Київська міська державна адміністрація

Інститут прикладної інформатики

На правах рукопису

УДК 519.8

ПОЛУМІЄНКО Сергій Костянтинович

ЕВРИСТИЧНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ СКЛАДНИХ ПРИКЛАДНИХ СИСТЕМ

01.05.01 - теоретичні основи інформатики та кібернетики
(математична кібернетика)

Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня
доктора фізико-математичних наук

Київ - 1994

Київська міська державна адміністрація

Інститут прикладної інформатики

На правах рукопису

УДК 519.8

ПОЛУМІЄНКО Сергій Костянтинович

ЕВРИСТИЧНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ СКЛАДНИХ ПРИКЛАДНИХ СИСТЕМ

01.05.01 - теоретичні основи інформатики та кібернетики (математична кібернетика)

Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня доктора фізико-математичних наук

Київ - 1994

Робота виконана в Інституті прикладної інформатики

Науковий консультант – член-кореспондент НАН України і АН Росії, доктор фізико-математичних наук, профессор Стогній А.О.

Офіційні опоненти:

1) член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор Шор Н.З.;

2) доктор технічних наук, професор, академік Академії природничих наук Російської Федерації Александров В.В.;

3) доктор фізико-математичних наук, професор Кожевнікова Г.П.

Провідна організація Київський державний університет ім. Т.Г. Шевченка

Захист відбудеться "10" лютого 1995 р. о 10 год. на засіданні Спеціалізованої вченої ради Д 01.64.01 в Інституті прикладної інформатики за адресою: 252004, м. Київ, вул. Червоноармійська, 23-б.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту прикладної інформатики.

Автореферат розісланий "5" січня 1995 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради Мелент'єв Г.В.

AB-31.727

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Проблема опису та дослідження закономірностей поведінки та розвитку суспільства завжди займала центральне місце в різних науках, кожна з котрих по-своєму інтерпретувала цілі, задачі та оптимальні засоби розвитку суспільства. До цих пір не знайдений найкращий шлях управління та розвитку суспільства, але робляться спроби, і успішні спроби, більш детального його відображення та дослідження, що дозволяють знайти адекватні частково оптимальні рішення, прогнози розвитку. З позицій кібернетики та інформатики проблема оптимізації розвитку соціумів в їх безпосередньому зв'язку з навколишнім середовищем та виробництвом знаходить все більш рішень для різних прикладних задач, в тому числі й глобального характеру. Виділений основний об'єкт - еколого-економічна система, в межах вивчення якого досліджуються наслідки розвитку тих або інших тенденцій, управлінських рішень, випадкових дій, та ін. Іншими словами, робляться спроби математичного дослідження ноосфери В.І. Вернадського, спрямовані на реалізацію програмних засобів оптимізації її эволюції.

В роботі на рівні біогеоценозу розглядається ця ж проблема - розробки апарату для формального представлення і дослідження еколого-економічних систем та знаходження оптимальних шляхів управління ними. Мається на увазі виділення понять оптимальних станів системи, побудова алгоритмів та програмних засобів їх знаходження, оцінки наслідків управлінських рішень з урахуванням наступних факторів:

- реалізація оптимальних станів середовища біогеоценозу та задовільнення життєвих інтересів проживаючого в ньому населення;

- реалізація оптимального розвитку виробництва в межах видiленого бiогеоценозу або задовiльнення iнтересiв життезабезпечення його населення;

– поєднання макро- та мiкро- пiдходiв при вiдноснiй автономностi пiдсистем та об'єктiв, що дозволяє детально розглянути та знайти оптимальнi стратегii розвитку системи при рiзних детермiнованих i випадкових дiях;

– визначення розв'язуваних та ефективних методiв аналiзу i оптимiзацii еколого-економiчних систем.

Перелiченi вихiднi передумови данoi роботи обгрунтовують актуальнiсть ii теми.

Мета дисертацiйноi роботи полягає в розробцi, дослiдженнi та практичнiй реалiзацii єдиного формального апарату для моделювання та аналiзу еколого-економiчних систем, що дозволяє вiдобразити детермiнованi, випадковi, суперечливi фактори ix розвитку i знайти шляхи оптимального управлiння системами на основi застосування комп'ютерних засобiв.

За напрямками дослiдження робота може бути вiднесена до теорii iгор, теорii розпiзнання образiв, теорii алгоритмiв, а також до теорii i прикладних задач пасажирських перевезень та iнвестицiйного аналiзу. За задачами, що вирiшуються, вона може бути охарактеризована, як доповнення до вказаних наукових напрямкiв i теорiй, наприклад, для теорii iгор – побудова багаторiвневих iгор та алгоритмiв ix вирiшення, для теорii алгоритмiв – вирiшення задач при конфлiктнiй та неповнiй iнформацii.

Матерiал роботи пов'язаний та спирається на дослiдження Р.Т. Абдукаримова, Р. Аумана, М.М. Воробйова, В.Л. Гiрка, Ю.I. Журавльова, А.I. Кондрат'єва, А.О. Стогнiя, А. Шеплi, Ю.I. Янова та iнших вiдомих вчених.

Наукова новизна роботи. Запропоновано та досліджено апарат моделювання та аналізу еколого-економічних систем, що включає математичні моделі, алгоритми та програмні засоби опису розвитку цих систем, а також методів оптимізації їх управління. При цьому одержані наступні основні результати:

- запропоновані структурні теоретико-ігрові моделі еколого-економічних систем, що дозволяють єдиними засобами відображати детерміновані, випадкові та суперечливі дії елементів і підсистем вихідної системи - населення, природи і виробничої сфери; виділені задачі аналізу систем як задачі знаходження оптимальних рішень в побудованих моделях;

- на основі моделей побудований та досліджений новий клас ігор - багаторівневі коаліційні та кооперативні ігри, а також багаторівневі коаліційні динамічні стохастичні (БКД-) ігри в загальній формі; доведено існування стійких ситуацій в БКД-іграх;

- для БКД-ігор визначені поняття стійких та оптимальних рішень, сформульовані умови їх співпадання; побудована процедура аналізу стратегій гравців і коаліцій, в межах якої вирішення БКД-гри зведене до вирішення класу матричних ігор; тим самим показане існування точного алгоритму вирішення БКД-гри, за рахунок введення передстратегій гравців вдалося реально описати випадок входження гравців одночасно до різних коаліцій;

- як об'єднання класу алгебраїчних систем побудована формальна функціональна f-модель еколого-економічної системи, яка є рекурсивним представленням БКД-ігор;

- виділені базисні задачі синтезу й аналізу формальних моделей, що полягає в побудові відповідних алгоритмів на основі навчальної інформації; задачі є узагальненням постановки стандартних задач теорії розпізнання образів;

- на основі розширення системи структурних класифікаторів і алгоритмів обчислення оцінок побудовані алгоритми формування і аналізу f-моделей, а також формальна модель цих алгоритмів;

- як об'єднання цієї формальної системи, що включає і представлення алгоритмів маніпулювання в процесі вирішення задач, та формальних систем, що полягають в основі f-моделей, визначені розширені f-моделі й память алгоритмічної системи вирішення базисних задач синтезу і аналізу, показана її рекурсивність;

- побудовані структурні класифікатори, що використані як вирішуюче правило алгоритмів обчислення оцінок, в схему котрих також включено оператор навчання; показана коректність і рекурсивність процесу їх вирішення в класі алгоритмів з пам'яттю;

- побудована загальна схема моделювання і вирішення прикладних задач, в межах котрої вони представляються як набори базисних задач, представлених в пам'яті системи вирішення задач;

- побудована загальна обчислювальна схема, виділені основні принципи побудови програмних систем моделювання і аналізу.

<u>Практична цінність дисертації.</u> Розроблені апарат і методи аналізу можуть бути покладеними в основу створення широкого класу систем вирішення задач і баз знань та дозволяють єдиними засобами описувати, досліджувати та оптимізувати складні структуровані системи і процеси, що характеризуються високою ступінню різнородності компонент, складнімтю задач, що вирішуються, в тому числі при неповній інформації.

<u>Реалізація.</u> Розроблений апарат аналізу використаний при створенні системи аналізу та оптимізації міських пасажирських перевезень, що впроваджена в Київській міській державній адміністрації, а також при розробці системи аналізу інвестиційної діяльності, що створе.. за договором з ДК "Укрмонтажспецбуд".

Підхід також використовувався при виконанні ряду тем за завданнями ДКНТ СРСР, Президії НАН України, ДКНТ і ДФФІ України.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 39 наукових робіт, в тому числі 1 монографія (в співавторстві).

Матеріал роботи доповідався на семінарах Наукової ради з проблеми "Кібернетика", трьох Далекосхідних математичних школах-семінарах, всесоюзних, республіканських і міжнародних семінарах і конференціях.

Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти глав, заключення, списку основної використаної літератури та додатків. Об'єм работи - 237 стор., список літератури - 108 назв.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовується актуальність роботи, викладаються мета та методи дослідження проблеми моделювання й аналізу еколого-економічних систем, основні одержані результати.

У першій главі розглядається побудова теоретико-ігрових моделей еколого-економічних систем.

Модель виробничої діяльності. Введемо наступні елементи та їх множини: гравець - робітник дільниці $i \in {}^1I$; множина його інтересів ${}^1U_I$; множина передстратегій гравців $\langle {}^1_0S_i \rangle_{i \in {}^1I}$; час виконання передстратегії $t_{{}_0s_i}$; множина стратегій гравця i - ${}^1S_i = \prod\limits_l {}^1_0S_i^l$; час виконання гравцем i стратегії s - $T_{s,i} = \min t_{{}_0s_i}$; комплекси коаліцій інтересів та дій ${}^1\mathfrak{K}_И$ та ${}^1\mathfrak{K}_Д$, - бригади та інші групи; множина коаліційних інтересів ${}^1U_{\mathfrak{K}_И}$; множина коаліційних стратегій $\langle {}^1S_K \rangle_{K \in {}^1\mathfrak{K}_Д \subseteq {}^1\mathfrak{K}_И}$; множини предикатів належності коаліціям $^1\mathcal{R}_{\text{И}}$ та $^1\mathcal{R}_{\text{Д}}$ – $^1R_{\text{И}}$ та $^1R_{\text{И}}$; множина ситуацій $^1\tilde{S}$; продукція $^1D_K = {}^1D_K(\tilde{s})$, що вироблена при виконанні стратегії коаліції K; капітал гравця i, наданий йому для виконання стратегій ^1S_i, – $^1\Theta(i)$, – виробничі фонди; функція виграшу $^1H_i(\tilde{s})$ гравця i – доход, отриманий при реалізації ситуації $\tilde{s}$; капітал $^1\Theta(K)$ коаліції K; функція виграшу коаліції $^1H_K(\tilde{s})$ в ситуації $\tilde{s}$.

