

соответствующая отрасль прекратила деятельность.

Решение задачи (3.4)

$$f_2^* = 0.9t - 80, \quad x^* = (t, 0)^T, \quad y^* = (0.9t - 80, 0.)^T.$$

Как мы видим, вывод меняется на прямо противоположный полученному в задаче (3.3) – предпочтительней капитал перенаправлять на первую отрасль. И это решение верно, в отличие от предыдущего, поскольку общая («агрегирующая») форма матрицы Леонтьева скрывала реальную рентабельность отраслей.

Вывод. Рассмотрен межотраслевой баланс с разделением затрат на условно постоянные и переменные. На примере задачи оптимизации структуры производства показано, что в ряде случаев он более адекватно отображает реальные процессы, чем классическая линейная стационарная модель «затрати-выпуск». Тем не менее, предложенная модель (3.2) скорее демонстрирует недостатки классической модели и не претендует на завершенность, поскольку принята при ряде достаточно жестких условий. Кроме того, даже при их выполнении полученный результат для рассмотренного примера требует дальнейшего анализа. А именно, в случае, когда B является не диагональной матрицей, вторая отрасль не может прекращать деятельность, а должна обеспечивать функционирование первой. Хотя и тут возникает вопрос сравнения убыточности отрасли (в случае прибыльности вопрос не стоит) и стоимости импорта, т.е. финансового анализа альтернативы получения необходимого вида продукта путем убыточного производства или путем его импортирования. Далее, в свою очередь, в случае выбора импорта и закрытия убыточной отрасли следует вопрос о занятости и доходах населения. И так далее... Как видим, рассмотрение простой ситуации и принятие промежуточного решения влечет за собой цепочку новых, далеко не простых вопросов.

3.4 Еколого-економічні моделі відновлення територій, які зазнали техногенного впливу

Актуальність. Господарська діяльність спрямована на отримання економічного прибутку. Платою за це є техногенне навантаження на території, які використовуються. Відновлення територій, які постраждали від техногенного впливу потребує значних коштів. Після певного рівня погіршення стану, природні ресурси практично не відновлюються, що призводить до системного руйнування еколого-економічних систем народного господарства.

Одним з можливих резервів виправлення ситуації є властивість самовідновлення природних ресурсів (якщо їх пошкодження не перетнуло певної межі). З урахуванням еколого-економічних зв'язків, оптимальне управління використанням територій для господарської діяльності сприяє економії коштів на їх відновлення. Для пошуку оптимального управління необхідні моделі еколого-економічних процесів.

Моделі процесів стратегічного планування економічного розвитку та моделі екологічних процесів мають багато спільного: обмеженість ресурсів, логістичний характер розвитку, величезність помилок довгострокового прогнозування тощо. Специфічним для екологічних моделей є: ненаочність зв'язку екологічних та економічних втрат, неможливість створення екологічних страхових резервів ресурсів, натомість наявність процесів самовідновлення. Аналогії спостерігаються також в постановках оптимізаційних задач. Найбільш адекватними для означеного кола моделей (зокрема, для моделі впливу фізичних факторів на біологічний об'єкт) є логістичні залежності.

Оскільки господарська діяльність несе значне навантаження на навколишнє середовище, то виникає протиріччя між необхідністю підвищення інтенсивності господарської діяльності та обмеженням на гранично припустимий рівень техногенного навантаження. Актуальною є задача оптимального управління екологічним станом територій, які зазнали техногенного впливу з урахуванням властивостей самовідновлення екосистем.

Метою статті є розвиток чисельних та графоаналітичних процедур пошуку оптимального впливу фізичних факторів на екологічний об'єкт. Підвищена увага приділяється графоаналітичним моделям у зв'язку з їх наочністю, яка сприяє виявленню основних закономірностей розвитку процесів, що, в свою чергу, сприяє прийняттю правильних управлінських рішень.

Виклад основного матеріалу. В якості управління оберемо тривалості сеансів впливу (екологічного навантаження) та самовідновлення екологічної системи. Екологічний стан опишемо параметрами x_i , $i = 1, n$. Техногенний вплив на екосистему виконують фактори впливу з інтенсивністю y_j , $j = 1, m$. Для кожної комбінації впливу j -го фактору на стан i -го параметру екосистеми існує залежність $x_{i,j}^D(y_j, t_D) = X_{i,j}^D(-y_j) \cdot X_{i,j}^D(-t_D)$ параметру x_i від тривалості та інтенсивності дії фактору впливу. В багатьох випадках можна припустити, що y_j не змінюється

у часі, принаймні у межах сеансу впливу. Тоді припускаємо, що $X_{i,j}^{DY}(-y_j) = \text{const}$ та, відповідно, $x_{i,j}^D(y_j, t_D) = X_{i,j}^{Dt}(-t_D)$.

