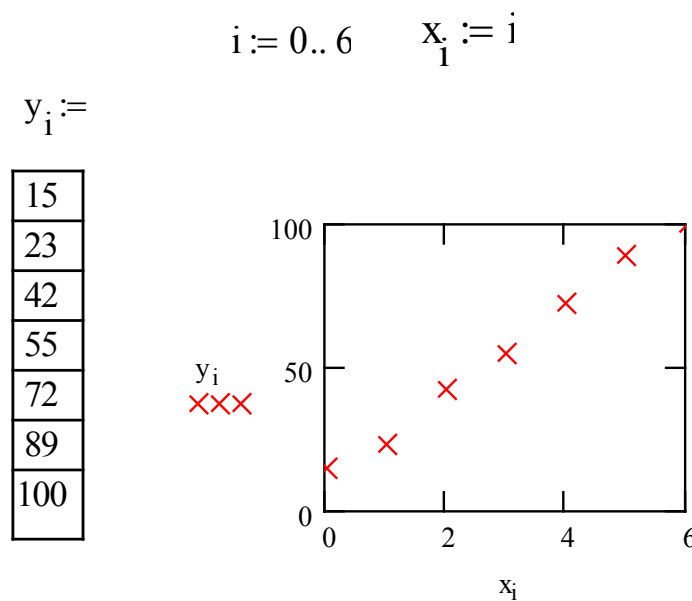


Рисунок 11. 2 – Обробка вхідних даних в Mathcad

2. Скласти в Mathcad Professional програму для застосування методу найменших квадратів для ідентифікації параметрів регресійної моделі витрат води.

3. Провести розрахунки параметрів регресійної моделі (рис. 11.3)

$K := 1$ $b := 1$ $N := 7$
 Given
 $b \cdot N + K \cdot \sum_i x_i = \sum_i y_i$
 $b \cdot \sum_i x_i + K \cdot \sum_i (x_i)^2 = \sum_i y_i \cdot x_i$
 $\begin{pmatrix} K \\ b \end{pmatrix} := \text{Find}(K, b)$ $b = 11.893$ $K = 14.893$
 $F(x) := K \cdot x + b$

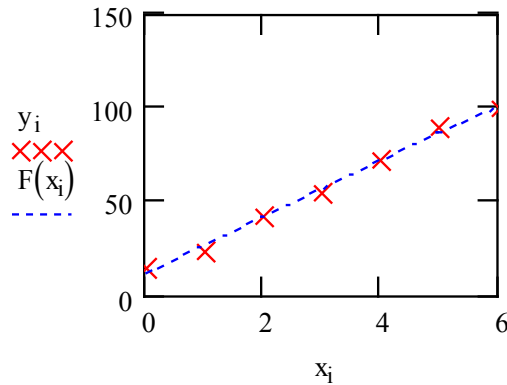


Рис. 11.3 – Розрахунок параметрів регресійної моделі в Mathcad

4. Обчислити відносну похибку точності ідентифікації заданих експериментальних даних (рис. 11.4).

$$d := \frac{\sum_i |y_i - F(x_i)|}{\sum_i |F(x_i)|} \quad d = 1.116\%$$

Рис. 11.4 – Обчислення відносної похибки в Mathcad

5. У звіті привести програму з Mathcad Professional, графіки вхідних даних та кривої, яку задає знайдене рівняння регресії, а також рівняння регресії з ідентифікованими параметрами у вигляді:

$$z_t = 2,3 + 5,1 z_t - \dots + \alpha_t, \quad (11.4)$$

У вище наведеному прикладі розрахунку, рівняння регресії з ідентифікованими параметрами матиме вигляд:

$$F(x) = 14,893x + 11,893.$$

6. У звіті вказати тему, мету, хід виконання роботи з ідентифікованими виразами моделей, їх графіками та похибками апроксимації, які

Лабораторна робота № 11

Інтерполявання та апроксимація залежностей для ідентифікації моделей стану довкілля

вони дозволяють досягти, висновок по роботі щодо того, яка залежність є оптимальною і за структурою, і за параметрами та яку похибку вона забезпечує.

Контрольні питання

- 1) *В чому суть методу найменших квадратів?*
- 2) *Для яких задач використовують метод найменших квадратів?*
- 3) *Яким чином засобами Mathcad можна провести розрахунок за методом найменших квадратів?*
- 4) *Що є результатом застосування методу найменших квадратів?*
- 5) *Що описує рівняння регресії, отримане внаслідок застосування методу найменших квадратів?*

12 Лабораторна робота №12

Оптимізація процесів управління регіоном на прикладі Вінницької області в еколого-економічній імітаційній моделі на основі ГІС «Рідна природа»

Мета: оволодіти навичками оптимізації процесів управління регіоном на прикладі Вінницької області за допомогою еколого-економічної імітаційної моделі на основі ГІС «Рідна природа».