Маємо модель першого рівня

$$^1\Gamma = \langle {}^1I,\ {}^1U_I,\ \langle {}^1S_i\rangle_{i\in {}^1I},\ \langle T_{s,i}\rangle_{i\in {}^1I,\, s\in {}^1S_I},\ {}^1\mathcal{R}_{\text{И}},\ {}^1U_{\mathcal{R}_{\text{И}}},\ {}^1\mathcal{R}_{\text{Д}},$$

$$^1R_{\text{И}}\cup {}^1R_{\text{Д}},\ {}^1\tilde{S},\ \langle {}^1D_K\rangle_{K\in {}^1\mathcal{R}_{\text{Д}}},\ \langle {}^1\Theta(K)\rangle_{K\in {}^1\mathcal{R}_{\text{И}}},\ \langle {}^1H_K\rangle_{K\in {}^1\mathcal{R}_{\text{Д}}}\rangle.$$

Другому рівню моделі будемо співставляти дільницю виробництва ^2i, $i\in {}^2I$. Аналогічно визначимо інші компоненти другого рівня, співставляючи їм індекс 2, а також задамо на ньому наступні величини: вектор виробничих завдань ^1th; вектор виконання (продукції) ^2D, що складається з компонент ^1D_i, ^1D_K; витрати на виконання ^1th – $^1C^0$, – та отриманий в результаті доход $^1C^1$; $^2\Theta(^1th)$ – капітал дільниці (входить до $^1C^0$); $^2H_{^1\tilde{I}}(^1\tilde{s})$ – фонд матеріального заохочення, $^1\tilde{I} = {}^1I\cup(^1i)$. Таким чином, елемент другого рівня будемо ототожнювати з сукупністю

$$^2\Gamma_0 = \langle {}^2i,\ {}^2U_i,\ {}^2S_i,\ {}^1C^0,\ {}^1C^1,\ {}^1th,\ {}^2\Theta(^1th),\ {}^2H_{^1\tilde{I}}(^1\tilde{s}),\ {}^2T_s\rangle, \qquad (1)$$

та дільницю – з сукупністю

$$^2\Gamma_1 = \langle {}^1\Gamma,\ {}^2\Gamma_0\rangle.$$

В (1) введемо функції інтересів гравців $\langle {}^P\tilde{L}_i\rangle_{i\in {}^PI}$ та функції виконання завдань:

$$\tilde{P}(^1th) = \sum^{k_0} {}^P\gamma_k^{th} P(^1th_k),\ \sum^{k_0} {}^P\gamma_k^{th} = 1,\ 0\le {}^P\gamma_k^{th}\le 1, \qquad (2)$$

де $P(^1th_k)$ – предикат виконання. Сукупність

$$^2\Gamma = \langle {}^2\Gamma,\ \langle {}^P\tilde{L}_i\rangle_{i\in {}^PI},\ \tilde{P}(^1th),\ p=1,2\rangle \qquad (3)$$

будемо називати дескриптивною моделлю виробничої діяльності дільниці. Модель ${}^{2}\Gamma$ можемо розглядати як ступінчасту на $[t_0, T]$ і позначати її через ${}^{2}\Gamma(t)$.

По аналогії з (3) можемо ввести модель ${}^{p}\Gamma(t)$:

$$
\begin{cases}
\text{рівень } p: \\
{}^{p}\Gamma(t) = \langle {}^{p}I,\ {}^{p}F,\ {}^{p}\tilde{P}(th),\ {}^{p}C^{0},\ {}^{p}C^{1},\ {}^{p}S_{1}, \\
\quad {}^{p}\tilde{L}_{1},\ {}^{p}G(th),\ {}^{p}H_{p-1}\ ({}^{p}\tilde{S}),\ [t_0, T],\quad p=2,4\rangle, \\
\text{рівень } p-1: \\
\begin{cases}
{}^{p}F(t) = \langle {}^{p-1}\Gamma_{1}(t), \dots, {}^{p-1}\Gamma_{n_{p-1}}(t)\rangle,\ n_{p-1} \le |{}^{p-1}I(t)|, \\
{}^{p-1}\Gamma(t) = \langle {}^{p-1}I(t),\ ({}^{p-1}S_{i})_{i\in {}^{p-1}I(t)},\ {}^{p-1}\mathfrak{R}_{И}(t), \\
\quad {}^{p-1}\mathfrak{R}_{Д}(t),\ {}^{p-1}R_{И} \cup {}^{p-1}R_{Д},\ ({}^{p-1}\tilde{L}_{i})_{i\in {}^{p-1}I(t)}, \\
\quad ({}^{p-1}G(K))_{K\in {}^{p-1}\mathfrak{R}_{Д}(t)},\ ({}^{p-1}H_{K})_{K\in {}^{p-1}\mathfrak{R}_{Д}(t)}\rangle.
\end{cases}
\end{cases}
\tag{4}
$$

Разом з ${}^{p}th$, ${}^{p}D$ будемо розглядати величину вартісної оцінки ${}^{p}\tilde{G}$ виконання заказу ${}^{p}th$. Виділимо наступні основні складові витрат ${}^{p}\tilde{G}$ – вектори необхідних природних ресурсів ${}^{p}Res$, обладнання ${}^{p}Eq$, робочої сили ${}^{p}I = \bigcup_{p} {}^{p}\tilde{I}$. Через ${}^{p}Pm = {}^{p}C^{0}$ будемо позначати сумарні витрати і через ${}^{p}Tm$ – термін виконання заказу ${}^{p}th$. Тим самим, будемо виходити з вектора

$$ {}^{p}Th = \langle {}^{p}th,\ {}^{p}Res,\ {}^{p}Eq,\ {}^{p}\tilde{I},\ {}^{p}Pm,\ {}^{p}Tm\rangle. \tag{5} $$

Вважається, що ${}^{p}Res$ вказує на всі природні ресурси, кожний з котрих має і вартісний вираз ${}^{p}Cr$. Обладнання ${}^{p}Eq$ будемо задавати величиною ${}^{p}G(I) = \sum_{K\in {}^{p}\mathfrak{R}_{И}} {}^{p}G(K)$. Нехай

$$ {}^{p}G(\tilde{I}) = \sum_{l\le p} {}^{l}G(I),\qquad {}^{p}H(\tilde{I}) = \sum_{l\le p} {}^{l}H(I), \tag{6} $$

тоді різниця

$$ {}^{p}Rt = {}^{p}\tilde{G} - {}^{p}Pm,\ {}^{p}Pm = {}^{p}CR + {}^{p}G(\tilde{I}) + {}^{p}H(\tilde{I}), \tag{7} $$

${}^{p}Rt = {}^{p}C^{1}$, вказує прямий доход гравця рівня p від заказу ${}^{p}th$, і, якщо ${}^{p}th$ – вектор попиту, то – очікуваний доход. Величини (6) будемо вважати постійними на інтервалах $[t_{k'}, t_{k+1})$ розбиття відрізку $[t_0, T]$, прирівняємо T і Tm по всіх рівнях моделі та визначимо динамічну ступінчасту модель, де вибір стратегій гравців будемо співставляти кожному $t \in [t_{k'}, t_{k+1})$.

Сукупність виразів (1) - (7) з співвідношеннями для обчислення заборгованостей і амортизації будемо називати дескриптивною моделлю виробничої діяльності підприємства Q і позначати ${}^4\Gamma_\Pi(Q, t)$ та задачу її оптимізації - $Z_0({}^4\Gamma_\Pi(Q,t))$:

1. ${}^PRt_T \longrightarrow max$;
2. ${}^PRt_t \geq 0$ при всіх $t \in [t_0, T]$;
3. ${}^P\tilde{P}({}^Pth)=1$ (якщо th^P - вектор попиту, то ${}^P\tilde{P}({}^Pth)) \longrightarrow max$);
4. Величини пп. 1 - 3 зв'язані моделлю (1) - (7).

Функція ${}^P\tilde{P}({}^Pth)$ задана аналогічно (2). Можемо утворити набір

$$ {}^{p+1}F(t) = \langle {}^P\Gamma^n_\Pi(Q, t),\ n = \overline{1, n_p} \rangle. $$

Модель динаміки населення. Населення IP в момент часу t описується матрицею IP(t) з елементами, що вказують його чисельність в m-тій кваліфікаційній та l-тій віковій групі. Динаміка відображається: 1) народжуваністю IB(t); 2) рухом по віковій шкалі $IMT_{m,l}(t)$; 3) міграцією $IMR_{m,l}(t)$; 4) смертністю ID(t); 5) зміною трудових занять $IKR_{m,l}(t)$. Перелічені величини визначаються:

$$ 1)\ IB(t) = \sum_m \sum_l SB_{m,l}(t) = \sum_m \sum_l BT_l(t) IP_{m,l}(t), \tag{8} $$

де $SB_{m,l}(t)$ - темп народжуваності в m-l-тій фертильній групі, $BT_l(t)$ - вектор коефіцієнтів народжуваності;

$$ 2)\ IMT_{m,l}(t) = IP_{m,l}(t)/PR_l, \tag{9} $$

де PR_l - вектор вікових відмін в l-тій групі;

$$ 3)\ IMR_{m,l}(t) = IM_{m,l}(t) - DM_{m,l}(t), \tag{10} $$

де IM і DM - відповідно населення, що прибуває та вибуває,

$$ IM_{m,l}(t) = IP_{m,l}(t) IMN_{m,l}(t), \tag{11} $$

де $IMN_{m,l}(t)$ — коефіцієнти притоку населення в групу $IP_{m,l}(t)$. Аналогічно $IM_{m,l}(t)$ будемо задавати $DM_{m,l}(t)$. З (10)-(11) маємо.

$$IMR_{m,l}(t) = IP_{m,l}(t)(IMN_{m,l}(t) - DMN_{m,l}(t)). \qquad (12)$$

4). Аналогічно (8) задамо

$$ID(t) = \sum_m \sum_l SD_{m,l}(t) = \sum_m \sum_l DT_l(t) IP_{m,l}(t), \qquad (13)$$

де $SD_{m,l}(t)$ та $DT_{m,l}(t)$ — відповідно темп і вектор коефіцієнтів смертності в віково-кваліфікаційних групах. З (8), (13) визначимо

$$IB_{m,l}(t_k) = BT_l(t_k) IP_{m,l}(t_k),\ ID_{m,l}(t_k) = DT_l(t_k) IP_{m,l}(t_k), \qquad (14)$$

співсталяючи їх початку року t_k, а також динаміку:

руху по віковій шкалі

$$IMT_{m,l}(t_k) = IP_{m,l-1,l}(t_k) - IP_{m,l,l+1}(t_k), \qquad (15)$$

де в правій частині — відповідно кількість осіб, що перейшли з групи l-1 в групу $IP_{m,l}(t_k)$ та вийшли з останньої в l+1;

5) зміни віково-кваліфікаційних груп

$$IKR_{m,l}(t_k) = \sum_{i \neq m} (IP^{+}_{m,l,i}(t_k) - IP^{-}_{m,l,i}(t_k)), \qquad (16)$$

