

GRAN- ілюстрація та прогнозні обчислення еколого-економічної моделі

Ефективна економічна політика має спиратися на довготермінове, **стратегічне мислення** та високий професіоналізм спеціалістів. Сьогодні суспільству необхідні поглиблення знань за усіма азимутами, інтегральний підхід і в наукових дослідженнях, і в освіті для вирішення проблем, від яких залежить майбутнє покоління та цивілізації в цілому. Основні взаємозв'язки, що сприяють розвитку мислення майбутнього економіста, визначено у статті «Еволюція формування економічного мислення» [3]:

- ✓ союз філософії і політекономії, зокрема етичні аспекти економічної діяльності [4];
- ✓ сплетіння: інтуїція, математика та нові інформаційні технології;
- ✓ екологічні орієнтири в економіці.

Продовжуючи тему професійно-спрямованої математичної підготовки молодших спеціалістів економічного профілю на базі комп'ютерних технологій [5; 6; 7], розглянемо, як на заняттях з «математики для економістів» можливо подавати суттєві прикладні питання і задачі з проблеми **екологізації економіки**, використовуючи при цьому вітчизняний програмно-методичний комплекс «GRAN» [1; 2].

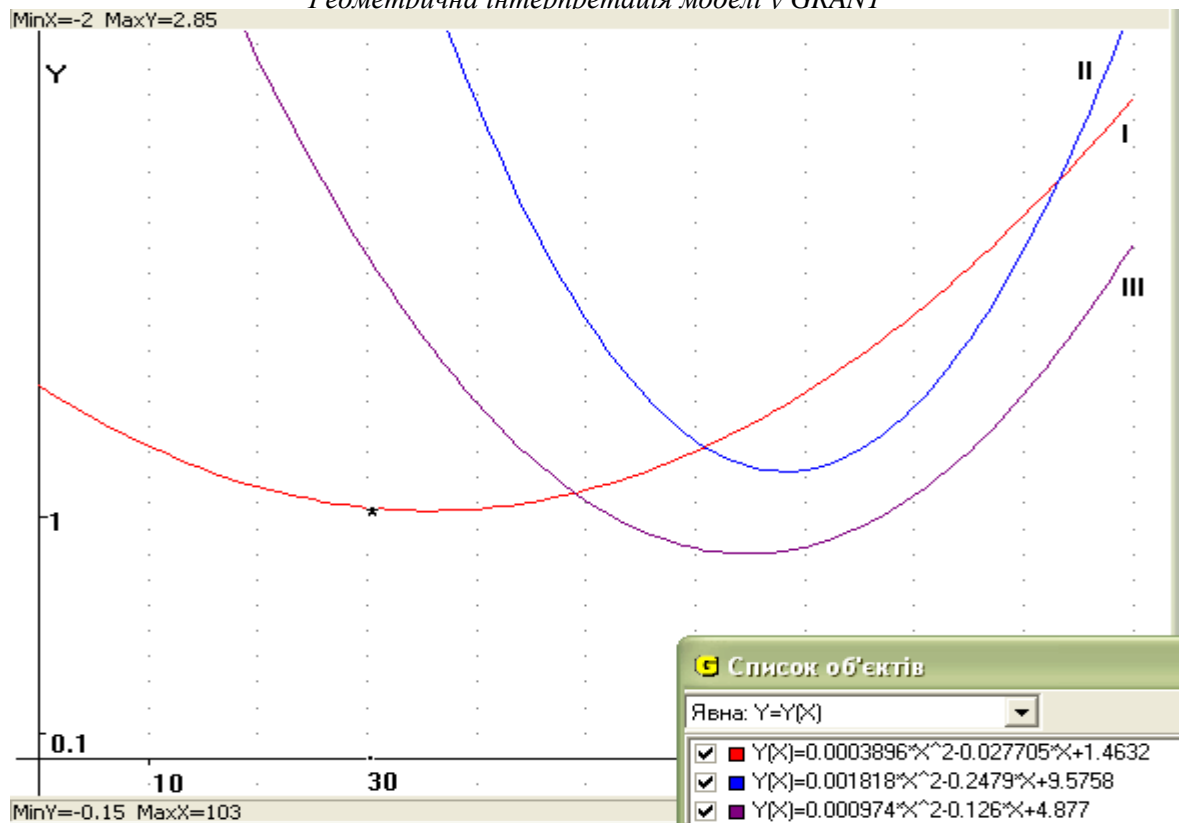
Зосередимо увагу на екологічному аспекті теплоенергетики України. Циклічні підвищення цін на природний газ, нафту й нафтопродукти спричинили перегляд енергетичної політики в багатьох країнах. У першу чергу була досліджена можливість оптимізації структури паливного забезпечення з урахуванням низки політичних, економічних, соціальних та екологічних факторів. Наприклад, у США (1975-1979 рр.) найбільш прийнятним виходом з кризової ситуації була визнана програма щодо заміни газу і нафти на інші види палива (в основному на вугіллі) у тих галузях промисловості, де це можливо, і зокрема, у виробництві електроенергії [9].

