структур в інтегральній оптиці, створенні чутливих фотоприймачів в ультрафіолетовій області та різних НВЧ-пристроїв.

Ключові слова: *модульована структура, фотопровідність, оптична активність, фото-е.р.с.*

Fedotov V.

THE INFLUENCE OF MODULATED STRUCTURE ON ELECTRIC, PHOTOELECTRIC AND OPTICAL PROPERTIES DIPHOSPHIDE CRYSTALS OFZINC AND CADMIUM.

Temperature dependences conductivity, photoconductivity, indicator refraction and specific rotary plane polarization of crystals ZnP_2 and CdP_2 tetragonal modification were investigated.

Modulated structure characteristic for investigated materials was discovered. Perspective of use modulated structures in integral optic, creation sencitive phtoelement manifest in ultraviolet and various UHF-devices.

Keywords: *modulated structure, photoconductivity, optical activity, photo-e.m. f.*

УДК 519.876

Кривець Т.О., Овчарук В.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ СІТЬОВОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ КОНТЕЙНЕРНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Робота присвячена аналізу використання сітьової транспортної моделі для задачі оперативного управління контейнерними перевезеннями на морській лінії у випадку великої розмірності задачі. Розроблена математична модель та проведений аналіз задачі оптимального планування перевезень контейнерів на прикладі чотирьох портів показали, що для розв'язку таких задач ефективно використовувати сітьові транспортні моделі.

Ключові слова: *математична модель, контейнерні перевезення.*

Постановка проблеми. Задачі управління контейнерним парком на морській лінії можна сформулювати як задачі транспортного типу, точніше, як сітьові транспортні задачі, що дає можливість використати для їх розв'язку сучасні в цій галузі спеціальні методи лінійного програмування. На відміну від стандартних методів лінійного програмування, ці методи більш ефективні при розв'язанні задач оперативного управління великої розмірності в реальному масштабі часу.

Аналіз попередніх досліджень. У роботах [1,2,3] відзначалось, що оптимальна організація перевезень порожніх контейнерів як одна з найважливіших задач управління контейнерними перевезеннями дозволяє не тільки скоротити загальний парк контейнерів на морській замкненій лінії, але також веде до успішного виконання планів перевезень в кінцевих і проміжних портах лінії, що були складені заздалегідь. Для таких задач розроблена математична модель, яка сформульована як задача лінійного програмування загального виду.

У зв'язку з цим для її розв'язку використовувались звичайні методи лінійного програмування.

Цілі статті полягають у проведенні аналізу і розробці спеціальних методів розв'язку задачі управління контейнерними перевезеннями, які б враховували особливості цих задач і дозволяли би більш оперативно здійснювати пошук їх оптимального розв'язку у випадку великої розмірності задачі.

Виклад основного матеріалу. Для пояснення цієї ідеї розглянемо такий випадок. Припустимо, що одне судно-контейнеровоз курсує на міжнародній лінії згідно заданому маршруту і графіку руху суден на лінії. При цьому судно здійснює M заходів в кожний з R портів.

Перенумеруємо всі зупинки судна згідно маршруту числами $i = 1,2,\ldots,R$. Передбачаємо, що номер зупинки і номер порту співпадають. При кожній зупинці в порту судно може завантажити або розвантажити порожні контейнери.

Введемо такі позначення:

a_i – кількість порожніх контейнерів, які знаходяться в порту i до моменту заходу судна;

b_i – кількість потрібних порожніх контейнерів, які знаходяться в порту i до моменту заходу судна;

x_i – кількість порожніх контейнерів на судні в момент його приходу в порт i.

Якщо в порту до певного моменту часу своїх порожніх контейнерів не вистачає, то власник судна повинен або відмовитись від запланованого вантажу, або прямо в порту, якщо є така можливість, здійснити додаткову оренду контейнерів у іноземних фірм.

Позначимо через:

W_i – вартість додаткової оренди одного контейнера, якого не вистачає, в порту i;

H_i – питомий штраф за контейнери, яких не вистачає, в порту i;

C_i – вартість перевезення одного порожнього контейнера з порту i в порт $i + 1$;

z_i – кількість орендованих контейнерів в порту i;

y_i – кількість порожніх контейнерів, які передбачені для задоволення вимог *i-го* порту;

v_i – кількість власних порожніх контейнерів серед числа тих, що знаходяться в порту i, які передбачені для задоволення вимог в портах $i, i + 1,\ldots, R$;

Можна записати такі рівняння:

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= x_i + v_i + z_i - y_i, \quad (i = 1,2,\ldots,R-1) \\ z_R + x_R + v_R &= y_R, \end{aligned} \tag{1}$$

де x_1 – задана величина, а $x_2, x_3,\ldots, x_R$ – невідомі величини.