де $IP^{+}_{m,l,i}(t_k)$ та $IP^{-}_{m,l,i}(t_k)$ — відповідно кількість осіб, що прийшли та вийшли в $IP_{m,l}(t_k)$ з групи $IP_{i,l}(t_k)$. З (12) одержуємо, що в момент t_{k+1} групу характеризує співвідношення

$$\begin{aligned} IP_{m,l}(t_{k+1}) &= IP_{m,l}(t_k) + IMR_{m,l}(t_k) + IMT_{m,l}(t_{k+1}) + \\ &+ IKR_{m,l}(t_{k+1}) - ID_{m,l}(t_{k+1}) = IP_{m,l}(t_k) + CI_{m,l}(t_{k+1}). \end{aligned} \qquad (17)$$

Звідси, для періоду в k_0 років маємо

$$IP_{m,l}(t_{k+1}) = IP_{m,l}(t_k) + \sum CI_{m,l}(t_{k+j}). \qquad (18)$$

Будемо вважати, що в початковий момент часу t_0

$$IP_{m,l}(t_0) = IP_{m,l,0} = \text{const}, \qquad (19)$$

та населення в початкових вікових групах задано співвідношенням

$$\begin{aligned} IP_{m,1}(t_{k+1}) &= IP_{m,1}(t_k) + IB_{m,1}(t_{k+1}) + \\ &+ IMR_{m,1}(t_{k+1}) - ID_{m,1}(t_{k+1}) - IP_{m,1,2}(t_{k+1}) = \\ &= IP_{m,1}(t_k) + IMT_{1,1}(t_{k+1}) + IMR_{m,1}(t_{k+1}) - ID_{m,1}(t_{k+1}). \end{aligned} \qquad (20)$$

Визначимо $CI_{m,1}(t_k)$ як випадклву величину (в. в.), і за

(18) - (20) одержимо визначення і для $IP_{m,l}(t_k)$. Нехай $C\varkappa_k^{m,l}$ - міра на $\mathfrak{A}_k^{m,l}$ та $CJ(t_k)^{m,l}$ - ймовірнісний простір $(Y,\mathfrak{A},C\varkappa)(t_k)^{m,l}$. Взявши $CI_{m,l}(t_k)$ як функцію на $\mathfrak{A}_k^{m,l}$, маємо, що вона є в. в., що задається $C\varkappa(y_k^{m,l})=P(CI_{m,l}(t_k)=y_k^{m,l})$. В момент t_0 маємо (19), в момент $t+\tau$ покладемо $IP_{m,l}(t_1) = IP_{m,l,0} + M(CI_{m,l}(t_1)/IP_{m,l,0})$, де M - символ умовного математичного сподівання, взятого при умові $IP_{m,l}(t_0) = IP_{m,l,0}$. Індукцією по k замість (17) одержимо

$$IP_{m,l}(t_{k+1}) = IP_{m,l,0}+\sum_{j=1}^{k} M(CI_{m,l}(t_{j+1})/IP_{m,l}(t_j)=y_j^{m,l}), \quad (21)$$

причому вважаємо, що CI та IP кусково постійні на $[t_k, t_{k+1})$.

Нехай $IP_{m,l,0} = M(CI_{m,l}(t_0)/IP_{m,l}(t_{-1}))$, замість (21) маємо $IP_{m,l}(t_{k+1})=\sum_{j=-1}^{k} M(CI_{m,l}(t_{j+1})/IP_{m,l}(t_j))$. За властивістю математичного сподівання можемо записати $IP_{m,l}(t_{k+1}) = \sum_{j=-1}^{k} M(CI_{m,l}(t_{j+1})/\mathfrak{A}_j^{m,l})$, $\mathfrak{A}_j^{m,l}$ - відповідні t_j σ-алгебри. Нехай

$$IP(t_k)= \sum_{m,l} IP_{m,l}(t_k) \quad (22)$$

- в. в., $CJ(t_k)$ - породжений ймовірнісний простір і $IP(t)$, $CJ(t)$ - відповідні за (22) випадковий процес та простір. $CJ(t)$ будемо ототожнювати з множиною гравців, $IP(t)$ - з його потужністю.

Стратегію $s\in S_{cj}$ гравця cj ототожнимо з варіантами задовільнення інтересів u_{cj}. Нехай ${}^{p+1}D(t)$ - відповідаючий ${}^{p+1}F(t)$ вектор продукції, послуг, і ${}^{p+1}CD(t)$ - його частка, що спрямована на реалізацію інтересів CU_{cj} з $CJ(t)$. Співставимо ${}^{p+1}CD(t)$ вектор індивідуальних інтересів. Нехай $\tilde{u}_{C\mathfrak{R}(t)}$ - вектор інтересів всього населення для всіх $CK\in C\mathfrak{R}_{И}(t)$. Вектору $\tilde{u}_{C\mathfrak{R}_{И}(t)}$ будем співставляти функції (2), де $\tilde{u}_{C\mathfrak{R}_{И}(t)} = th(t)$, $CP(\tilde{u}_{C\mathfrak{R}_{И}(t)}) = \tilde{F}(th(t))$. Нехай $cu_{C\mathfrak{R}_{И}(t)}$ - вектор задовільнення попиту $\tilde{u}_{C\mathfrak{R}(t)}$ продукцією ${}^{p+1}CD(t)$, $CP(cu_{C\mathfrak{R}_{И}(t)})$ - функція виду (2).

$$DP(\langle\tilde{u}, cu\rangle_{C\mathcal{R}_И(t)}) = CP(\tilde{u}_{C\mathcal{R}_И(t)}) - CP(cu_{C\mathcal{R}_И(t)}), \quad (23)$$

та $C\mathcal{R}_Д(t)$ – комплекс коаліцій дій гравців cj. Можемо співставити довжині кількість підмоделей ${}^{p+1}F(t)$ і ввести відповідність

$${}^{p+1}D(t)({}^{p+1}CD(t)) \leftrightarrow \tilde{u}_{C\mathcal{R}_И(t)}(cu_{C\mathcal{R}_И(t)}) \leftrightarrow cs, \quad (24)$$

де $cs \in CS$ – ситуація. Стратегія гравця полягає у виборі системи n для реалізації інтересу n, що відображається входженням до $CK \in C\mathcal{R}_Д(t)$. Об'єднання m-і-груп ототожнимо з $C\mathcal{R}_Д(t)$.

Нехай cs_t та $c\eta_t$ – відповідно вектори коаліційних стратегій і мір на $CK \in C\mathcal{R}(t)$. Поклавши, що $C\eta_t$ – согласоване продовження $c\eta_t$, визначимо ймовірнісний простір ситуацій cs_t – CS_t. Аналогічно визначимо функції інтересів $\tilde{u}_{CK}$ коаліцій $CK \in C\mathcal{R}(t)$:

$$L_{CK}(\tilde{u}_{CK}(cs_t)) = \sum_{m=1}^{m_0} \gamma^m_{CK} R(\tilde{u}^m_{CK}(cs_t)), \quad (25)$$

$0 \le \gamma_{CK} \le 1$, $\sum_{m=1}^{m_0} \gamma^m_{CK} = 1$, де R та $\tilde{u}_{CK}$ є функції в. в. Нехай $CU^m_{CK}(t)$, $CU^m_{CK}(t)$ – ймовірнісні простори, породжені в. в. $\tilde{u}_{CK}$, $\tilde{u}_{CK}$ з мірами $c\nu_{CK}(t)$, $c\nu_{CK}(t)$, та $CU(t)$, $c\nu(t)$ відповідають $\tilde{u}_{C\mathcal{R}}$; $c\nu_t$ – согласоване продовження $c\nu_{CK}(t)$. Функція $R(\tilde{u}^m_{CK}(cs_t))$ може бути взятою як математичне сподівання події "$P(\tilde{u}^m_{CK}(cs_t)) = 1$":

$$R(\tilde{u}^m_{CK}(cs_t)) = \sum_{h=1}^{h_m} \sum_{g=1}^{g_m} P_{hg}(\tilde{u}^m_{CK}) c\nu^g_t C\eta^h_t =$$

$$= \sum_{h=1}^{h_m} \sum_{g=1}^{g_m} P_{hg}(\tilde{u}^m_{CK}) c\nu^g_{CK}(t) c\eta^h_{CK}(t), \quad (26)$$

де $C\eta^g_t$, $c\nu^h_t$ – ймовірності появи h-тої стратегії та задовільнення нею інтересів коаліції CK при g-тій ситуації. $C\eta_t$ і $c\nu_t$ незалежні. З урахуванням (25) – (26) маємо:

$$CL_{CK}(\tilde{u}_{CK}(cs_t)) = \sum_{k=1}^{m_0} \sum_{h=1}^{h_0} \sum_{g=1}^{g_0} \gamma^m_{CK} P_{hg}(\tilde{u}^m_{CK}) c\nu^g_t C\eta^h_t,$$

$$0 \le \gamma_{CK} \le 1, \; \sum_{m=1}^{m_0} \gamma^m_{CK} = 1, \quad (27)$$

Сукупність (гру)

$$\Gamma_p(t) = \langle CJ(t),\ CU_{CR(t)},\ CS(t),\ \{CL_{CK}\}_{CK\in CR(t)},\ [t_0,\ T]\rangle, \qquad (28)$$

при співвідношеннях (12), (14)-(16), (20)-(21) будемо називати дескриптивною моделлю динаміки населення.

Модель динаміки природних ресурсів. Кожній з компонент біогеоценозу будемо співставляти фіктивного гравця $ir\in IR$. Нехай $DR(t)\subset IR$ – підмножина гравців, що забруднюють біогеоценоз, RS_0 = $RS(t_0)$ – його початковий стан. Будемо припускати, що при кожному $t\in[t_k,\ t_{k+1})$ заданий вектор $^{p+1}Res(t)$ ресурсів, що вибираються, і, відповідно, вектор залишившихся в біогеоценозі ресурсів $RF(t)$ і вектор $RF(t_0) = RF_0$. Покладемо, що для цих векторів виконано

$$RF(t_k) = RF_0 - \sum_{j\le k} {}^{p+1}Res(t_j), \qquad (29)$$

і (29) кусково постійна. Через $^{p+1}RD(t)$, будемо позначати підвектор $^{p+1}D(t)$, що включає забруднюючі компоненти, $^{p+1}RD(t_0)$ = $^{p+1}RD_0$ – його початковий стан, $^{p+1}RD(t)$ – кусково постійна і

$$^{p+1}RD(t_k) = {}^{p+1}RD_0 + \sum_{j\le k} {}^{p+1}RD(t_j). \qquad (30)$$

Будемо вважати, що $RF(t)$ породжується $IR\setminus DR$ та розділяти IR на руйнуючих та відтворюючих гравців і розглядати реакцію природи на дії $^{p+1}F(t)$, що виражаються $^{p+1}D(t)$, $^{p+1}Res(t)$. Через $RS_{ir}(t)$ будемо позначати множину стратегій ir і вважати її постійною на кожному з $[t_k,\ t_{k+1})$. Разом з детермінованими будемо розглядати ймовірнісні простори $SR_{ir}(t)=(RS,\wp S,R\theta)_{ir}(t)$ для $ir\in JR(t)\subset IR(t)$. Вираз для стратегій з $RS_{ir}(t)$ і $SR_{ir}(t)$ можна отримати на системах випадкових переходів, покладемо, що $RS(t)$ і $R\theta(t)$ – відповідні ймовірнісний простір й міра. Нехай $R\mathfrak{R}_И(t) = R\mathfrak{R}_Д(t)$ = $= R\mathfrak{R}(t)$ – постійні на $[t_k,\ t_{k+1})$ комплекси коаліцій інтересів і дій, $H_{RK}(R\theta_t)$ – виграш коаліції RK в ситуації $R\theta_t$, причому

$$H_{RK}(R\theta_t) = \sum_{RK\in R\mathfrak{R}(t)} H_{RK}(RS_t)R\theta_t(RS_t), \qquad (31)$$