Разом з тим, у практичному здійсненні цього плану виникли серйозні труднощі, серед яких найбільш важливою стала **проблема забруднення** навколишнього середовища, що тісно пов'язана з видом та якістю палива, яке використовується. Енергетика України є частиною глобальної енергосистеми, для якої існують єдині об'єктивні економічні закони, і тому вона не може розвиватися без урахування загальносвітових тенденцій, таких, як дефіцит і значне підвищення вартості нафти і газу, як необхідність переорієнтації на споживання інших видів енергоресурсів, як проведення науково-дослідної роботи щодо забезпечення вимог охорони навколишнього середовища.

Моделювання залежності атмосфероохоронних витрат від ступеня знешкодження викидів димових газів ТЕС (окисів сірки, азоту та золи) викладена у монографії О.Теліженко «Економіка чистого повітря: міжнародне управління» [10]. В результаті аналізу вихідної інформації були визначені базові моделі в координатах «ступінь знешкодження – питомі витрати», як наприклад, залежність відносної зміни питомих капітальних витрат (B_b) від ступеня знешкодження викидів окисів азоту (E , %):

- (I) $B_b = 0,0003896E^2 - 0,027705E + 1,4632$ (некаталітичними методами);
- (II) $B_b = 0,001818E^2 - 0,2479E + 9,5758$ (каталітичними методами);
- (III) $B_b = 0,000974E^2 - 0,126E + 4,877$ (комплексним регулюванням).

Геометрична інтерпретація моделі в GRAN1



Примітка. Характер зростання витрат, виражених у відносних одиницях вартості, суттєво не залежить від того, у якій валюті ці витрати вимірюються: тут має значення саме технологічний аспект. Одиничний рівень витрат ($V_b=1$) відповідає 30%-му ступеню очистки некаталітичними методами. Вартісне значення питомих капітальних витрат V_k при базовому рівні знешкодження ($E=30\%$) дорівнює 130 ум.од./т NO_x .

Точність аналітичних залежностей зумовлює фахове опрацювання і точність інформаційного наповнення моделі. Для розрахунків моделі «ступінь знешкодження – питомі витрати» використовуються різні види залежностей та рівнянь, зокрема й **лінійна залежність**. Вивчаючи в «Аналітичній геометрії» пряму на площині, доцільно показати студентам, як, починаючи з елементарного рівняння прямої та її графіка, за допомогою математичного апарату та комп'ютерного засобу GRAN1 або GRAN-2D проводяться **прогнози обчислення** еколого-економічної моделі.

ЗАДАЧА (модель розроблена за матеріалами з оцінки та прогнозування атмосфероохоронних витрат у теплоенергетиці України [10, 198-268]).