Після припинення дії фактору впливу в екосистемі починаються процеси самовідновлення, які описує функція часу. В більшості екосистем $X_{i,j}^B(y_j)$, $X_{i,j}^D(t_D)$, $X_{i,j}^R(t_R)$ можуть бути описані логістичними функціями. Тоді функція впливу на параметри екологічної системи та функція самовідновлення набудуть відповідно вигляду (рис. 3.8)

$$\begin{aligned} x_{i,j}^D(y_j, t_D) &= SL_{i,j}^{Dt}(-t_D), \\ X_{i,j}^R(t_R) &= SL_{i,j}^R(t_R), \end{aligned}$$

де t_D, t_R - тривалість сеансу дії фактору впливу та сеансу самовідновлення.

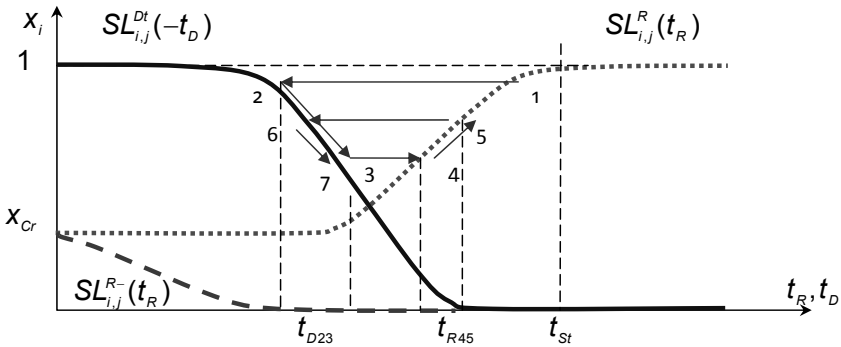


Рис. 3.8. Залежності екологічного навантаження та самовідновлення

Під сеансом дії фактору впливу та сеансом самовідновлення розуміємо окремі періоди безперервного впливу або безперервного самовідновлення екосистеми.

Для знаходження аргументів за відомими значеннями SL -функції X_i запишемо допоміжний вираз для зворотних SL -функцій позитивного та від'ємного аргументів відповідно

$$t = SL^{-1}(x_i) = \Delta t - \frac{1}{c} \cdot \ln\left(\frac{a}{x_i} - 1\right), \quad t = SL^{-1}(x_i) = -\Delta t + \frac{1}{c} \cdot \ln\left(\frac{a}{x_i} - 1\right).$$

Якщо припустити, що всі фактори впливу діють на протязі

однакового відрізка часу, в межах одного сеансу впливу, то функція зміни параметру x_i під впливом всіх m факторів може бути знайдена з виразу

$$x_i^D(t_D) = \sum_{j=1}^m SL_{i,j}^{Dt}(-t_D) \quad (3.5)$$

Для кожного виду впливу на кожний з екологічних показників має бути побудована своя функція впливу $SL_{i,j}^{Dt}$ та функція самовідновлення $SL_{i,j}^R$. Якщо серед факторів впливу існує r_j таких, що посилюють дію один одного, то остання залежність має бути представлена у вигляді

$$x_i^D(t_D) = \sum_{j=1}^m \prod_{l=1}^{r_j} SL_{l,i,j}^{Dt}(-t_D) \quad (3.6)$$

Добуток SL -функцій може бути апроксимований новою SL -функцією $\prod_{l=1}^{r_j} SL_{l,i,j}^{Dt}(-t_D) \approx SL_{i,j}^{Dt}(-t_D)$. Тобто залежність (3.6) може бути перетворена до (3.5), що дозволяє поширити методику на випадок факторів, які посилюють один одного. Залежність параметрів екосистеми від факторів впливу може набувати вигляду (3.5) або (3.6) в залежності від часу року або інших додаткових умов, які визначають на підставі додаткового аналізу на етапі підготовки моделей процесів. Чередування сеансів впливу на екосистему та її самооновлення (див. рис. 3.8) показані стрілками:

1.=2. – початковий стан екосистеми;

2-3 – деградація екосистеми під техногенним навантаженням;

4-5 – самовідновлення;

6-7 – деградація екосистеми під техногенним навантаженням.