та $ir\in RK$ розподіляють між собою $H_{RK}(R\theta_t)$ на основі співвідношень

$$H_{ir} = H_{ir}(H_{RK}),\ RS_t \in RS(t). \qquad (32)$$

Перетворимо (29) з урахуванням (31) – (32)

$$RF(t_k) = RF(t_0) - \sum_{j\le k} {}^{p+1}Res(t_j) + \sum_{j\le k} {}^{p+1}Re(t_j) = \qquad (33)$$
$$= RF(t_k) - {}^{p+1}Res(t_k) + Re(t_k),$$

де $Re(t_k)$ – вектор (само) відтворення/руйнування. З (32) –

$$RF_{ir}(t_{k+1}) = RF_{ir}(t_k) + H_{ir}(R\theta_{t_k})\alpha_{ir}, \qquad (34)$$

Функція H_{ir} виражає величину самовідтворення/саморуйнування ir, α_{ir} – коефіцієнт його грошової і натуральної оцінки. Для гравців з $DR(t)$ вона буде виражати самостійне руйнування забруднювачів. Як (33), (34) перетворимо й (30):

$${}^{p+1}RD(t_{k+1}) = {}^{p+1}RD(t_0) + \sum_{j\le k} {}^{p+1}RD(t_j) - \sum_{j\le k} ED(t_j) =$$
$$= {}^{p+1}RD(t_k) - ED(t_k), \qquad (35)$$
$${}^{p+1}RD_{ir}(t_{k+1}) = {}^{p+1}RD_{ir}(t_k) + DH_{ir}(R\theta_{t_k})\beta_{ir},$$

де $ED(t_k)$ – вектор самовільного руйнування забруднювачів, β_{ir} – коефіцієнт для ir. Об'єднаємо (34) – (35):

$${}^{p+1}DF_{ir}(t_k) = RF_{ir}(t_k) - {}^{p+1}RD_{ir}(t_k), \qquad (36)$$
$${}^{p+1}DF_{ir}(t_{k+1}) = {}^{p+1}DF_{ir}(t_k) + H_{ir}(R\theta_{t_k})\alpha_{ir} - DH_{ir}(R\theta_{t_k})\beta_{ir},$$

DF можна трактувати як наслідки забруднення ir.

Сукупність (гру)

$$\Gamma_R(t) = \langle IR, DR(t), R\Re(t), RS(t), R\theta(t), (H_{RK})_{RK\in R\Re(t)}, [t_0, T]\rangle, \qquad (37)$$

що задовольняє (31) – (36), будемо називати дескриптивною моделлю динаміки природних ресурсів. Задачу оптимізації (37) $Z_0(\Gamma_R(t))$ будемо розглядати як задачу вирішення гри.

Модель еколого-економічної системи. Нехай ${}^{p+1}\tilde{F}(t) = \langle {}^{p+1}F(t), \Gamma_p(t), \Gamma_R(t)\rangle$. Компонентам ${}^{p+1}\tilde{F}(t)$ будемо співставляти фіктивних гравців ${}^{p+1}I$, ${}^{p+1}II$, ${}^{p+1}III$, вважаючи, що вони представляють інтереси відповідних підсистем. Їх стан в момент t буде виражатися набором

$$MS(t) = \langle {}^{p+1}Th(t),\ {}^{p+1}Rt(t),\ CJ(t),\ CS(t),$$

$$CH(t),\ IR,\ DR(t),\ R\theta(t),\ {}^{p+1}DF(t) \rangle,$$

що ототожнюється з ситуацією. Величини ${}^{p+1}Rt(t)$, $CH(t)$, ${}^{p+1}DF(t)$ можемо ототожнити з функціями виграшу ${}^{p+1}I$, ${}^{p+1}II$, ${}^{p+1}III$. Гру

$$\Gamma R(t) = \langle {}^{p+1}I,\ {}^{p+1}II,\ {}^{p+1}III,\ MS(t),$$

$$\Re R(t),\ {}^{p+1}Rt(t),\ CH(t),\ {}^{p+1}DF(t),\ [t_0, T]\rangle, \tag{38}$$

будемо називати $(p+1)$-рівневою дескриптивною моделлю еколого-економічної системи ($\Re R(t)$ – комплекс коаліцій). Оптимізація (38) включає вирішення задачі $Z_0(\Gamma R(t))$ вирішення гри. Процес управління системою (38) можемо співставити гравцю ${}^{p+2}I$ і його аналізу – загальну задачу оптимізації $\tilde{Z}_0$ $(p+2)$-рівневої системи

$$\Gamma\Gamma(t) = \langle {}^{p+2}I,\ {}^{p+2}S,\ {}^{p+2}H,\ \Gamma R(t) \rangle, \tag{39}$$

де ${}^{p+2}S$ – стратегії ${}^{p+2}I$ по управлінню ${}^{p+1}\tilde{F}(t)$, ${}^{p+2}H$ – функція виграшу ${}^{p+2}I$, що виражає оцінку наслідків прийнятих стратегій.

Досліджується модель пасажирських перевезень. Побудовані моделі переміщень пасажирів, аналізу пасажиропотоків, виділені критерії оцінки перевезень з боку пасажирів, транспортних підприємств, організацій, що контролюють перевезення. На основі них введена дескриптивна модель пасажирських перевезень.

У другій главі вводяться та досліджуються багаторівневі коаліційні ігри. Розглядаються два найбільш загальних випадка коаліційних ігор. Вони мають рішення для: коаліційної гри –

$$\Gamma_K = \langle I,\ \Re,\ \langle S_i\rangle_{i\in I},\ \tilde{\Re},\ \langle H_K\rangle_{K\in\tilde{\Re}} \rangle, \tag{40}$$

де $\tilde{\Re}$ – деякий набір коаліцій з $\Re = \Re_И = \Re_Д$ та $\bigcup_{K\in\tilde{\Re}} K = I$;

кооперативної гри –

$$\Gamma_C = \langle \Re_И,\ \langle \Theta(K)\rangle_{K\in\Re_И} \rangle, \tag{41}$$

де $\langle\Theta(K)\rangle$ – функції підмножин на $\Re_И$, що виражають виграші.

Виходячи з (40) - (41) введемо гру

$$\Gamma = \langle \Gamma_K, \Gamma_C \rangle \qquad (42)$$

з функціями виграшу $\tilde{H}(K,\tilde{s}) = H_K(\tilde{s}) + G(K)$, де Γ_K будемо називати стратегічною, а Γ_C - кооперативною складовою.

<u>Лема 1.</u> Ігри, що задаються коаліційною структурою гри Γ_K, з функціями виграшу $\langle H_K \rangle_{K \in \tilde{\mathfrak{R}}}$ та $\langle \tilde{H}(K,\cdot) \rangle_{K \in \tilde{\mathfrak{R}}}$ афінно еквівалентні.

<u>Наслідок 1.</u> Гра (42) має $\tilde{\varphi}$-оптимальне рішення, $\tilde{\varphi} = (\varphi_C, \varphi_K)$, де φ_C - визначає значення (вектор Шеплі) гри (41), φ_K - відображення, що надає φ^*-стійкі ситуації гри (40) та належить $\varphi_C(\langle G(K) \rangle_{K \in \mathfrak{R}_И}) \times \varphi_K \Gamma_K$, де $\varphi_K \Gamma_K$ - множина φ_K-стійких ситуацій.

<u>Визначення 1.</u> Сукупність (43) будемо називати багаторівневою коаліційною грою в загальній формі.

Введені співвідношення між функціями виграшу в ${}^{p+1}\Gamma$ і ${}^{p}F$ та правила, при котрих досліджується гра (43).

$$\begin{cases} \text{рівень } p: \\ {}^{p}\Gamma = \langle {}^{p}I,\ {}^{p}F,\ {}^{p}S_i,\ {}^{p}G(i),\ {}^{p}H_i({}^{p}\tilde{s}),\ \overline{p=1,p_0} \rangle, \\ \text{рівень } p-1: \\ \begin{cases} {}^{p}F = \langle {}^{p-1}\Gamma_1, \dots, {}^{p-1}\Gamma_{n_{p-1}} \rangle,\ n_{p-1} \le |{}^{p-1}I|, \\ {}^{p-1}\Gamma = \langle {}^{p-1}I,\ \langle {}^{p-1}S_i \rangle_{i \in {}^{p-1}I},\ {}^{p-1}\mathfrak{R}_И,\ {}^{p-1}\mathfrak{R}_Д, \\ {}^{p-1}\tilde{S},\ \langle {}^{p-1}G(K) \rangle_{K \in {}^{p-1}\mathfrak{R}_И},\ \langle {}^{p-1}H_K \rangle_{K \in {}^{p-1}\tilde{\mathfrak{R}}},\ \overline{p=1,p_0-1} \rangle. \end{cases} \end{cases} \qquad (43)$$

Після розиграшу обох складових гри коаліція ${}^{p}K_j$ має виграш

$${}^{p}\tilde{H}({}^{p}K_j, {}^{p}\tilde{s}) = {}^{p}H_{K_j}(\tilde{s}) + {}^{p}G(K_j),$$

$${}^{p}G(K_j) = {}^{p}G'({}^{p}K_j) - {}^{p}G^{p-1}({}^{p}K_j) - {}^{p}G^{p+1}({}^{p}K_j), \qquad (44)$$

$${}^{p}G^{p-1}({}^{p}K_j) = \sum_{i \in {}^{p}K_j} {}^{p}G^{p-1}({}^{p}i),\quad {}^{p}K_j \subset {}^{p}\tilde{K}_j,$$

де відповідно ${}^{p}G^{p-1}({}^{p}i)$ та ${}^{p}G^{p+1}({}^{p}K_j)$ - виплати гравцем ${}^{p}i$ агентам рівня p-1 та коаліцією ${}^{p}K_j$ - представнику рівня p+1.

Теорема 1. Гра (43) має $\tilde{\varphi}$-оптимальне рішення.