Структура палива, яке споживається на Змієвській ТЕС: вугілля – 68,5%; мазут – 4,1%; газ – 27,4%. Прийнято рішення про зміну структури палива: вугілля – 75%; мазут – 15%; газ – 10%. Загальний обсяг палива не змінюється і складає 4314 тис.т ум.п. за рік. Необхідно дати прогнозу оцінку зміни обсягу викидів SO_2 та NO_x .

Для виконання обчислювальної роботи побудувати *номограму* у вигляді лінійної залежності питомих викидів SO_2 та NO_x на тону умовного палива від питомої ваги газу, мазуту і вугілля. На основі усереднення даних про викиди встановлено, що маса забруднюючих речовин при використанні лише газу фіксувалась і залишалась на рівні 0,002 т/т ум.п. При зміні структури палива і збільшенні питомої ваги від 0 до 100% 1) мазуту, 2) вугілля, відбувалось збільшення питомих викидів від 0,002 т/т ум.п. 1) до 0,03 - SO_2 та 0,003 - NO_x ; 2) до 0,0222 - SO_2 та 0,039 - NO_x .

Інформаційне наповнення моделі

Зауваження. За даними таблиць 1 і 2 можна створювати різні варіанти типових розрахункових моделей.

Показники теплових електростанцій України

ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ	Потужність (P), МВт	Виробництво електроенергії, млн. кВт·год	СТРУКТУРА ПАЛИВА, %			Прогноз питомих капітальних витрат при 15-97,5% ступені знешкодження SO_2 , ум.од./т	$K_n=V_n/E$
			Вугілля	Мазут	Газ		
Ладизинська	1800	6284	53,4	0,2	46,4	$V = 4,418 E^{0,9763}$	0,725
Углегорська	3600	13748	32,8	12,4	54,8	$V = 11,646 E^{0,9771}$	1,913
Запорізьська	3600	11154	48,5	7,7	43,8	$V = 16,745 E^{0,9778}$	2,8
Зуєвська	1200	5506	54,1	1,8	44,1	$V = 5,523 E^{0,9763}$	0,9125
Курахівська	1460	8450	87,1	12,9	0,0	$V = 6,004 E^{0,9778}$	1
Бурштинська	2100	8704	57,0	10,3	32,7	$V = 6,004 E^{0,9778}$	1
Луганська	1400	6671	55,6	23,0	21,4	$V = 6,237 E^{0,9752}$	1,025
Славянська	1440	3173	55,0	18,4	26,6	$V = 5,794 E^{0,9776}$	0,9625
Старобішевська	1750	8593	72,8	19,5	7,7	$V = 6,414 E^{0,9774}$	1,075
Придніпровська	1740	9022	71,5	5,7	22,8	$V = 6,012 E^{0,9759}$	0,9875
Криворізька	2820	14585	79,0	7,7	13,3	$V = 8,044 E^{0,9777}$	1,338
Трипольська	1800	7903	54,6	19,5	28,9	$V = 6,347 E^{0,9766}$	1,05
Змієвська	2190	12326	68,5	4,1	27,4	$V = 7,469 E^{0,9794}$	1,25
Середнє значення за ТЕС	2069					$V = 6,564 E^{0,9765}$	1,075

Таблиця 1

Значення коригуючого коефіцієнта в залежності від структури палива

Питома вага вугілля в структурі палива, що використовується, %	до 20	21-40	41-60	61-80	більше 80
Значення коригуючого коефіцієнта (k_w)	0,85	0,88	0,92	0,96	1,0

Таблиця 2

Математичний апарат моделі

➤ Аналітична геометрія:

$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$ - рівняння прямої, що проходить через 2 задані точки;

$Ax + By + C = 0$ – загальне рівняння прямої;

$y = kx + b$ – рівняння прямої з кутовим коефіцієнтом.