12.1 Теоретичні відомості

В умовах сьогодення, у зв'язку з протиріччями між господарською діяльністю та навколишнім середовищем, постає проблема еколого-економічного управління. Це вимагає всебічного аналізу функціонування еколого-економічної системи та дослідження процесів і взаємодій, що відбуваються в її межах.

Задача еколого-економічного планування на сьогоднішній день дуже актуальна. Перед побудовою великих підприємств важливо знати, яку шкоду вони нанесуть навколишньому середовищу і який може очікуватись прибуток від відповідних об'єктів державної, комунальної чи приватної власності. Подібні задачі можуть стояти перед обласною чи міською владою, перед сільрадами, перед профільним відомством та ін. Часто, при розгляді довгострокової перспективи планування здійснюється одразу для багатьох об'єктів одного класу на досить великій території, з урахуванням багатьох факторів. Типовим прикладом є розроблення Плану управління річковим басейном відповідно до вимог Водної рамкової директиви та нової редакції водного кодексу України. Для розв'язання подібних задач та візуалізації проміжних та кінцевих результатів розрахунку варто використовувати ГІС-технології. Доцільно розробити математичний апарат еколого-економічної імітаційної моделі для кожного класу подібних об'єктів (заводів, електростанцій, ферм тощо), відпрацювати алгоритм ідентифікації їх параметрів та автоматизувати його та візуалізацію результатів у комп'ютерній програмі ігрового типу (типу «стратегія») для програвання різних сценаріїв розвитку регіону на основі цієї моделі [18].

Лабораторна робота №12

Оптимізація процесів управління регіоном на прикладі Вінницької області в еколого-економічній імітаційній моделі на основі ГІС «Рідна природа»

Існують подібні імітаційні моделі, реалізовані у відомих комп'ютерних програмах «Озеро», «Річка» та «Острів», але всі вони мають ряд недоліків, основними з яких є такі[18]:

- обмежений функціонал;
- незручний та застарілий інтерфейс;
- складність удосконалення та доповнення інструментарію програм.

Цих недоліків позбавлена створена викладачами і студентами кафедри САКМІГ ВНТУ програма «Еколого-економічне управління регіоном» на основі створеної раніше на цій же кафедрі ГІС «Рідна природа» (освітня версія ГІС моніторингу довкілля Вінницької області).

Система «Рідна природа» – це геоінформаційна система моніторингу довкілля Вінницької області для освітніх установ (рисунок 12.1). Дана геоінформаційна система складається із векторних карт та банку даних з інформацією про окремі підсистеми: поверхневих вод, скидів, ґрунту, відходів, викидів та об'єктів природно-заповідного фонду Вінницької області [3, 8, 24].