Крім того, повинні виконуватись співвідношення:

$$0 \le x_i \le r_i; \quad 0 \le y_i \le b_i; \quad 0 \le v_i \le a_i; \quad 0 \le z_i \le \alpha_i \quad (i = 1,2,\ldots,R) \tag{2}$$

де r_i - максимальна кількість порожніх контейнерів, які судно може взяти на борт в порту i;

α_i – максимально допустима кількість орендованих контейнерів в цьому ж порту.

Треба знайти невід'ємні величини x_i, v_i, y_i, z_i, h_i, які мінімізують сумарні затрати

$$\sum_{i=1}^{R} W_i z_i + \sum_{i=1}^{R} C_i x_i + \sum_{i=1}^{R} H_i b_i, \tag{3}$$

де

$$h_i = b_i - y_i$$

тобто h_i – кількість контейнерів, яких не вистачає в *i-му* порту.

Слід відзначити, що можлива така ситуація (це залежить від співвідношень між H_i, C_i, W_i), при якій в порту i є $a_i > 0$ порожніх контейнерів і потрібно $b_i > 0$ порожніх контейнерів (до моменту заходу судна), але в оптимальному розв'язку виявиться $y_i = 0$. Тобто, ті порожні контейнери, які знаходилися в порту i, були використані для задоволення потреб інших портів.

Для більшої наочності пояснення постановки задачі розглянемо приклад для такого випадку, коли лінія містить чотири порти, тобто *R = 4* і на лінії курсує одне судно-контейнеровоз.

Припустимо, що кількість контейнерів на борту в момент прибуття судна в *i-й* порт дорівнює 15. Інші данні наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

№ порту	1	2	3	4
Дата заходу	02.08.15	06.08.15	15.08.15	23.08.15
	273	350	22	0
	110	80	150	55
	40	40	40	40
	30	20	70	35
	86	95	1000	80
	1000	2000	1000	1000
	10	30	20	10

Необхідно мінімізувати функціонал

$$86z_1 + 95z_2 + 1000z_3 + 80z_4 + 10x_1 + 30x_2 + 20x_3 + 10x_4 + 1000(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (4)$$

При обмеженнях

$$\begin{gathered}
x_2 = 15 + v_1 + z_1 - y_1; \\
x_3 = x_2 + v_2 + z_2 - y_2; \\
x_4 = x_3 + v_3 + z_3 - y_3 \\
x_4 + z_4 + v_4 = y_4; \\
0 \le x_2 \le 40 \quad 0 \le x_3 \le 40 \quad 0 \le x_4 \le 40 \\
0 \le v_1 \le 273 \quad 0 \le v_2 \le 350 \quad 0 \le v_3 \le 22 \\
0 \le z_1 \le 30 \quad 0 \le z_2 \le 20 \quad 0 \le z_3 \le 70 \\
0 \le z_4 \le 35 \\
y_1 \ge 0; \quad y_2 \ge 0; \quad y_3 \ge 0; \quad y_4 \ge 0; \\
h_1 \ge 0; \quad h_2 \ge 0; \quad h_3 \ge 0; \quad h_4 \ge 0.
\end{gathered} \quad (5)$$

Формально задача (1) – (3) є задачею лінійного програмування спеціального виду. Специфіка задачі, яка розглядається, викликана рівняннями (1), які задані в рекурентній формі за змінними x_i, в зв'язку з чим цю задачу можна віднести до задач оптимального управління. Безперечно, для розв'язку даної задачі можна використати загальні методи лінійного програмування. Застосувати ж спеціальні чисельні методи теорії оптимального управління дуже складно через те, що відсутні фазові обмеження, які входять в систему обмежень (3).

Один з ефективних підходів до розв'язання цієї задачі спеціальними методами полягає в зведенні її до задачі про оптимальний потік у деякій спеціальним чином побудованій транспортній мережі, яку будемо називати представляючою мережею. Для випадку, коли *R = 4*, дана мережа представлена на рис.1.