➤ Середньозважене значення питомих викидів:

$$m_i = \sum q_j \mu_j \quad (IV)$$

q_i – питомі викиди i -ої забруднюючої речовини з розрахунку на 1 тону умовного палива, т/т ум.п.; μ_j – частка j -го палива у загальній структурі палива, щовикористовується, част.од.

- Проектна ступінь знешкодження викидів:

$$E = \frac{\Delta M(100 - E_6)}{M_6} + E_6 \quad (V)$$

ΔM – необхідна маса зниження викидів, т; M_6 – базова (існуюча) маса викиду, т; E_6 – базовий ступінь знешкодження викидів, %.

- Капітальні витрати на зниження викидів SO_2 :

$$B = k_0(B_{np} - k_3 B_6) \Delta M \quad (VI)$$

k_0 – коригуючий коефіцієнт, за допомогою якого враховується питома вага вугілля у загальній структурі палива; k_3 – коефіцієнт заміщення витрат (для теплоенергетики = 0,3–0,5); B_{np} , B_6 – питомі капітальні витрати при проектному та базовому ступеню знешкодження викидів, ум.од./т.

- Капітальні витрати на зниження викидів NO_x :

$$B_{kNO_x} = k_b(B_{v(np)} - k_3 B_{v(6)}) \Delta M \quad (VII)$$

k_b – коефіцієнт для переведення відносних одиниць у вартісний вираз (при $E=30\%$, $k_b=130$ ум.од./т NO_x); $B_{v(np)}$, $B_{v(6)}$ – проектне і базове відносне значення питомих капітальних витрат на знешкодження викидів однієї тони NO_x , в.од./т NO_x (розраховуються за формулами I – III в залежності від технології очищення).

- Поточні витрати *прямопропорційні* ступеню знешкодження викидів:

$$B_{п} = k_{п} E \quad (VIII)$$

$k_{п}$ – коефіцієнт пропорційності (таблиця 1).

Розв'язування

- Виведення залежностей викидів SO_2 та NO_x за споживанням *мазуту*.

1а- SO_2) Складаємо рівняння прямої, що проходить через 2 задані точки (0; 0,002) і (100; 0,03):