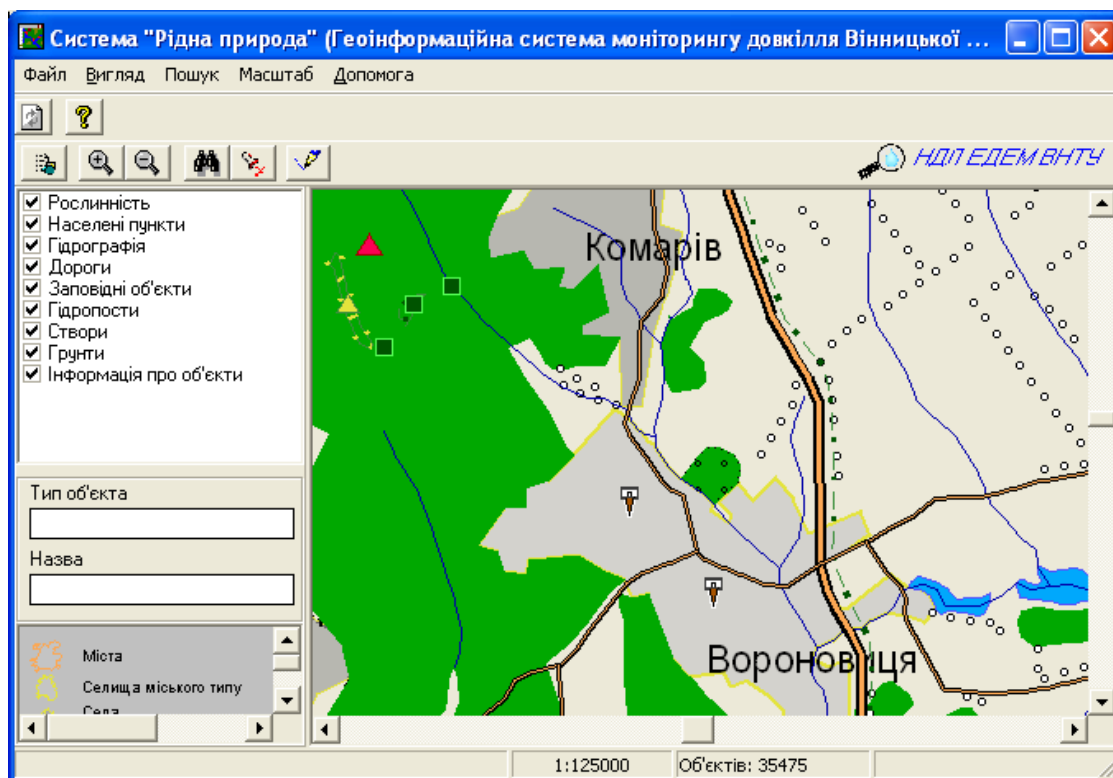


Рисунок 12.1 – Інтерфейс системи «Рідна природа»

Принцип роботи – «Натиснув–переглянув» – натиснувши мишею на будь-який об'єкт на карті (гідрологічний пост, створ спостережень якості води, водосховище, пункт контролю стану ґрунту, скид стічних

Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум

вод, водозабір, стаціонарне джерело викидів, об'єкт природо-заповідного фонду, хімічний склад, район області тощо), у зручному вигляді виводиться уся інформація по цьому об'єкту, яка є у базі даних системи. При відкритті системи "Рідна природа" автоматично виводяться на екран 9 векторних карт дев'яти геоінформаційних підсистем. Програма дає можливість підключити додаткові карти, які можуть бути трьох типів: векторні, матричні, растрові. Щоб додати карти необхідно вибрати у головному меню "Вигляд" вкладку "Додаткові карти" (рисунок 12.2) [3, 8, 24].

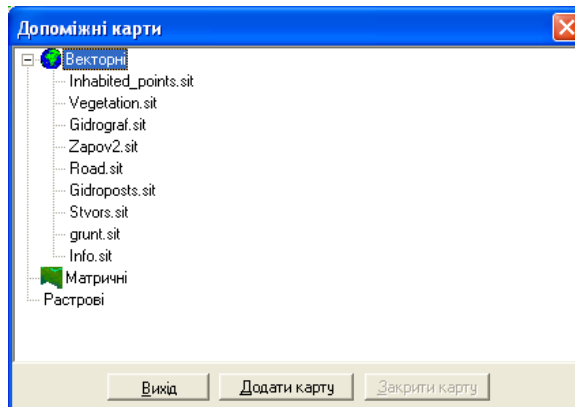


Рисунок 12.2 – Вікно "Допоміжні карти"

Для регулювання складу інформації, що виводиться на карту, використовується інструмент "Склад відображення" (рисунок 12.3).

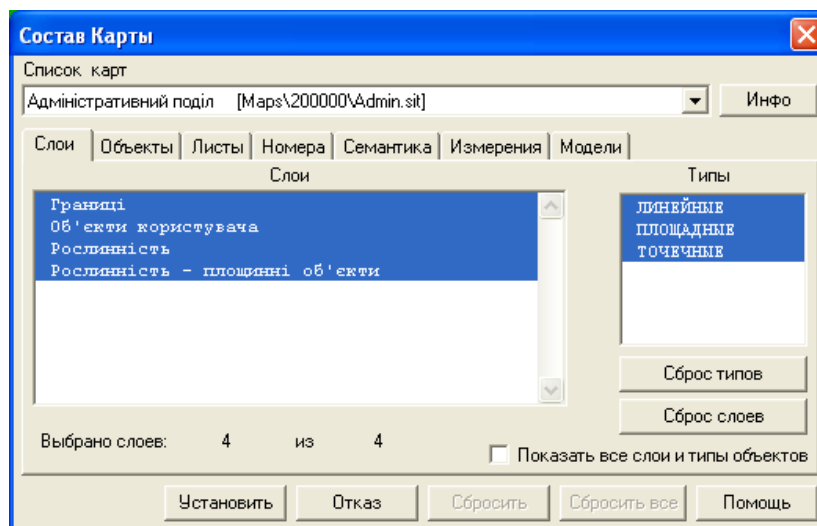


Рисунок 12.3 – Вигляд вікна, де зазначається склад відображення карти

Шари – класифікація за змістом відображення (міста, ставки, річки тощо). Типи – класифікація за геометричними особливостями (лінійні, точкові, площинні). Шар "Адміністративний" залишається видимим у будь-якому випадку. За допомогою інструменту "Пошук" можна

Лабораторна робота №12

Оптимізація процесів управління регіоном на прикладі Вінницької області в еколого-економічній імітаційній моделі на основі ГІС «Рідна природа»

знаходити будь-які об'єкти на карті. Програма дозволяє робити пошук за назвою та за семантикою (рисунок 12.4) [3, 8, 24].