Нехай ${}^{P}U_{I}$ – множина інтересів гравців рівня p, створена як об'єднання векторів ${}^{P}\bar{u}_{i}$ індивідуальних інтересів ${}^{P}u_{i}$. Можна покласти, що $|{}^{P}\bar{u}_{i}| = m_{P_{i}} \le m_{P_{I}}$ та рівню p співставлена матриця ${}^{P}\hat{U}_{I}$ інтересів гравців. Для порівняння ${}^{P}u_{i}$ співставимо ${}^{P}\hat{U}_{I}$ матрицю предикатів ${}^{P}P({}^{P}\hat{U}_{I})$ та матрицю переваг ${}^{P}\gamma_{i}$. Введемо функції корисності гравців:

$$ {}^{P}L_{i}({}^{P}\bar{u}_{i}) = \sum_{m=1}^{m_{P_i}} \gamma_{i}^{m} P({}^{P}\bar{u}_{i}),\ 0 \le \gamma_{i}^{m} \le 1,\ \sum_{m=1}^{m_{P_i}} \gamma_{i}^{m} = 1. \qquad (45)$$

Можемо прийняти, що множина стратегій гравців P_i є множина векторів передстратегій, що вибираються з множини PS_i та $s_i \in S_i$ є $s_i = (ps_i^{\beta})_{\beta \in \tilde{\beta}_i}$, де $\tilde{\beta}_i$ – множина індексів. Реалізувати свої інтереси гравці можуть тільки в межах коаліційних дій. Коаліції $K \in {}^{P}\mathfrak{R}_{И}$ співставимо функцію

$$ {}^{P}L_{K}({}^{P}u_{K}) = \sum_{i \in {}^{P}K} {}^{P}L_{i}({}^{P}\bar{u}_{i}). \qquad (46)$$

Визначимо функції $v_{L_K}({}^{P}u_{K}) = \max\limits_{P_K} \min\limits_{\tilde{K} \in {}^{P}\mathfrak{R}_{И},\ \tilde{K} \cap K = \emptyset} {}^{P}L_{K}({}^{P}u_{K})$,

відносно яких можемо задати кооперативну гру

$$ \Gamma_{U} = \langle {}^{P}\mathfrak{R}_{И},\ {}^{P}U_{\mathfrak{R}_{И}},\ ({}^{P}v_{L_K})_{K \in {}^{P}\mathfrak{R}_{И}} \rangle. \qquad (47)$$

Теорема 2. Гра (47) має єдине значення.

У грі (43) "наслідки" вимірювалися величинами ${}^{P}\sigma^{p-1}(P_i)$ і ${}^{P}\sigma^{p+1}({}^{P}K_{j})$. Надалі це робиться через $({}^{P}L_{K})_{K \in {}^{P}\mathfrak{R}_{И}}$. Маємо гру $\tilde{\Gamma}_{U}$ відносно функцій (46) і функції ${}^{p+1}L_{j}$. З теорем 1 та 2 витікає існування відображення φ_{LU}, що є її значенням.

$$ \tilde{\Gamma}_{U} = \langle \{{}^{p+1}j\} \cup {}^{P}\mathfrak{R}_{И},\ {}^{p+1}U_{j} \cup {}^{P}U_{\mathfrak{R}_{И}},\ ({}^{P}v_{L_K})_{K \in \{{}^{p+1}j\} \cup {}^{P}\mathfrak{R}_{И}} \rangle. $$

Визначення 2. Гру

$$^{p}\tilde{\Gamma} = \langle {}^{2}\Gamma_L, \Gamma_C, \Gamma_S, \tilde{\Gamma}_U, p=\overline{1,p_0}\rangle = \langle \Gamma_L, \Gamma_C, \Gamma_S, \tilde{\Gamma}_U, p=\overline{1,p_0}\rangle, \quad (48)$$

будемо називати розширеною багаторівневою коаліційною грою в загальній формі.

<u>Теорема 3.</u> Гра (48) при умовах теорем 1 - 2 має Φ-оптимальне рішення, де $\Phi = (\tilde{\varphi}, \varphi_{LU}) = (\varphi_{LC}, \varphi_S, \varphi_{LU})$.

Будемо вважати, что задана діюча на $[t_0, T]$ система Θ та допускати, що співставлені її елементам гравці можуть використовувати дії: 1) детерміновані; 2) випадкові; 3) випадкові дії (реакція).

1). Детермінованим діям гравців будемо співставляти вимірні простори допустимих управлінь $(Y, \mathcal{Y})$.

2). Нехай $(E, \mathcal{E})$ - вимірний простір станів системи Θ та y_t, $t\in[t_0, T]$, - функція з $Y^{[t_0, T]}$, простору функцій, визначених на $[t_0, T]$, $\mathcal{Y}^{[t_0, T]}$ - мінімальна σ-алгебра, що содержить всі циліндричні множини з $Y^{[t_0, T]}$. Вирішуюча функція ν_t - сімейство ймовірнісних мір $\nu_t(A|x_0^t, y_0^{t-0})$, визначених при $A\in\mathcal{Y}$, $x_0^t\in E^{[t_0, T]}$, $y_0^{t-0}\in Y^{[t_0, T]}$, котрі задовольняють умові: для всіх t та $A\in\mathcal{Y}$ $\nu_t(A|\cdot,\cdot)$ $\in$ $\mathcal{E}_t\times\mathcal{Y}_{t-0}$-вимірною функцією (x_0^t, y_0^{t-0}), де $\mathcal{E}_t$ - σ-алгебра, породжена циліндричними множинами над $[t_0, T]$. Сімейство таких мір ототожнюється з випадковими діями типу 2).

Сімейство вирішуючих функцій $\nu = (\nu_t, t \in [t_0, T])$ будемо співставляти передстратегіям $i\in I$ і позначати ν_t^i. Нехай $\mathcal{E}_t^{i\text{д}}\times\mathcal{Y}_{t-0}^{i\text{д}}$ та $\mathcal{E}_t^{ic}\times\mathcal{Y}_{t-0}^{ic}$ - мінімальні σ-алгебри, що відповідають добутку ν_t^i по детермінованим і випадковим передстратегіям та $\nu_t^{i\text{д}}$ і ν_t^{ic} - відповідаючі ним вектор-міри. Через $s\nu_t^i$ позначимо $(\nu_t^{i\text{д}}, \nu_t^{ic})$, котру й будемо називати простою чистою індивидуальною стратегією гравця i. Нехай $\mathcal{E}_t^i$, $\mathcal{Y}_{t-0}^i$ - мінімальні σ-алгебри, що містять $\mathcal{E}_t^{i\text{д}}\times\mathcal{E}_t^{ic}$, $\mathcal{Y}_{t-0}^{i\text{д}}\times\mathcal{Y}_{t-0}^{ic}$. Будемо вважати, що передстратегії стохастично незалежні та $s\nu_t^i$ $\mathcal{E}_t^i\times\mathcal{Y}_{t-0}^i$-вимірні. Через

$S\nu_t^i = \bigcup_{\nu_t^{iд} \in s\nu_t^i} s\nu_t^i$ будемо позначати множину стратегій гравця $i \in I$.

Визначимо ймовірнісну міру $\tilde{\nu}_t^{iд}$, що задана на множині вектор-функцій $(\nu_t^{iд})$, нехай $\tilde{\mathfrak{F}}_t^{iд}$, $\tilde{\mathcal{Y}}_{t-0}^{iд}$ – відповідаючі їм σ-алгебри. Вектор-міру $\theta_t^i = (\tilde{\nu}_t^{iд}, \nu_t^{ic})$, що задана на мінімальній σ-алгебрі $\tilde{\mathfrak{F}}_t^i \times \mathcal{Y}_{t-0}^i$, яка містить $\tilde{\mathfrak{F}}_t^{iд} \times \mathfrak{F}_t^{ic} \times \tilde{\mathcal{Y}}_{t-0}^{iд} \times \mathcal{Y}_{t-0}^{ic}$, будемо називати простою змішаною стратегією гравця i, котру будемо співставляти управлінням типу 1). Через $\tilde{E}_i$ та $\tilde{Y}_i$ будемо позначати відповідні основні множини. На основі θ_t^i можемо побудувати спільний розподіл на передстратегіях гравців i задати міру θ_t^{i*}, що визначена на $(SE_t^i, S\mathfrak{F}_t^i)$, $(SY_t^i, S\mathcal{Y}_{t-0}^i)$, – спільну змішану стратегію гравця i, $SE_t^i \subseteq \prod_{S\nu_t^i} E^{\nu_t^i}$, $SY_t^i \subseteq \prod_{\nu_t^i} Y^{\nu_t^i}$, де $E^{\nu_t^i}$, $Y^{\nu_t^i}$ – множини, що відповідають ν_t^i. Позначимо через $(SY_t, S\mathcal{Y}_{t-0})$ – вимірний простір множин стратегій гравців, де $SY_t = \prod_{i \in I} SY_i$ та $S\mathcal{Y}_{t-0}$ містить добуток $\prod_{i \in I} S\mathcal{Y}_{t-0}^i$. Нехай $(SE^{[t_0, T]}, S\mathfrak{F}_t)$ – простір, відповідаючий $(SY^{[t_0, T]}, S\mathcal{Y}_{t-0})$. Цю множину будемо називати множиною ситуацій і співставляти управлінням типу 3).

Керованим об'єктом будемо називати сімейство ймовірнісних мір $\mu_t(B|\tilde{x}_0^t, \tilde{y}_0^{t-0})$, визначених при $B \in S\mathfrak{F}_t$, $\tilde{x}_0^t \in B^{[t_0, T]}$, $\tilde{y}_0^{t-0} \in SY^{[t_0, T]}$, що задовольняє умові: для всіх $t \in [t_0, T]$, $B \in S\mathfrak{F}_t$ $\mu_t(B|\cdot,\cdot)$ є $S\mathcal{Y}_{t-0}$-вимірною функцією $y(\cdot)$. Маємо сукупність $\mathfrak{S} = (SY, SE, (\theta_t^{i*})_{i \in I}, \mu_t, t \in [t_0, T])$, котру будемо називати стохастичною керованою системою (з детерміновано-стохастичним управлінням). Використана процедура побудови керованого об'єкта μ_t по ступінчастому управлінню ν_t, що дозволяє однозначно визначити сумісний розподіл керованого процесу – системи $\mathfrak{S}$. За допомогою переносу сімейства випадкових переходів на систему $\mathfrak{S}$, де стратегії задані як вектори передстратегій, побудована гра.

Визначення 3. Сукупність

$$\Gamma_K^0(t) = \langle I, \mathfrak{K}, \tilde{\eta}_t, \tilde{\mathfrak{K}}, (H_K^*)_{K\in\tilde{\mathfrak{K}}} \rangle \qquad (49)$$

при фіксованому t будемо називати статичною коаліційною стохастичною грою, $\tilde{\eta}_t$ - сімейство уточнених ситуацій.

Теорема 4. Кожна регулярна гра (49) має φ_t^*-стійкі ситуації.

По грі (49) та функції $v_t(K) = \max\limits_{S\nu_t^K} \min\limits_{S\nu_t^{I\setminus K}} (H_K^*(\eta_t))$ на множинах коаліційних стратегій побудована статична кооперативна стохастична гра.

Визначення 4. Сукупність

$$\Gamma_C^0(t) = \langle I, \mathfrak{K}_N, \tilde{\eta}_t, v_t \rangle \qquad (50)$$

при фіксованому t будемо називати статичною кооперативною стохастичною грою.