$$\frac{x}{100} = \frac{y - 0,002}{0,03 - 0,002}$$

$$0,028x - 100y + 0,2 = 0 \text{ – загальне рівняння прямої «1а»};$$

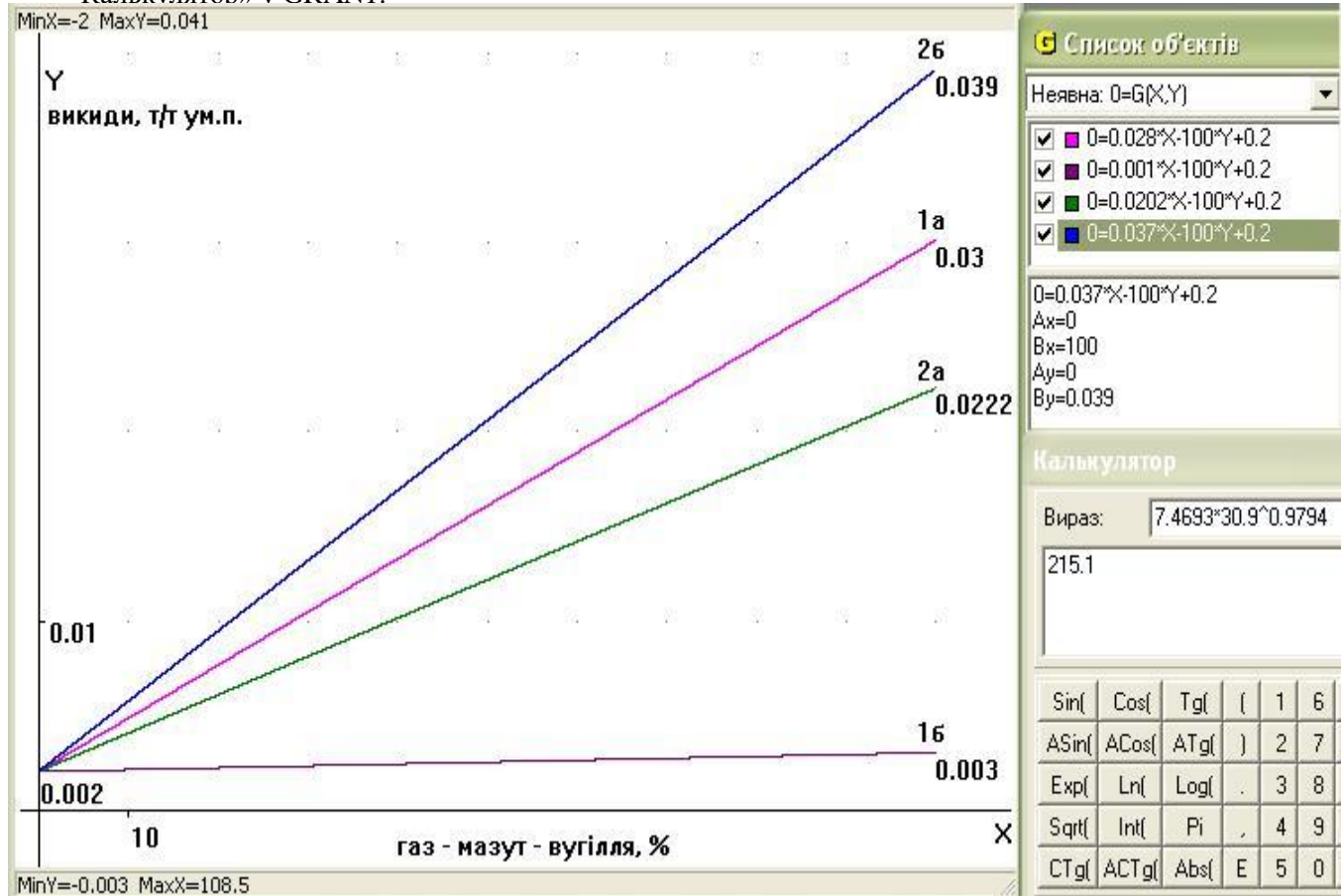
1б- NO_x) для (0; 0,002), (100; 0,003): $0,001x - 100y + 0,2 = 0$ – «1б».

За споживанням *вугілля*:

2а- SO_2) для (0; 0,002), (100; 0,0222): $0,0202x - 100y + 0,2 = 0$ – «2а»;

2б- NO_x) для (0; 0,002), (100; 0,039): $0,037x - 100y + 0,2 = 0$ – «2б».

- Створення номограми та проведення обчислень за допомогою послуг «Графік» та «Операції / Калькулятор» в GRAN1.



GRAN-документ 2

Зауваження. ППЗ GRAN-2D містить послугу «Об'єкт \ Створити \ Пряма, що проходить через 2 задані точки». У разі її застосування втрачається суть знаходження рівняння прямої та зміст навчальної мети заняття з даної теми.

- Розрахункові викладки.

1) Експрес-метод оцінки питомих викидів тон SO_2 на тону умовного палива за номограмою:

Структура палива, % → викиди SO_2 , т/т ум.п.

	Базова	Проектна
Вугілля	68,5% → 0,016	75% → 0,017
Газ	27,4% → 0,002	10% → 0,002
Мазут	4,1% → 0,0031	15% → 0,0062

2) Середньозважене значення питомих викидів SO_2 за формулою IV:

$$m_6 = 0,016 \cdot 0,685 + 0,002 \cdot 0,274 + 0,0031 \cdot 0,041 = 0,011635 \text{ т/т ум.п. – діюча структура;}$$

$$m_{np} = 0,017 \cdot 0,75 + 0,002 \cdot 0,1 + 0,0062 \cdot 0,15 = 0,01388 \text{ т/т ум.п. – проектна структура.}$$

3) Загальна маса викиду SO_2 для заданого обсягу палива 4314000 т ум.п.:

$$M_6 = 0,011635 \cdot 4314000 = \mathbf{50194} \text{ т/рік; } M_{np} = 0,01388 \cdot 4314000 = \mathbf{59878} \text{ т/рік.}$$

• Аналогічне проведення прогнозування оцінки зміни обсягу викидів NO_x .