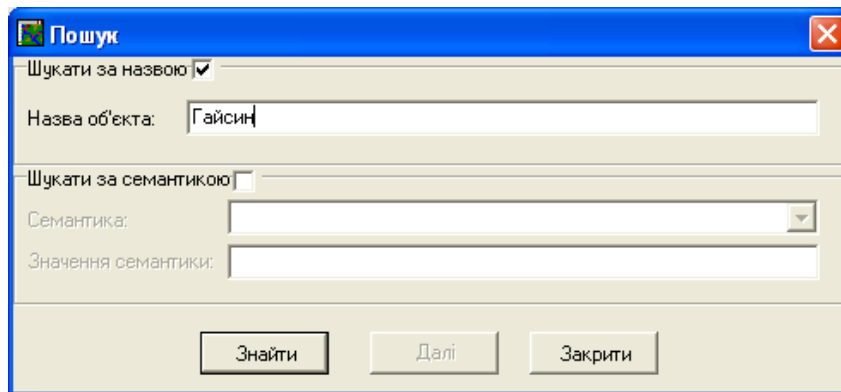


Рисунок 12.4 – Пошук об'єкта за назвою

За допомогою інструменту “Масштаб” можна збільшувати та зменшувати зображення об'єктів на екрані. Для збереження зображення карти чи вибраного на ній фрагменту у вигляді картинки використовується інструмент “Експорт”, що знаходиться у вкладці головного меню “Файл”. Натискаючи мишею на карті на будь-який об'єкт, можна переглянути про нього усю наявну інформацію. Обраний об'єкт починає миготіти та з'являється інформаційне вікно (рис. 12.5, 12.6) [3, 8, 24].

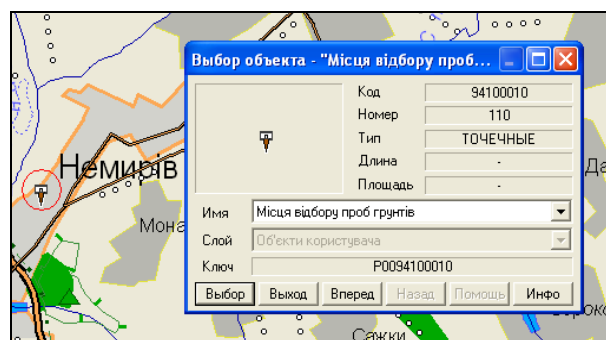


Рисунок 12.5 – Вікно, що містить інформацію про обраний об'єкт

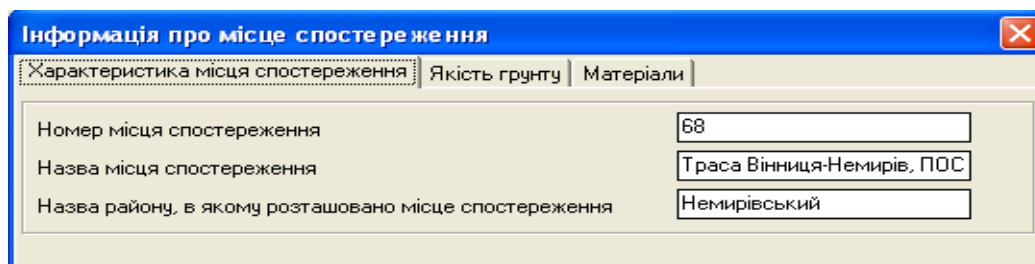


Рисунок 12.6 – Вікно з інформацією про місце спостереження

Значення позначок на карті можна дізнатися за допомогою легенди, що знаходиться у лівому нижньому куті екрана (рис. 12.7).

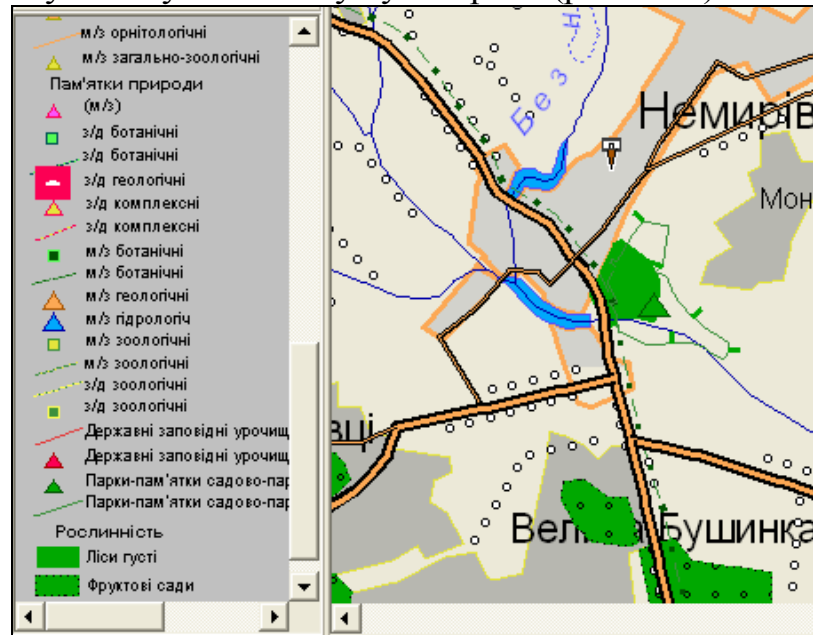


Рисунок 12.7 – Легенда карти

У програмі можна працювати з підсистемами, що зображені на рис. 12.8:

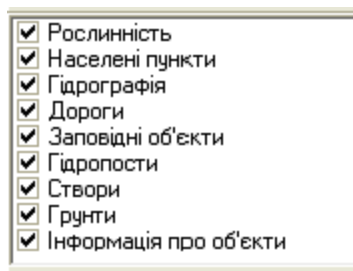


Рис 12.8 – Підсистеми системи «Рідна природа»

Для системи «Рідна природа» був створений новий інструментарій для аналітичного забезпечення прийняття управлінських рішень. Він виконує функції автоматизації процесів роботи з відомостями про нові підприємства та вплив цих підприємств на навколишнє середовище, зберігання та візуалізації даних, формування аналітичних матеріалів, тощо [18].

Розроблена імітаційна модель дає можливість здійснити системний аналіз проблеми взаємодії виробничої діяльності з навколишнім середовищем і забезпечує [18]:

- можливість імітації побудови будь-якого підприємства із заданих у класифікаторі ГІС;
- можливість введення та імітації зміни параметрів роботи підприємства, у т.ч. встановлення на підприємстві заданої кількості очисних споруд заданого типу;

Лабораторна робота №12

Оптимізація процесів управління регіоном на прикладі Вінницької області в еколого-економічній імітаційній моделі на основі ГІС «Рідна природа»

- можливість видалення підприємства з ГІС;
- можливість формування еколого-економічного прогнозу на один або на вказану кількість років;
- зручний та простий в роботі інтерфейс.

Новий інструментарій було випробувано на такому об'єкті як тепло-електростанції. Для управління процесом розміщення такого виду підприємств було розроблено спеціальний еколого-економічний математичний апарат.

При побудові імітаційної моделі виділяються як сталі, так і змінні величини. До сталих було віднесено такі [18]:

K – питомий обсяг викидів, т/(рік×(тис. кВт×год));

g – тариф вироблення електроенергії, тис. грн./(тис. кВт×год);

r – коефіцієнт витрат на обслуговування ТЕС на рік, тис. грн./(тис. кВт×год);

k_s – коефіцієнт штрафних санкцій за понаднормативний викид, тис. грн./т.

Основні залежності при моделюванні роботи ТЕС та їх впливу на регіон задані наступними рівняннями:

$$L = (\text{sqrt}(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2) \times 0,001, \quad (12.1)$$

$$k_{VL} = \exp((-0,116) \times L), \quad (12.2)$$

$$k_{EL} = (1 + 0,007 \times L^2), \quad (12.3)$$

$$E = (g \times I \times 0,01 \times I_{max}), \quad (12.4)$$

$$R_s = (r \times I \times 0,01 \times I_{max} \times k_{EL} \times L + c), \quad (12.5)$$

$$V = (k \times I \times 0,01 \times I_{max} \times k_{VL} \times L \times h \times 0,01), \quad (12.6)$$

$$S_p = k_s \times (V - L_{max}), \quad (12.7)$$

$$J = (E - R_s), \quad (12.8)$$

де використані такі позначення змінних величин x_1, y_1 – координати умовного центра міста; x_2, y_2 – координати умовного центра ТЕС; L – відстань до ТЕС по прямій, км; I_{max} – максимально можлива інтенсивність роботи, тис. кВт×год; I – інтенсивність роботи, %; h – відсотки викидів, що залишилися (обчислюється програмою), %;

Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум

c – вартість усіх очисних споруд, встановлених на ТЕС, тис. грн.;
 k_{VL} – коефіцієнт, що характеризує зменшення викидів з відстанню, 1/км;
 k_{EL} – коефіцієнт, що характеризує збільшення вартості обслуговування ТЕС з відстанню, 1/км; V – об'єм викидів для ТЕС, т/рік; S_p – штрафні санкції для ТЕС, тис. грн.; E – вартість виробленої електроенергії ТЕС, тис. грн.; R – вартість обслуговування ТЕС, тис. грн.; J – прибуток від ТЕС, тис. грн.

На рис. 12.9–12.11 зображено приклад роботи програми «Рідна природа» для імітації моделі для еколого-економічного планування управління регіоном при будівництві та роботі різних ТЕС [18].