Наслідок 2. Гра (50) має єдине значення.

Розглянуті динамічні коаліційні стохастичні ігри.

Визначення 5. Сукупність

$$\Gamma_K(t) = \langle I(t), \mathfrak{K}(t), \tilde{\eta}_t, \tilde{\mathfrak{K}}(t), (H_K^t)_{K\in\tilde{\mathfrak{K}}(t)}, \ t\in[t_0, T]\rangle.$$

будемо називати динамічною коаліційною стохастичною (ДКС- грою в загальній формі. Розглянуті інші її визначення.

Введена система аксіом, при котрій справедливий наступний

наслідок 3. Кожна регулярна при кожному $t \in [t_k, t_{k+1})$ ДКС-гра має φ_t^*-стійкі ситуації.

Визначені динамічна кооперативна стохастична гра

$$\Gamma_C(t) = \langle I(t), \mathfrak{K}(t), \tilde{\eta}_t, \tilde{\mathfrak{K}}(t), v_t^k, \ t \in [t_0, T]\rangle.$$

та її більш прості форми.

Нехай $(S\nu_t^I, \Sigma_t^{\mathfrak{K}})$ - узагальнений вимірний простір стратегій, $(SE_t^I, S\mathscr{E}_t^{\mathfrak{K}})$ - простір станів системи $\mathfrak{S}$. Можемо розглянути $(\Omega_t, \mathcal{F}_t)$, де $\Omega_t = S\nu_t^I \times SE_t^I$, $\mathcal{F}_t$ - σ-алгебра, що містить добуток $S\mathscr{E}_t^I$ σ-алгебр з

$\Sigma_t^{\mathfrak{A}}$. Маємо $\mathcal{F}_t=\langle\mathcal{F}_t\rangle$ - потік σ-алгебр і η_t та $\xi(t)$ - підпорядкені йому в. в. Нехай $n\longrightarrow\infty$, маємо послідовність $\langle\eta_{t_n}\rangle$, $\langle\xi_{t_n}\rangle$.

Теорема 5. Послідовність $\langle\eta_{t_n}\rangle$, і, відповідно, $\langle\xi_{t_n}\rangle$, $n\longrightarrow\infty$, утворює мартингал, якщо $M|\eta_{t_n}|<\infty$, $M|\xi_{t_n}|<\infty$.

Нехай $\mathcal{F}_\infty$ - мінімальна σ-алгебра, що містить $\mathcal{F}_t$ при $n\longrightarrow\infty$ і η_∞, ξ_∞ - деякі $\mathcal{F}_\infty$-вимірні в. в. Якщо $\sup M|\eta_{t_n}|<\infty$, $\sup M|\xi_{t_n}|<\infty$, то з ймовірністю 1 існують $\lim\limits_{n\longrightarrow\infty}\eta_{t_n}=\eta_\infty$, $\lim\limits_{n\longrightarrow\infty}\xi_{t_n}=\xi_\infty$, починаючи з деякого n_0, можемо знехтувати змінами η_{t_n}, ξ_{t_n}. Покладемо, $\eta_A=\eta_{t_{n_0}}$, $\xi_A=\xi_{t_{n_0}}$, і розглянемо відповідну гру $\Gamma_A(t)$.

Визначення 6. Гру $\Gamma_A(t)$ будемо називати грою з асимптотично неперервним часом.

Зупинимося на функціях виграшу для $\Gamma_A(t)$, маємо

$$H_K^T(\eta_T^*)=\sum_{\substack{t\in[t_k,\ t_{k+1})\\ k=\overline{1,n_0}}} H_K^t(\eta_t^*)=\sum_{k=1}^{n_0-1}\ \sum_{sy_t\in SY} H_K^k(sy_k)\,\eta_k^*(sy_k), \qquad (51)$$

- лінійну комбінацію залежних в. в. Для (51) визначимо функціонал $J_n(\eta_n^*)=\sum_{k=1}^{n_0-1}\ \sum_{sy_t\in SY_t} H_K^k(sy_k)\eta_k^*(sy_k)$ і різницю $J_n(\eta_n^*)-MJ_n(\eta_n^*)=$ $=\sum_{k=1}^{n}(M_{\sigma_{k-1}^n}J_n(\eta_n^*)-M_{\sigma_k^n}J_n(\eta_n^*))$, де $M_{\sigma_k^n}$ - умовне математичне сподівання при σ-алгебрі σ_k^n, породженій $\eta_{k+1}^*,\dots,\eta_n^*$. Величини $\gamma_k=M_{\sigma_{k-1}^n}J_n(\eta_n^*)-M_{\sigma_k^n}J_n(\eta_n^*)$ утворюють послідовність мартингал-різниць. Можемо ототожнити, починаючи з деякого n_1, функції виграшу в $\Gamma_A(t)$ з їх математичними сподіваннями. З наслідку з витікає існування φ_t^*-стійких ситуацій в ДКС-грі $\Gamma_A(t)$.

По аксіомах ДКС-ігор можемо задати ступінчасту гру виду (48). Далі, по теоремі 4 та наслідку з в (48) як стратегічну компоненту включити ДКС-ігри разом з детермінованими. Таким чином, можемо задати сукупність

$$^{P}\tilde{\Gamma}(t) = \langle \Gamma_L(t), \Gamma_C(t), \Gamma_S(t), \Gamma_U(t), p=\overline{1,P_0}, [t_0, T] \rangle. \quad (52)$$

<u>Визначення 7.</u> Сукупність (52) будемо називати багаторівневою коаліційною динамічною стохастичною БКД-грою в загальній формі.

Гра $^{P}\tilde{\Gamma}(t)$ має $\Phi(t)$-оптимальне рішення, де $\Phi(t) = (\varphi_{LC}(t), \varphi_S(t), \varphi_{LU}(t))$ утворюється по ступінчастих іграх (52).

У <u>третій главі</u> розглядається побудова ситуацій балансу в БКД-іграх і на їх основі – формальної системи, що дозволяє сформулювати задачі аналізу і оптимізації еколого-економічної системи.

<u>Визначення 8.</u> Вектор $c^*(t_l) = (c_1^*(t_l),\ldots, c_M^*(t_l))$ значень компонент системи, що задаються передстратегіями $PS_I(t)$ у φ^*-стійкій ситуації $\mu(\tilde{s}(t_l))$, будемо називати φ^*-стійким балансом системи.

Визначимо множини $\mathbb{C}_m$ значень компонент системи $c_m(t_l)$ та умову: якщо $c_m(t_l)\in\mathbb{C}_m$, то компонента c_m приймає оптимальне значення в момент часу t_l.

<u>Визначення 9.</u> Вектор $c^{\#}(t_l) = (c_1^{\#}(t_l),\ldots, c_M^{\#}(t_l))$ значень компонент системи, в котрому для всіх $m = \overline{1,M}$ виконується $c_m^{\#}(t_l)\in\mathbb{C}_m$, будемо називати оптимальним балансом системи.

Вважаємо, що на початку гри виконано розбиття множини $PS_I(t)$ на підмножини $CS_I(t)$ і $DS_I(t)$, $CS_I(t)\cap DS_I(t)=\emptyset$, такі, що використання $ps_m(t_l)\in CS_I(t_l)$ підмножиною гравців $I_{C,m}(t_l)$ не змінює умови $c_m^{\#}(t_l)\in\mathbb{C}_m$ по всіх $m = \overline{1,M}$ та використання $ps_m(t_l)\in DS_I(t_l)$ деякою підмножиною гравців $I_{D,m}(t_l)$ – призводить до її порушення хоча б для одного $m = \overline{1,M}$. Множини $I_{C,m}(t_l)$, $I_{D,m}(t_l)$ формуються до початку гри по всіх $ps_m(t_l)\in PS_I(t_l)$ і утворюють фіктивні коаліції $K_{C,m}$, $K_{D,m}$.

Якщо $\mathfrak{C}_m$ – відрізок $[a_m, b_m]$, то повинно виконуватися

$$A_m = a_m - c_m(t_0) \le CD_m(t_1) \le b_m - c_m(t_0) = B_m. \quad (53)$$

<u>Теорема 6.</u> Для того, щоб в БКД-грі ситуація оптимального балансу була ситуацією φ^*-стійкого балансу необхідно і достатньо, щоб гравець рівня $p+1$ призначав передстратегії рівня p так, що для всіх p_i та $ps_{i,m}(t_1) \in PS_I(t_1)$ виконується (53).

<u>Теорема 7.</u> Якщо для коаліційної складової БКД-гри виконана умова (53), то ця ситуація є φ^*-стійкою для коаліційної складової БКД-гри.

Будемо вважати, що враховані всі елементи вихідної системи, а також, що вказані всі допустимі їх чисті стратегії. Нехай $PS_I(t) = \langle PS_i(t) \rangle_{i\in I}$ – множина їх передстратегій в момент часу $t\in[t_k, t_{k+1})$, та $PS_I(t) = \bigcup_{m=1}^{M} PS_{I,m}(t)$. Нехай $ps_{i,m}(t)$, $ps_{i,m}(t)\in PS_I(t)$, – m-та передстратегія гравця i.

При цих основних обмеженнях побудована процедура розкладення коаліційної гри по компонентах системи $m = \overline{1,M}$.

1). Виділення стратегій гравців, компоненти котрих порушують оптимальність балансу. Нехай $CD_m(t_1) \notin [A_m, B_m]$.

Крок 1. Визначимо $ps^+_{i,m}(t_1) = \max ps_{i,m}(t_1)$ та $ps^-_{i,m}(t_1) = \min ps_{i,m}(t_1)$ – відповідно максимальне і мінімальне значення дії передстратегії гравця i на компоненту m, та

$$C^+_m(t_1) = \sum_{i\in K_{C,m}} ps^+_{i,m}(t_1) \text{ і } C^-_m(t_1) = \sum_{i\in K_{C,m}} ps^+_{i,m}(t_1), -$$

відповідно величини максимальної та мінімальної відтворюючої дії всіх гравців на компоненту m, і $D^+_m(t_1)$ та $D^-_m(t_1)$ – руйнівної дії.

Крок 2. А. Якщо виконано $D^-_m(t_1) \ge C^+_m(t_1)$, то вилучається передстратегія $ps^-_m(t_1) = \min_{K_{D,m}} ps^-_{i,m}(t_1)$ і виконується повернення до кроку 1.

Б. Якщо виконано $D^{+}_{m}(t_1) \ge C^{+}_{m}(t_1)$ та $D^{-}_{m}(t_1) \le C^{+}_{m}(t_1)$, то вилучається передстратегія $ps^{+}_{m}(t_1) = \max\limits_{K_{D,m}} ps^{+}_{i,m}(t_1)$ і виконується повернення до кроку 1.

Якщо умови А і Б не виконуються, то перехід до кроку 3.

Крок 3. Формування "покращених" множин передстратегій $\langle PS^{0}_{i}\rangle_{i\in I_{D,m}}$ і стратегій $S^{0}_{i} = \prod\limits_{m\leftrightarrow i} PS^{0}_{i,m}$. Якщо процедура завершується вилученням множини стратегій S_i, $i\in I_{D,m}$, то гра завершується.