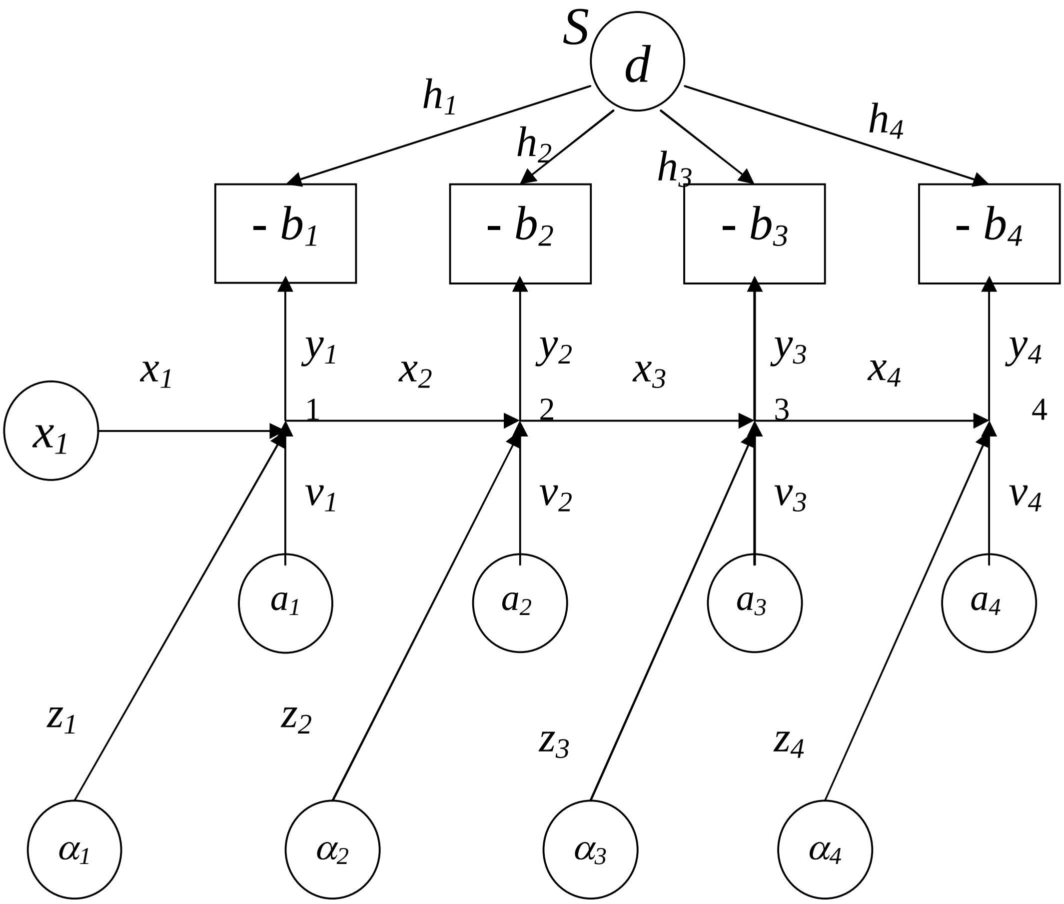

Рис. 1. **Представляюча мережа у випадку чотирьох портів**

Джерела мережі вказані кружками, стоки – квадратами, нейтральні вершини – точками. Вершини $i = 1,2,\ldots,R$ відповідають рознесеним в часі моментам послідовних заходів судна в передбачені маршрутом порти.

Значення потоків вказані біля дуг. Інтенсивність джерела S дорівнює достатньо великому числу α. При цьому сума інтенсивностей вершин не обов’язково дорівнює 0. Рівність 0, як це інколи вимагається в теорії потоків в мережах, можна отримати звичайним прийомом – шляхом введення фіктивного джерела і стоку.

Всі дуги, за винятком дуг, які відповідають змінним x_i, мають необмежені пропускні спроможності. Дуга, що відповідає змінній x_i, має пропускну спроможність r_i.

Легко побачити, що значення потоків по дугам представляючої мережі задовольняють обмеженням (1), (2), (3). Дійсно, враховуючи рівняння збереження потоку в нейтральних вершинах, величини x_i, v_i, y_i, z_i, задовольняють рівнянням (1). Враховуючи обмежену пропускну спроможність дуг, що відповідають змінним x_i, отримаємо обмеження $x_i \le r_i$. Інші обмеження (2) випливають з рівнянь збереження потоку для джерел. З рівнянь збереження потоку для стоків отримаємо $b_i = y_i + h_i$, тобто обмеження (3).