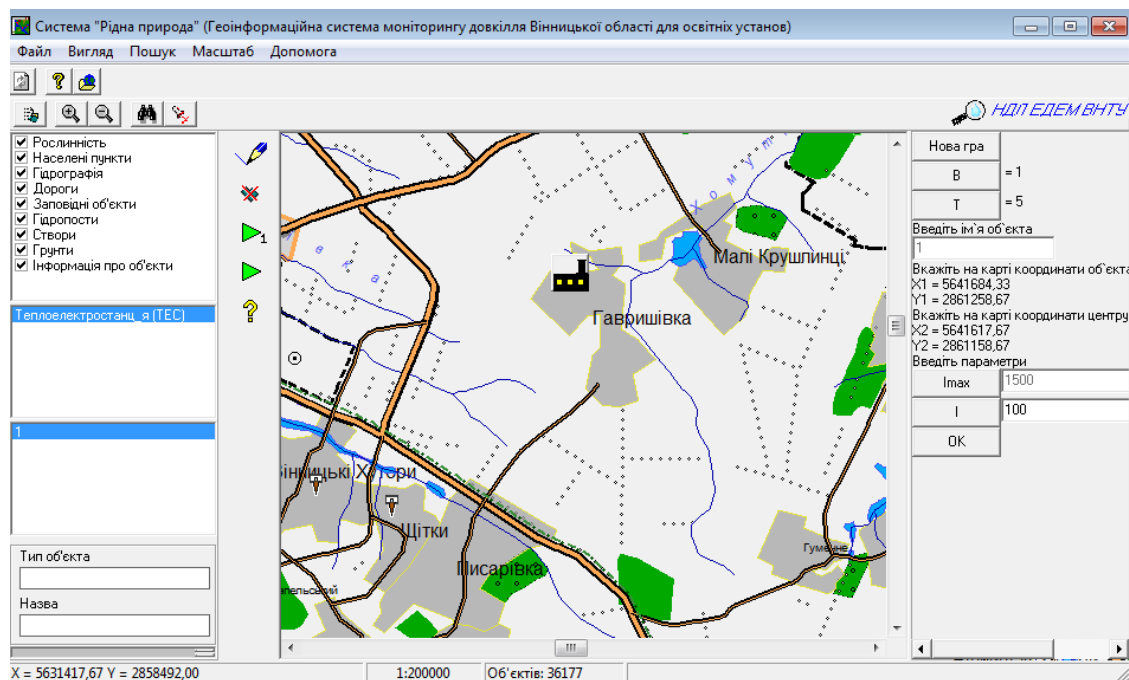


Рисунок 12.9 – Приклад побудованого підприємства

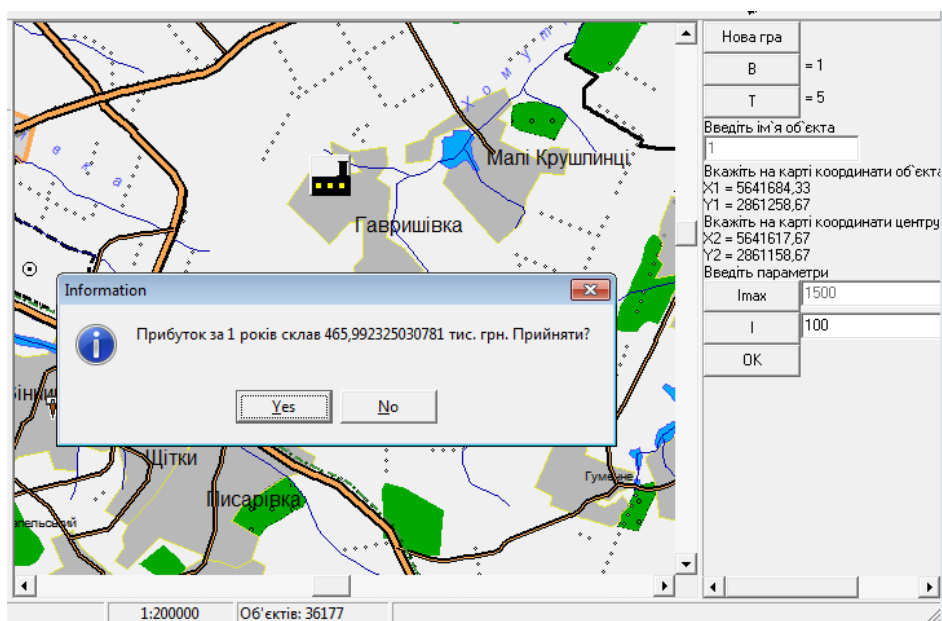


Рисунок 12.10 – Прогноз на 1 рік

Модель оформлена у вигляді навчальної гри з метою спростити і зробити приємнішою взаємодію з нею. Використовуючи дану технологію, можливо зімітувати роботу будь-якого об'єкта, що дає перспективи для подальших досліджень та практичного використання.