2). Виділення коаліційних стратегій, що порушують оптимальність балансу. Реалізується аналогічно п. 1) по коаліційних стратегіях. Нехай на кроці 3 виділені множини $S^{u}_{K} = \prod\limits_{i\in K} S^{u}_{i}$.

3). Формування змішаних стратегій і ситуацій на компонентах m. Якщо гравець використовує чисті випадкові стратегії, то $\mu_{i,m}$ незалежні, визначається міра $\mu_{K,m} = \prod\limits_{i\in K} \mu_{i,m}$, що є согласованим марківськім продовженням $\mu_{i,m}$. Продовження мір $\mu_{K,m}$ по всіх коаліціях утворює змішану ситуацію на компоненті m.

4). Фіксація коаліційного ланцюжка $CK(t_1)$, $CK(t_1) = \langle \mu_{K_1}(t_1),\ldots,\mu_{K_h}(t_1)\rangle$, і $\mu_{\tilde{\mathfrak{K}}}(t_1)$ задана на $\langle S^{u}_{K}(t_1)\rangle_{K\in\tilde{\mathfrak{K}}}$.

5) А. Визначення функцій $H_{K_{C,m}}(\mu_{\tilde{\mathfrak{K}},m}(t_1)) = \sum H^{*}_{i}(\mu_{K,m}(t_1))$, де сума береться по всьому $CS_I(t_1)$ та $i\in K$ таким, що $K\cap K_{C,m} \ne \emptyset$ і $CS_I(t_1)$ задовольняють етапам 1) і 2) (аналогічно на $DS_I(t_1)$ визначається $H_{K_{D,m}}$).

В. Введення фіктивних гравців $K_{C,m}$, $K_{D,m}$ і визначення антагоністичної гри $\Gamma_{CD} = \langle K_{C,m}, K_{D,m}, \mu_{K_{C,m}}, \mu_{K_{D,m}}, H_{K_{C,m}}, -H_{K_{D,m}}\rangle$.

6). Визначення виграшів коаліцій і гравців через $H_{K_{C,m}}$, $H_{K_{D,m}}$, причому $H_K = H_{K\cap K_{C,m}} + H_{K\cap K_{D,m}}$.

По виконанню процедури від вихідної БКД-гри можемо перейти до класу ієрархічних бескоаліційних ігор. Принципом оптимальності φ_a є відображення множини коаліційних стратегій в множину ситуацій рівноваги антагоністичної гри Γ_{CD}.

Замінимо відображення $\tilde{\Phi}(t)$ у визначенні принципу оптимальності $\Phi(t)$ на φ_a і приймемо його як основний принцип оптимальності БКД-гри. $\Phi(t) = \langle \varphi_{LC}(t), \varphi_a(t), \varphi_{LU}(t) \rangle$.

Функціональні моделі.

<u>Теорема 8.</u> Існує алгебраїчна система (АС), що є рекурсивним представленням ігор (40) – (42).

<u>Наслідок 4.</u> Ігри (40) – (42) еквівалентні щодо їх представимості в $\mathcal{X}_D$.

<u>Визначення 10.</u> АС $\mathcal{X}_D$ будемо називати однорівнвою дескриптивною функціональною (f_D-) моделлю складної системи, а сукупність $F_D = \langle f_D, \mathcal{X}_D \rangle$ – базою цієї моделі.

Нехай маємо набір представимих в $\mathcal{X}_D$ баз F_D: ${}^1\overline{F}_D = \langle F_D^{i_1}, \dots, F_D^{i_m} \rangle$; ${}^2X_{\underline{s}} = \prod\limits_{i_1 \le i_k \le i_m} X_{\underline{s}}^{i_k}$ – множина ситуацій. Функції $\langle G(K) \rangle_{K \in \mathcal{R}_И}$ задамо на множині коаліцій ${}^2X_K = \bigcup\limits_{i_k} X_K^{i_k}$ і функції $\langle {}^2H(K, x_{\underline{s}} \langle H_K \rangle_{K \in \mathcal{R}_Д}) \rangle_{K \in {}^2X_K}$ на $x_{\underline{s}} \in {}^2X_{\underline{s}}$. Тим самим задана сукупність

$$ {}^2F_D = \langle \mathcal{K}^1({}^1\Gamma), \langle H_K \rangle^1_{K \in \mathcal{R}_Д}, \langle {}^2H_K \rangle_{K \in {}^2X_K}, \; l = \overline{1,m} \rangle, $$

де $\mathcal{K}^1({}^1\Gamma)$ – коаліційна структура гри (42).

Для представлення ${}^2F_D$ в АС $\mathcal{X}_D$ достатньо додатково ввести множину функціональних символів $\langle {}^2H_K \rangle_{K \in {}^2X_K}$ і нумерацію ${}^2f_{2_H}$.

Нехай ${}^2\mathcal{X}_D$ – пошукувана АС і ${}^2f_D$ – її нумерація з образом ${}^2X_D$.

<u>Визначення 11.</u> АС ${}^2\mathcal{X}_D$ будемо називати (простож) двохрівневою ${}^2f_D$-моделдю (об'єкта) складної системи.

Лема 2. Існує согласована нумерація ${}^{p}\tilde{f}_D$ бази

$${}^{p+1}F_D = \langle {}^{p}f_{D}, {}^{p}X_{D}, {}^{p+1}f_{{}^{p+1}H}, {}^{p+1}X_{{}^{p+1}H} \rangle,$$

що є согласованим продовженням ${}^{p}f^{i}_{D}$, ${}^{p+1}f_{{}^{p+1}H}$, $i = \overline{1,m}$.

Визначення 12. АС ${}^{P_0}\mathcal{X}_D$ будемо називати p_0-рівневою дескриптивною ${}^{P_0}f_D$-моделлю складної системи.

Визначення 13. Підсистему АС ${}^{p+1}\mathcal{X}_D$

$$\mathcal{D} = \langle {}^{p}\mathcal{X}_{D}, {}^{p}\tilde{X}_{D}, {}^{p+1}\tilde{X}_{D}; {}^{p+1}\tilde{f}_{D}; \langle {}^{p}\tilde{H}_{K}\rangle_{K \in {}^{p}X_K}, {}^{p+1}\tilde{H}_{K}\rangle \quad (54)$$

з базою $D = \langle {}^{p+1}\tilde{f}_{D}, {}^{p+1}\tilde{X}_{D}\rangle$ при фіксованому p будемо називати двохрівневою дескриптивною ${}^{2}f_D$-моделлю складної системи.

Теорема 9. Якщо при кожному $p = \overline{1,p_0}$ функції $\langle {}^{p}\tilde{H}_{K}\rangle_{K \in {}^{p}X_K}$ рекурсивні, то існує согласована рекурсивна ${}^{P_0}f_D$-модель складної системи.

Динамічна ${}^{2}f_D$-модель утворюється на основі (54) і береться по всім t, будемо записувати цю модель як ${}^{2}fd_t$-модель і відповідну АС як $\mathcal{D}_t = \langle {}^{p}\mathcal{X}_{D,t}, {}^{p}\tilde{X}_{D,t}, {}^{p+1}\tilde{X}_{D,t}; {}^{p+1}\tilde{f}_{D,t}; \langle {}^{p}\tilde{H}_{K,t}\rangle_{K \in {}^{p}X_K}, {}^{p+1}\tilde{H}_{K,t}\rangle$, всьому відрізку $[t_0, T]$ співставимо ${}^{2}fd_T$-модель і АС $\mathcal{D}_T = \langle \mathcal{D}_t, t \in [t_0, T] \rangle$.

Визначення 13. АС $\mathcal{D}_t$ і $\mathcal{D}_T$ будемо називати двохрівневими дескриптивними ${}^{2}fd_t$- і ${}^{2}fd_T$-моделями складної системи.

Визначення 14. Об'єднання АС $\mathcal{C}_t = \mathcal{D}_t \cup \mathcal{X}_\Phi$ і $\mathcal{C}_T = \mathcal{D}_T \cup \mathcal{X}_\Phi$ будемо називати двохрівневими конструктивними динамічними ${}^{2}fc_t$- і ${}^{2}fc_T$-моделями складної системи, $\mathcal{X}_\Phi$ – АС, де є представимим принцип оптимальності $\Phi(t)$.

Визначення 15. Об'єднання АС $\mathcal{N}_t = \mathcal{C}_t \cup \mathcal{X}_V$ і $\mathcal{N}_T = \mathcal{C}_T \cup \mathcal{X}_V$ будемо називати двохрівневими нормативними динамічними ${}^{2}fn_t$- і ${}^{2}fn_T$-моделями складної системи, $\mathcal{X}_V$ – АС, де є представимими $\Phi(t)$-оптимальні рішення.

Наслідок 5. Існує согласована рекурсивна ${}^2fn_t$- і ${}^2fn_T$-модель складної системи, що побудована по БКД-грі (52) з принципом оптимальності $\Phi(t)$.

На основі логічних схем алгоритмів побудоване формальне представлення алгоритмів обчислення оцінок і, по аналогії з fd-моделями, дескриптивна модель алгоритмів $\mathcal{D}_A$.

Задача $\mathcal{Z}_o$ полягає в побудові алгоритму A_o, котрий по заданим моделям $\mathcal{K}_t=\mathcal{D}_t\cup\mathcal{D}_A$, $\mathcal{CA}_t$, $\mathcal{NA}_t$ і інформації $\mathcal{I}_o=\mathcal{Z}_t$ визначає входження $(x\cup A)\in y$ при умові $x\in z$, $A\in\mathcal{D}_A$ для $x\in\mathcal{D}_t$, $y\in\mathcal{NA}_t$, $z\in\mathcal{CA}_t$ ($\mathcal{CA}_t$, $\mathcal{NA}_t$ - моделі $\mathcal{C}_t$, $\mathcal{N}_t$, побудовані як об'єднання з $\mathcal{Z}_t$ замість $\mathcal{D}_t$).

Задача $\mathcal{Z}_f$ полягає в побудові алгоритму A_f, котрий по заданим моделям $\mathcal{Z}_t$, $\mathcal{CA}_t$, $\mathcal{NA}_t$ при $t\le t_1$, а також інформації $\mathcal{I}_f=\mathcal{Z}_t$ для кожної з ситуацій $\tilde{s}(t_{1+1})\in\tilde{S}(t_{1+1})$ визначає входження $\tilde{s}(t_{1+1})\in Cl_1(t_{1+1})\vee Cl_2(t_{1+1})$.

У четвертій главі розглядається побудова і дослідження алгоритмів вирішення виділених задач.