Таким чином, значення потоків по дугам представляючої мережі задовольняють обмеженням (1), (2), (3). Тому, якщо з x_i, z_i, h_i зв’язати затрати W_iz_i, C_ix_i, H_ih_i, то потік, який мінімізує загальні затрати, і буде розв’язком задачі.

В сформульованій вище моделі не враховуються затрати на вантажно-розвантажувальні роботи. У зв’язку з тим, що вартості цих операцій порівняні за величиною з вартостями вже розглянутих операцій, виникає необхідність їх враховувати. В такому випадку представляюча мережа має вигляд, наведений на рис. 2.

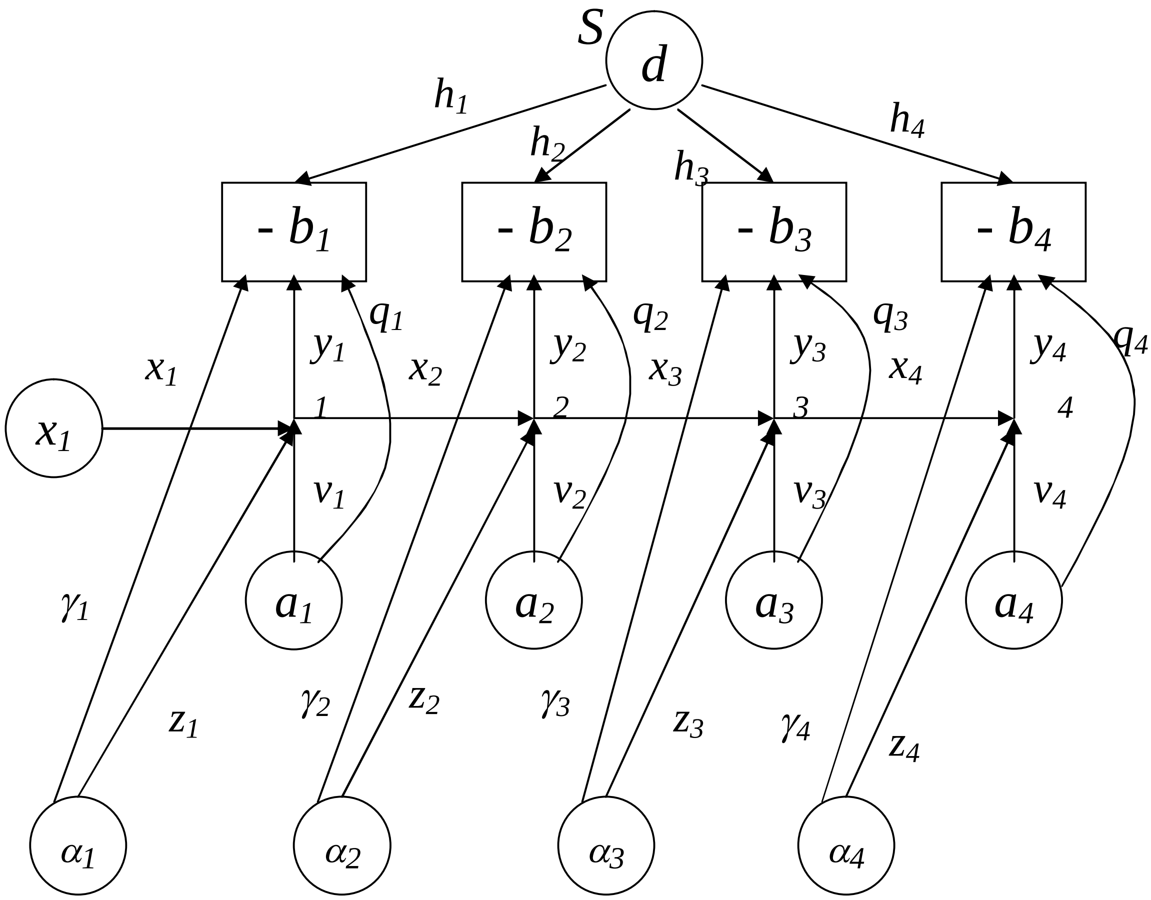

Рис. 2. **Представляюча мережа з урахуванням затрат на вантажно-розвантажувальні роботи**

де γ_i – частина орендованих в *i-му* порту порожніх контейнерів і призначених для задоволення потреб *i-го* порту;

q_i – частина порожніх контейнерів, які знаходяться в *i-му* порту і призначені для задоволення потреб *i-го* порту.