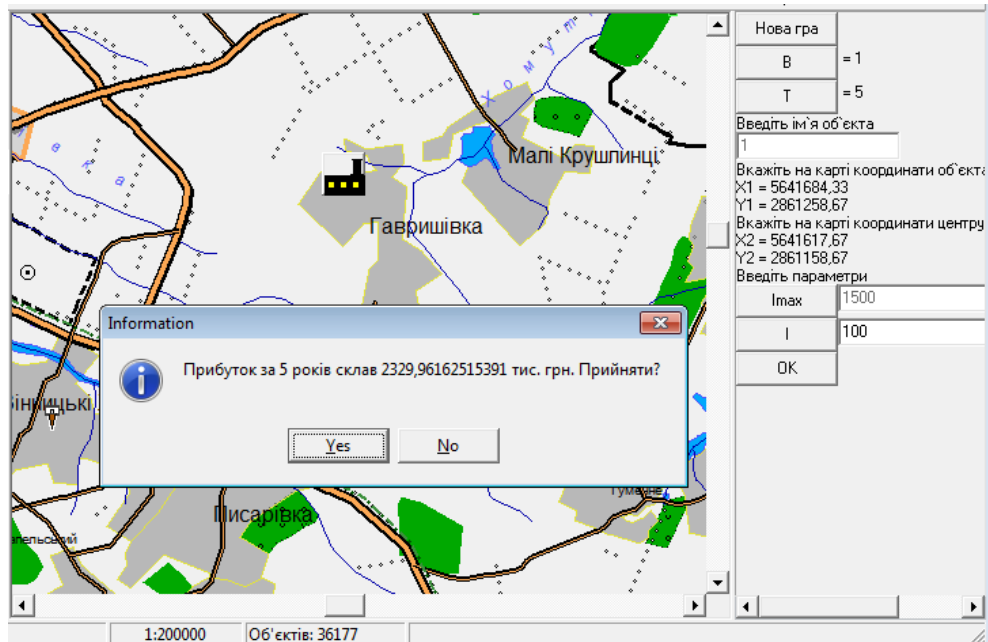


Рисунок 12.11 – Прогноз на 5 років

Така комп'ютерна система потрібна як підприємствам, які планують виробничу діяльність чи розробляють для них проекти дозвільної документації, так і державним та комунальним органам влади, які повинні завчасно прогнозувати на імітаційних моделях проблемні місця та вживати природоохоронних заходів для зменшення сумарного антропогенного впливу та збільшення потенційної акумулюючої ємності навколишнього середовища у заданому регіоні: поліпшення стану річок, будівництво нових сміттєзвалищ, зменшення викидів автотранспорту, які додаються до стаціонарних джерел викидів підприємств тощо [18].

12.2 Хід роботи

1. Ознайомитися з роботою «Рідна природа».
2. Ввести налаштування заданих викладачем об'єктів еколого-економічної моделі регіону та за 5 ігрових циклів («5 років») підібрати такі налаштування, які дозволять досягти максимального прибутку за відсутності екологічних збитків.

3. У звіті вказати тему, мету, хід виконання роботи із введеними налаштуваннями заданих викладачем об'єктів та отриманими результатами управління еколого-економічною моделлю регіону, висновок по роботі.

Контрольні питання

- 1) *Яким чином можна змінювати обсяг інформації про об'єкт, що виводиться на карту в системі «Рідна природа»?*
- 2) *Перелічіть основні параметри, що враховуються при моделюванні роботи ТЕС?*
- 3) *Які можливості є у розробленій імітаційній моделі?*
- 4) *Яка мета еколого-економічного імітаційного моделювання процесу управління регіоном?*
- 5) *Хто є розробником ГІС «Рідна природа» та модулю для виконання еколого-економічного імітаційного моделювання процесу управління регіоном у ній?*