ПРОДОВЖЕННЯ ЗАДАЧІ. Після відповідного аналізу було прийнято рішення про будівництво установки, що дозволяє знизити викиди SO_2 на 10000 т/рік. Викиди SO_2 за проектною структурою палива відповідають 17%-му рівню знешкодження. Дати прогнозну оцінку додаткових капітальних і поточних витрат.

4) Необхідний (проектний) ступінь знешкодження викидів SO_2 за формулою V:

$$E_{np} = \frac{10000(100-17)}{59878} + 17 = 30,9 \text{ \%}.$$

5) Використовуючи залежності з таблиці 1, визначимо питомі капітальні витрати при базовому і проектному ступені знешкодження викидів:

$$V_{k(6)}(17) = 7,4693 \cdot 17^{0,9794} = 119,8 \text{ ум.од./т;}$$

$$V_{k(np)}(30,9) = 7,4693 \cdot 30,9^{0,9794} = 215,1 \text{ ум.од./т.}$$

6) Загальний обсяг капітальних витрат, необхідних для реалізації проекту за формулою VI:

$$V_k = 0,96 \cdot (215,1 - 0,3 \cdot 119,8) \cdot 10000 = 1720000 \text{ ум.од.,}$$

коригуючий коефіцієнт $k_w = 0,96$ (таблиця 2), оскільки питома вага вугілля залишилась у діапазоні 61-80 %.

7) Поточні витрати за даними таблиці 1 та за формулою VIII:

$$V_{п} = 1,25 \cdot 30,9 = 38,63 \text{ ум.од./т } SO_2 \text{ або } 386300 \text{ ум.од./рік.}$$

Аналогічні доповнення до задачі та обчислювальні операції проводяться для знаходження капітальних витрат на зниження викидів NO_x із використанням формули VII.

Сферою застосування отриманих результатів є орієнтовні, попередні еколого-економічні розрахунки проектів. Хоча в цілому залежності витрат від ефективності знешкодження викидів мають нелінійний характер: це можуть бути й криві другого порядку (параболічного, гіперболічного типу), але