Затрати, що пов'язані з переміщенням цих потоків по дугам представляючої мережі, дорівнюють $W_i \cdot \gamma_i \cdot i \quad 0 \cdot q_i$

Нехай z_i – кількість порожніх контейнерів на судні з числа орендованих контейнерів; v – кількість завантажених на судно в *i-му* порту власних порожніх контейнерів.

Затрати, які пов'язані з переміщенням цих потоків з урахуванням затрат на завантаження дорівнюють $(W_i + \delta_i)z_i \quad i \quad \delta_i v_i$, де δ_i – затрати на завантаження одного контейнера.

Позначимо через y_i кількість розвантажених з одного судна порожніх контейнерів.

З переміщенням потоку y_i по дузі представляючої мережі пов'язані затрати $v_i y_i$, де v_i – затрати на розвантаження одного контейнера.

Враховуючи вище сказане, маємо рівняння:

$$x_{i+1} = x_i + v_i + z_i - y_i, \quad (i = 1,2,\dots,R-1)$$

$$x_R + z_R + v_R = y_R$$

тобто рівняння (1) не змінюється.

Замість рівняння (2) маємо:

$$0 \le x_i \le r_i; \quad v_i + q_i \le a_i; \quad v_i \ge 0; \quad q_i \ge 0$$

$$\gamma_i + z_i \le \alpha_i; \quad \gamma_i \ge 0; \quad z_i \ge 0$$

$$b_i = \gamma_i + q_i + h_i + y_i; \quad (i = 1,2,\dots,R)$$

Вираз для функції мети має такий вигляд:

$$\sum_{i=1}^{R} C_i x_i + \sum_{i=1}^{R} H_i h_i + \sum_{i=1}^{R} (W_i + \delta_i) z_i + \sum_{i=1}^{R} v_i y_i + \sum_{i=1}^{n} \delta_i v_i$$

Висновки. Розроблена математична модель та проведений аналіз задачі оптимального планування перевезень контейнерів на прикладі чотирьох портів показали, що для розв’язку таких задач ефективно використовувати сітьові транспортні моделі, які б враховували особливості цих задач і дозволяли би більш оперативно здійснювати пошук їх оптимального розв’язку у випадку великої розмірності задачі.

Планується розробка моделі на загальний випадок, коли на лінії курсують кілька суден-контейнеровозів, вони зупиняються в R пунктах із N портів згідно маршруту.

Використання такого підходу до розв’язання задач управління контейнерними перевезеннями вимагає розробки складного комплексу програм, які дозволяли б генерувати представляючу мережу на комп’ютері на підставі вхідних даних задачі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дунаев О. Н. К вопросу о развитии контейнерных перевозок // Вестник евроазиатского транспортного союза (информационно-аналитический журнал) – 2003. – № 2 (9). – С. 23.
2. T.C. Malhotra Containerized cargo system in Asia // Transportweekly – 2005. – № 44. – С. 25-35.
3. Кривець Т. О., Овчарук В. О. Математична модель задачі управління контейнерними перевезеннями на морській замкненій лінії // Водний транспорт – К.: КДАВТ, 2013. – №1 (16). – С. 181-183.

Кривец Т.А., Овчарук В.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЕВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КОНТЕЙНЕРНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Работа посвящена анализу использования сетевой транспортной модели для задачи оперативного управления контейнерными перевозками на морской линии в случае большой размерности задачи. Разработанная математическая модель и проведенный анализ задачи оптимального планирования перевозок контейнеров на примере четырех портов показали, что для решения таких задач эффективно использовать сетевые транспортные модели.

Ключевые слова: *математическая модель, контейнерные перевозки.*

Kryvets T., Ovcharuk V.

RESEARCH NETWORK TRANSPORT MODEL FOR THE MANAGEMENT OF CONTAINER TRAFFIK BY SEA TRANSPORT

The paper analyzes the use of the transport network model for management tasks in the maritime container traffic lines in the case of large dimension of the problem. The mathematical model and analysis of the problem of optimal planning of container traffic on the example of the four ports have shown that for such tasks the effective usef the network transport model will be.

Keywords: *mathematical model, container traffic.*