Література

1. Автоматизована система екоінспекційного контролю стану забруднення довкілля України та викидів, скидів і відходів «ЕкоІнспектор». Ч.ІІ. Підсистема «Вода та скиди» / В.Б. Мокін, М.П. Боцула, Є.М. Крижановський // Методичний посібник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2012. – 110 с.
2. Автоматизована система екоінспекційного контролю стану забруднення довкілля України та викидів, скидів і відходів «ЕкоІнспектор». Ч.ІІІ. Підсистема «Ґрунти та відходи» / В.Б. Мокін, М.П. Боцула, Є.М. Крижановський // Методичний посібник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – 106 с.
3. Геоінформаційна аналітична система державного моніторингу довкілля Вінницької області. Ч.І. Моніторинг поверхневих вод. – Методичний посібник / Під ред. В.Б. Мокіна та О.Г. Яворської. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 79 с.
4. Геоінформаційні системи в екології. – Електронний навчальний посібник / Є. М. Крижановський, В.Б. Мокін, – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 182 с.
5. Дорогунцов С.І., Коценко К.Ф., Хвесик М.А. Екологія та охорона навколишнього середовища. — К.: КНЕУ, 2005. – 371 с.
6. Иванов И. И. Microsoft Excel для квалифицированного пользователя [учебное пособие] / И. И. Иванов. – М. : Академия Айти, 2011. – 244 с.
7. Ковальчук П. І. Моделювання та прогнозування стану навколишнього природного середовища: Навч. посібник. – К.: Либідь, 2003. – 208 с.
8. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми. Монографія / Під ред. В. Б. Мокіна. – Вінниця: Вид-во ВНТУ “УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2005. – 315 с.
9. Лаврик В.І. Методи математичного моделювання в екології. – К. Видавничий дім "КМ Академія", 2002. – С. 103–193.
10. Лаврик В.І., Боголюбов В.М., Полетаєва Л.М. та ін. Моделювання та прогнозування стану довкілля. – К.: Академія, 2010. – 400 с.
11. Макарова Н. В., Трохимец В. Я. Статистика в Excel. – М.: Финансы и статистика, 2002.
12. Методологія та організація наукових досліджень (в екології): Підручник / М.О. Клименко, В.Г. Петрук, В.Б. Мокін, Н.М. Вознюк. - Херсон: Олді-плюс, 2012.– 474 с.
13. Мокін Б. І. Математичні методи ідентифікації динамічних систем : навчальний посібник / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 260 с. – Рекомендовано МОН України.

14. Мокін В. Б. Аналіз впливу капітального ремонту доріг на стан атмосферного повітря з використанням геоінформаційних технологій на прикладі м. Вінниці / В. Б. Мокін, Ю. С. Семчук, О. П. Сорочан, О. В. Риженко // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць.— К., 2011. — Вип. 7. — С. 5–15.
15. Мокін В. Б. Ідентифікація математичної моделі гідрологічних процесів на гідропості "Селище" річки Південний Буг / В. Б. Мокін, А. Р. Ящолт // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 6. – С. 85–88.
16. Мокін В. Б. Інформатика та системологія. Лабораторний практикум : електронний навчальний посібник / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, А. Р. Ящолт, Л. М. Скорина / Під ред. А. Р. Ящолта та Л. М. Скорини. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 210 с.
17. Мокін В.Б. Математичні моделі для контролю та управління якістю річкових вод. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 172 с.
18. Мокін В. Б. Розробка імітаційної моделі та комп'ютерної програми для автоматизації процесу еколого-економічного планування управління природокористуванням у регіоні із дотриманням вимог екологічної безпеки / В. Б. Мокін, А. Р. Ящолт, О. В. Крилик, Б. Ю. Собко, С. О. Довгополюк // XIV Міжнародна науково-практична конференція: Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: 5-9 жовтня 2015 р. – К., 2015. – С. 135-139.
19. Моніторинг довкілля : підручник / [Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. та ін.] ; за ред. В. М. Боголюбова і Т. А. Сафранова. – Херсон : Грінь Д.С., 2011. – 530 с.
20. Практические рекомендации по расчету разбавления сточных вод в реках, озерах и водохранилищах / Под ред. А.В. Караушева. – Л.: Фотоофсетн. лаборатория ВНИГЛ ГГИ, 1970. – 90 с.
21. Родзиллер И.Д. Прогноз качества воды водоемов – приемников сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984.– 263 с.
22. Сергеев А. П. Использование Microsoft Office Microsoft Excel 2007 / А. П. Сергеев. – М. : ООО "И. Д. Вильямс", 2007. – 288 с.
23. Системний аналіз та проектування ГІС. – Електронний навчальний посібник / Є. М. Крижановський, В.Б. Мокін, А.Р. Ящолт, Л. М. Скорина. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 127 с.
24. Технології обробки та моделювання екологічної та економічної інформації / В. Б. Мокін, А. В. Поплавський, А. Р. Ящолт, М. П. Боцула. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 130 с.
25. Brent Maxfield Engineering With Mathcad Using Mathcad to Create and Organize Your Engineering Calculations. – Elsevier Linacre House, 2006. – 521 p.

26. Frye Curtis D. Microsoft Excel 2013 Step by Step / Curtis D. Frye. – United States of America, 2013. – 125 p.
27. Mathsoft Engineering & Education, Inc. – United States of America, Cambridge, 2002. – 480 p.
28. Siemers Troy An Introduction to Matlab and Mathcad / Troy Siemers. – United States of America, Virginia Military Institute, 2011. – 136 p.