Якщо певний показник екологічного стану x_i знизиться нижче критичного рівня x_{Cr} , то самовідновлення стає неможливим, і в залежності від виду екологічного показника, він або стабілізується в околиці критичного рівня, або починається процес автодеградації $SL_{i,j}^{Dt}$. Наявність просторових зон, вільних від факторів впливу, в безпосередньому наближенні до зон, що підлягають дії факторів впливу, дозволяє суттєво знизити величину x_{Cr} . З іншого боку, самовідновлення після точки t_{St} не дає майже нічого для зростання показника x_i , тобто в межах екологічного балансу існуючої екологічної системи та з урахуванням економічних факторів є надлишковим.

Процеси, які техногенно впливають на екосистему, вико-

ристовуються для отримання економічного ефекту. З іншого боку, вони спричиняють певну екологічну шкоду. Задача полягає в тому, щоб:

Максимізувати корисний ефект від певного виду діяльності $Ef \rightarrow \max$.

1. Не допустити екологічну систему до стану автодеградації, тобто підтримувати її стан на рівні, не нижче завданого $Ecol \geq Ecol_{zad}$.

Або розв'язати симетричну задачу: $Ecol \rightarrow \max$; $Ef \geq Ef_{zad}$.

Розглянемо більш детально залежності впливу на екосистему та її самовідновлення для окремих сеансів (див. рис. 3.8). За відомим початковим станом екосистеми $x_i(t_1) = x_i(t_2) = x_{i0}$ знайдемо відповідні аргументи

$$t_2 = SL^{-Dt}(x_{i0}) = -\Delta t^{Dt} + \frac{1}{c^{Dt}} \cdot \ln\left(\frac{a^{Dt}}{x_{i0}} - 1\right)$$

Якщо тривалість впливу на екосистему дорівнює t_{D23} , то величина показника x_i стану екосистеми в точці 3 дорівнюватиме

$$x_i(t_3) = x_i(t_4) = SL^{Dt}(-(t_2 + t_{D23})) = \frac{a^{Dt}}{1 + e^{-c^{Dt}(-(t_2 + t_{D23}) - \Delta t^{Dt})}} = \frac{a^{Dt}}{1 + \left(\frac{a^{Dt}}{x_{i0}} - 1\right) \cdot e^{c^{Dt} \cdot t_{D23}}}.$$

Аргумент в точці 4 дорівнюватиме

$$t_4 = SL^R(x_i(t_4)) = \Delta t^{Rt} - \frac{1}{c^{Rt}} \cdot \ln\left(\frac{a^{Rt}}{x_i(t_4)} - 1\right).$$

Якщо тривалість самовідновлення екосистеми дорівнює t_{R45} , то величина показника x_i стану екосистеми в точці 5 дорівнюватиме

$$x_i(t_5) = x_i(t_6) = SL^{Rt}(t_4 + t_{R45}) = \frac{a^{Rt}}{1 + e^{-c^{Rt}(t_4 + t_{R45} - \Delta t^{Rt})}} = \frac{a^{Rt}}{1 + \left(\frac{a^{Rt}}{x_i(t_4)} - 1\right) \cdot e^{-c^{Rt} \cdot t_{R45}}}.$$

Якщо сеанси самовідновлення та впливу продовжуються, то аналогічно знаходимо показники стану екосистеми в кінці кожного з сеансів. Тривалості сеансів впливу на екосистему та сеансів самовідновлення екосистеми мають обиратись так, щоб задовольнити гранично припустимі обмеження на показники стану екосистеми та не припустити занадто довгого самовідновлення екосистеми.

Прогнозування величин показників стану екосистеми та управління станом екосистеми на підставі вищевикладених залежностей доцільно реалізувати у вигляді графоаналітичного методу, основними етапами якого є наступні:

1. Будуємо відповідні графіки функції впливу на екосистему $SL_{i,j}^{Dt}$ та функції самовідновлення $SL_{i,j}^R$ (рис. 3.8).

2. Відмітимо на графіку $SL_{i,j}^R$ початковий стан показника екосистеми до початку впливу (точка 1).

3. Цикл 1: Проведемо горизонтальну лінію з точки 1 на графіку $SL_{i,j}^R$ до перетину з $SL_{i,j}^{Dt}$ в точці 2. Відзначаємо на вісі абсцису t_2 точки 2.