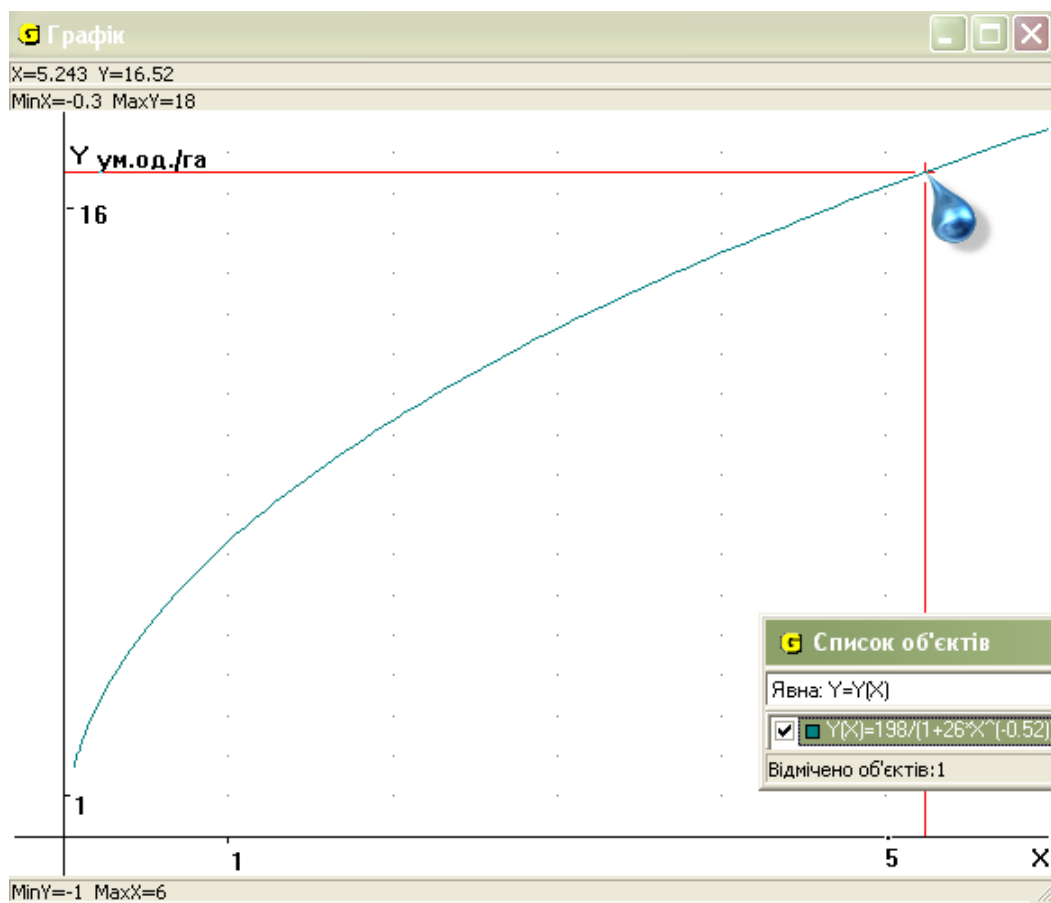
математична модель лінійної залежності $\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$ між змінними x та y , коли відомі дві пари значень (x_1, y_1) , (x_2, y_2) цих змінних, зокрема прямопропорційна залежність $y = kx$, необхідні для побудови та розрахунку масштабних еколого-економічних моделей.

Не зайвою буде демонстрація збитків сільськогосподарському виробництву у зоні впливу ТЕС. Наприклад, викиди окисів сірки приводять до зниження врожайності сільськогосподарських культур на 16,6% при концентрації SO_2 від 0,01 до 0,05 мг/м³ повітря; на 25% - від 0,06 до 0,1; на 33,6% - від 0,1 до 0,15. результати досліджень стали інформаційною базою для отримання емпіричних залежностей питомих збитків (ум.од./га) від інтегрального показника забруднення x [10, 284-287]:

$$y = \frac{198}{1 + 26x^{-0,52}} \quad (IX)$$

(інтегральний показник забруднення сформований з врахуванням викидів окисів сірки, азоту, вуглецю і попелу).

Побудуємо номограму для визначення питомих збитків рослинництву від забруднення атмосферного повітря.



ГРАN-документ 3

Зауваження. За GRAN-номограмою дуже зручно знаходити значення функціональної залежності. Для цього достатньо встановити на графіку курсор (у вигляді хрестика) в точці з відомою абсцисою. Координати X та Y точки, в якій знаходиться курсор, відображаються у спеціально відведеному рядку у вікні «Графік» (для $X=5,243$ відповідне значення $Y=16,52$).

Використовуючи номограму та дані таблиці 3 (для орієнтовних розрахунків навчальних задач представлені дані є цілком коректними), можна визначити збитки рослинництву (млн.ум.од./рік) за економічними регіонами України:

$$Y = y \cdot S \cdot a \quad (X)$$

y – питомі збитки від забруднення, ум.од./га; S – площа земельних угідь за регіонами, тис.га; a – частка земельних угідь, що знаходяться в зоні впливу ТЕС, част.од.