4. Додамо до t_2 (точки 2) тривалість дії факторів впливу на екосистему t_{D23} . Точка 3 ($t_3 = t_2 + t_{D23}$) – є точкою закінчення дії факторів впливу.

5. З абсциси t_3 точки 3 та графіка $SL_{i,j}^{Dt}$ знаходимо ординату $x_i(t_3)$ точки 3 закінчення дії факторів впливу.

6. Порівнюємо величину показника стану екосистеми в точці 3 (ординату точки 3) з критичним рівнем показника x_{Cr} , нижче якого опускатися не можна. Якщо $x_i(t_3) \leq x_{Cr}$, то повертаємось на крок 4, зменшуємо тривалість t_{D23} . Якщо $x_i(t_3) > x_{Cr}$, переходимо до наступного кроку.

7. Проводимо горизонтальну лінію з точки 3 на графіку $SL_{i,j}^{Dt}$ до перетину з графіком $SL_{i,j}^R$ в точці 4. Відзначаємо на вісі абсцису t_4 точки 4.

8. Додамо до t_4 тривалість терміну самовідновлення t_{R45} . Отримуємо абсцису $t_5 = t_4 + t_{R45}$ точки 5 – закінчення сеансу самовідновлення.

9. Порівнюємо t_5 та час стабілізації параметра екосистеми. Якщо $t_5 \geq t_{St}$, то вважаємо, що обмежень на початок впливу на екосистему не існує. Переходимо до наступного етапу. Якщо $t_5 < t_{St}$, то можна переходити до наступного етапу, але більш ретельно обирати тривалість наступного сеансу впливу на екосистему.

10. З абсциси t_5 точки 5 та графіку $SL_{i,j}^R$ знаходимо ординату $x_i(t_5)$ точки 5 - закінчення сеансу самовідновлення.

11. Цикли після першого: Повторюємо крок 3.

12. Повторюємо крок 4.

13. Повторюємо крок 5.

14. Повторюємо крок 6. Але якщо $x_i(t_3) \leq x_{Cr}$, то замість повернення до кроку 12 можна також використовувати повернення на крок 8 та збільшення тривалості терміну самовідновлення t_{R45} .

15. Повторюємо кроки 7-10.

16. Новий цикл: Повторюємо кроки 11-15.
17. Повторюємо кроки 1-16 для кожного з факторів впливу та кожного з показників стану екосистеми.

Висновки. Запропонований графоаналітичний метод дозволяє максимізувати самовідновлювальні властивості територій під час господарської діяльності, що, в свою чергу, суттєво економить кошти на природно-відновлювальні операції. Напрямком подальших досліджень є поширення запропонованої графоаналітичної процедури на багатовимірні еколого-економічні моделі.

3.5 Моделювання впливу енергетики на стан прибережної зони морської акваторії

Стрімкий розвиток енергоіндустрії і транспорту, загальна глобалізація формують сьогодні підвищений інтерес багатьох дослідників до питань екології і, зокрема, до проблеми обмінних процесів і перемішування рідин у суцільних середовищах. Ці наукові задачі безпосередньо пов'язані з питаннями еволюції і прогнозування розповсюдження скалярних полів (солоності, забруднень, планктону і ін.) в атмосфері, океані і знаходять сьогодні широке застосування в різних областях народного господарства, зокрема енергетики.

Теоретичне вивчення і аналіз процесів перемішування рідин зустрічає значні труднощі і в даний час фактично відсутній у зв'язку зі складністю опису реальної течії рідини. В кінці минулого століття дослідження^{9,10} показали, що за певних умов ламінарні течії можуть приводити до інтенсивного перемішування. Сьогодні такі режими є предметом активного дослідження як з теоретичної, так і з експериментальної точок зору.

Перемішування є складним природним явищем, що включає різні механізми, два з яких найбільш важливі: розтягування виділеної рідини у зв'язку з наявністю поля швидкості, і дифузія у зв'язку з молекулярним рухом. Аналіз часових масштабів для обох механізмів перемішування дозволяє в деяких випадках нехтувати дифузійними ефектами, і проблема зводиться до аналізу процесів деформації виділених областей рідини в даному полі швидкості. Така задача в науковій літературі одержала

9 Aref H. Stirring by chaotic advection / H.Aref // Journal of Fluid Mechanics. – 1984. – Vol.143. – P.1-23.

10 Ottino J.M. The Kinematics of Mixing: Stretching, Chaos and Transport / J.M.Ottino. – Cambridge: Cambridge University Press, 1989. – 364 p.