Економічні збитки рослинництву від забруднення атмосферного повітря в зоні впливу ТЕС

Економічний район	Орієнтовний показник забруднення за регіоном, x	Площа земельних угідь, тис.га	Питома вага земельних угідь у зоні впливу ТЕС, %
Кримський	0,33	1178,7	8,9
Донецький	5,24	3140,4	28,9
Карпатський	1,05	1812,7	7,6
Подільський	0,63	4202,7	5,1
Поліський	1,08	4238,5	5,9
Придніпровський	2,79	4147,9	24,6
Причорноморський	0,53	5581,5	5,7
Східний	1,32	5269,3	7,5
Центральний	0,48	4660,1	5,8

Таблиця 3

Наприклад:

Донецький регіон: за таблицею $x = 5,24$, тоді за номограмою $y = 16,52$ ум.од./га, збитки – $Y = 16,52 \cdot 3140,4 \cdot 0,289 = 14990$ тис.ум.од./рік = 14,99 млн.ум.од./рік.

Центральний регіон: $x = 0,48$; $y = 5,066$;

$Y = 5,066 \cdot 4660,1 \cdot 0,058 = 1,369$ млн.ум.од./рік.

Завдяки проведеним обчисленням та їх унаочненню засобами комп'ютерних технологій можливо відчутти, а також конкретизувати обсяг екологічних проблем в економіці. Якщо майбутньому спеціалісту надати нагоду опрацювати подібні моделі, то у своїй практичній діяльності він не буде байдужим до охорони навколишнього середовища та екології.

Процес навчання має носити дослідницький характер. Але для пошуку і розв'язування проблем студент повинен навчитися бачити їх. На заняттях з вищої математики окрім оволодіння програмним матеріалом та уміннями розв'язувати традиційні задачі у студентів економічних спеціальностей повинні

формування здібності орієнтуватися у навчально-професійних ситуаціях, які відбивають реальні задачі економіки.

Вихованню у процесі навчання системного погляду на предмет сучасної економічної діяльності має сприяти вислів Ю.Одума: "Коли *наука про дім* (екологія) та *наука про ведення домашнього господарства* (економіка) зліпляються, і коли *предмет етики* розширить свої межі та включить у себе разом із цінностями, виробленими людиною, цінності, які створюються навколишнім середовищем, тоді ми дійсно зможемо стати оптимістами відносно майбутнього людства" [8, 247].

ЛІТЕРАТУРА

1. Жалдак М.І., Горошко Ю.В., Винниченко Є.Ф. Математика з комп'ютером: Посібник для вчителів. – К: РННЦ «ДІНІТ», 2004. – 272 с.
2. Жалдак М.І., Вітюк О.В. Комп'ютер на уроках геометрії: Посібник для вчителів. – К: РННЦ «ДІНІТ», 2004. – 168 с.
3. Корнійчук О.Е. Еволюція формування економічного мислення // Педагогіка і психологія. – 2006 – №1.
4. Корнійчук О.Е. Етичні аспекти економічного мислення // Актуальні проблеми економіки. – 2005 – №6.
5. Корнійчук О.Е., Єрмаков В.М. Напрямки інтеграції математики з інформатикою у процесі підготовки молодших спеціалістів економічного профілю // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 2004 – №6.
6. Корнійчук О.Е., Єрмаков В.М. Комп'ютерні технології у вивченні математики для економістів // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 2004 – №8.
7. Корнійчук О.Е. Математичні моделі в економічних розрахунках на базі Mathcad // Математика в школі. – 2006 – №6.
8. Одум Ю. Экология. В 2-х т. Т. 2. - М.: Мир, 1986. – 376 с.
9. Перспективы обеспечения США топливом и энергией // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Научно-информационный бюллетень. – 1985 – № 11. – С. 38-51.
10. Телиженко А.М. Экономика чистого воздуха: международное управление. – Сумы: ИТД «Университетская книга», 2001. – 326 с.