Спочатку вивчається задача побудови або синтезу f-моделей, вона може вирішуватися двома способами: вихідна або початкова побудова; побудова з використанням досвіду експерта. В першому випадку алгоритми побудови f-моделей є алгоритми побудови д. н. ф. Будемо позначати через $\varkappa$ формули, що виводяться в f-моделях. Як функції алгебри логіки h визначимо правила виводу, τ - індекс формальної системи, що входить в $\mathcal{N}_t$. Виконується

$$h_\tau = h_\tau(x^{\sigma}_{\tau,1},\dots,x^{\sigma}_{\tau,n(\tau)}) =$$

$$= \bigvee_{(\sigma_1,\dots,\sigma_{n(\tau)})} (x^{\sigma}_{\tau,1}\&\dots\&x^{\sigma}_{\tau,n(\tau)})\&h_\tau(\sigma_1,\dots,\sigma_{n(\tau)}).$$

Для формул, що виводяться в системі τ, маємо досконалу д. н. ф.

$$h_\tau = \bigvee_{(\sigma_1,\dots,\sigma_{n(\tau)})} (x^{\sigma}_{\tau,1}\&\dots\&x^{\sigma}_{\tau,n(\tau)}). \tag{55}$$

оскільки $h_{\tau}(\sigma_1,\ldots,\sigma_{n(\tau)}) = 1$ по визначенню. Для всієї моделі $\mathcal{N}_t$ маємо кон'юнкцію виразів (55) по її формальних системах, а також коаліційній структурі, на котрій побудована $\mathcal{D}_t$: $h_{\mathcal{N}_t} = \mathop{\&}\limits_{\mathcal{X}\subseteq\mathcal{N}_t} \mathop{\&}\limits_{\tilde{\mathcal{R}}} h_{\tau}$.

При другому способі синтезу f-моделей будемо виділяти множини об'єктів Λ^0 і Λ^1, котрі будемо відповідно називати навчальною і контрольною системами. Нехай об'єкти Λ^0 і Λ^1 мають множини ознак $\tilde{A}^0$ і $\tilde{A}^1$, їх значень a^0 і a^1, а також відношень на множинах ознак R^0 і R^1, що в дескриптивній моделі відповідають множинам гравців I^0 і I^1, їх стратегій S^0 та S^1 і відношень, що визначають входження гравців в коаліції.

Визначення 16. Правило d_{kl}^{ij}, за яким парі значень ознак (a_{ki}^0, a_{lj}^1) ставиться у відповідність нуль або одиниця, будемо називати позитивним правилом відповідності (п. п. в.), $a_{ki}^0\in a_k^0$, $i=\overline{1,m_k^0}$, $a_{lj}^1\in a_l^1$, $j=\overline{1,m_l^1}$, $k=\overline{1,N_{\Lambda^0}}$, $l=\overline{1,N_{\Lambda^1}}$.

Визначення 17. Бульовий вектор $b_{kl}^i = (b_{kl}^{i1},\ldots,b_{kl}^{im_l^1})$ назвемо j-вектором стану п. п. в. і правило

$$d_{kl}^i(a_{ki}^0, a_l^1) = \mathop{\&}\limits_{j=1}^{m_l^1} (b_{kl}^{ij} \longrightarrow d_{kl}^{ij}(a_{ki}^0, a_{lj}^1)), \tag{56}$$

за котрим (56) ставиться у відповідність нуль або одиниця, будемо називати елементарним класифікатором (е. к.) множини a_l^1 по значенню a_{ki}^0.

Визначення 18. Бульовий вектор $c_{kl}^i = (c_{kl}^{i1},\ldots,a_{kl}^{im_k^0})$ назвемо i-вектором стану е. к. і правило

$$d_{kl}(a_k^0, a_l^1) = \mathop{\&}\limits_{i=1}^{m_k^0} (c_{kl}^i \longrightarrow d_{kl}^i(a_{ki}^0, a_l^1)), \tag{57}$$

за котрим (57) ставиться у відповідність нуль або одиниця, будемо називати е. к. ознаки A_l^1 по ознаці A_k^0.

<u>Визначення 19.</u> Бульовий вектор $\tilde{b}^1_k = (\tilde{b}^1_k, \ldots, \tilde{b}^{N_{\Lambda^1}}_k)$ назвемо l-вектором стану е. к. і правило

$$d_k(a^0_k, \Lambda^1_{\Lambda^1}) = \overset{N_{\Lambda^1}}{\underset{l=1}{\&}} (\tilde{b}^l_k \longrightarrow d_{kl}(a^0_k, a^1_l)), \qquad (58)$$

за котрим (58) ставиться у відповідність нуль або одиниця, будемо називати елементарним логічним класифікатором (е. л. к.) об'єкта Λ^1 по ознаці A^0_k.

<u>Визначення 20.</u> Бульовий вектор $\tilde{c} = (\tilde{c}^1, \ldots, \tilde{c}^{N_{\Lambda^0}})$ назвемо k-вектором стану е. л. к. і правило

$$d(\Lambda^0_{\Lambda^0}, \Lambda^1_{\Lambda^1}) = \overset{N_{\Lambda^0}}{\underset{k=1}{\&}} (\tilde{c}^1_k \longrightarrow d_k(a^0_k, a^1_{\Lambda^1})), \qquad (59)$$

за котрим (59) ставиться у відповідність нуль або одиниця, будемо називати е. л. к. об'єкта Λ^1 по об'єкту Λ^0.

Нехай $P_\tau(\tilde{x}_\tau)$ – виводимий предикат, що залежить від набору метазмінних $\tilde{x}_\tau = (x_1, \ldots, x_{n(\tau)})$, і нехай y – метазмінні, які співставимо об'єкту Λ^1 у формальній системі τ, що представляє об'єкт Λ^0. Якщо об'єкти є близькими, то це можна зробити. Тоді, виводимі для об'єкта Λ^1 предикати будуть задані виразом вигляду

$$P_\tau(\tilde{y}_\tau) = d(\Lambda^0_{\Lambda^0}, \Lambda^1_{\Lambda^1}) \& P_\tau(\tilde{x}_\tau). \qquad (60)$$

Вирази (60) розповсюдимо на всі формальні системи, що входять в $\mathcal{D}_t(\Lambda^0)$, $\mathcal{E}_t(\Lambda^0)$, $\mathcal{N}_t(\Lambda^0)$, і одержимо моделі $\mathcal{D}_t(\Lambda^1)$, $\mathcal{E}_t(\Lambda^1)$, $\mathcal{N}_t(\Lambda^1)$, еквівалентні за вивідністю формул відповідно $\mathcal{D}_t(\Lambda^0)$, $\mathcal{E}_t(\Lambda^0)$, $\mathcal{N}_t(\Lambda^0)$ і залежні від способу введення е. л. к.

Приймемо позначення: $d(\Lambda^p, \Lambda^q) = d(\Lambda^0_{\Lambda^p}, \Lambda^1_{\Lambda^q})$ і $\tilde{d}(\Lambda^p, \Lambda^q) = \tilde{d}(\Lambda^0_{\Lambda^p}, \Lambda^1_{\Lambda^q})$, $p = \overline{1, p_0}$, $q = \overline{1, q_0}$, $p_0 = |\tilde{\Lambda}^0|$, $q_0 = |\tilde{\Lambda}^1|$.

<u>Визначення 21.</u> Бульовий вектор $\hat{b} = (\hat{b}_1, \ldots, \hat{b}_{q_0})$ назвемо q-вектором стану е. л. к. і правило

$$d(\Lambda^p, \tilde{\Lambda}^1) = \bigvee_{q=1}^{q_0} (\hat{b}_q \longrightarrow d(\Lambda^p, \Lambda^q)), \tag{61}$$

за котрим (61) ставиться у відповідність нуль або одиниця, будемо називати елементарним сумуючим класифікатором (е. с. к.) множини об'єктів $\tilde{\Lambda}^1$ по об'єкту Λ^p, $\Lambda^p \in \tilde{\Lambda}^0$.

<u>Визначення 22.</u> Бульовий вектор $\hat{c} = (\hat{c}_1, \ldots, \hat{c}_{p_0})$ назвемо p-вектором стану е. л. к. і правило

$$d(\tilde{\Lambda}^0, \tilde{\Lambda}^1) = \bigvee_{p=1}^{p_0} (\hat{c}_p \longrightarrow d(\Lambda^p, \tilde{\Lambda}^1)), \tag{62}$$

за котрим (62) ставиться у відповідність нуль або одиниця, будемо називати е. с. к. множини $\tilde{\Lambda}^1$ по множині $\tilde{\Lambda}^0$ або просто з. с. к.

Для об'єктів в $\tilde{\Lambda}^0$ і $\tilde{\Lambda}^1$, для котрих (62) рівні одиниці, можемо визначити класифікатори по відношенням з множин $\tilde{R}^0$ і $\tilde{R}^1$, що визначають зв'язки об'єктів множин $\tilde{\Lambda}^0$ і $\tilde{\Lambda}^1$:

$$\tilde{d}(\tilde{R}^0, \tilde{R}^1) = \bigvee_{u=1}^{|\tilde{R}^0|} \bigvee_{v=1}^{|\tilde{R}^1|} \tilde{d}(R_u, R_v).$$

<u>Визначення 23.</u> Вираз $D(\tilde{\Lambda}^0, \tilde{\Lambda}^1) = d(\tilde{\Lambda}^0, \tilde{\Lambda}^1) \& \tilde{d}(\tilde{R}^0, \tilde{R}^1)$ будемо називати составним логічним класифікатором (с. л. к.) множини $\tilde{\Lambda}^1$ по множині $\tilde{\Lambda}^0$ або просто с. л. к.

С. л. к.

$$Cl_s(\tilde{\Lambda}^0, \tilde{\Lambda}^1) = D(\tilde{\Lambda}^0, \tilde{\Lambda}^1) \& P_\tau(\tilde{x}_\tau) \tag{63}$$

є загальний для моделей $\mathcal{D}_t$, $\mathcal{E}_t$, $\mathcal{N}_t$ алгоритм синтезу.

Якщо замість множин ознак та їх значень в с. л. к. розглянути виводимі формули у відповідаючих ним формальних системах і визначити с. л. к. для всіх систем в $\mathcal{D}_t$, $\mathcal{E}_t$, $\mathcal{N}_t$, то

$$Cl_a(\tilde{\Lambda}^0, \tilde{\Lambda}^1) = D(\tilde{x}^0, \tilde{x}^1) \& h^0_\tau(\tilde{x}^0_\tau) \& h^1_\tau(\tilde{x}^1_\tau) \tag{64}$$

буде задавати алгоритм, що дозволяє порівнювати ступінь близькості виводимих в моделях для $\tilde{\Lambda}^0$ і $\tilde{\Lambda}^1$ формул, та визначати еквівалентні f-моделі. Алгоритми вигляду (63) - (64) будемо називати структурними класифікаторами (с. к.) і об'єднувати в сімейство $\mathcal{CL}$. Алгоритм (64) будемо розглядати як загальний алгоритм аналізу моделей $\mathcal{D}_t$, $\mathcal{E}_t$, $\mathcal{N}_t$.

Теорема 10. Існують алгоритми синтезу та аналізу f-моделей, що задаються с. к. $\mathcal{CL}$.

Вводяться допоміжні задачі розпізнавання Z_1 і слідування Z_2, що вирішуються на основі алгоритмів обчислення оцінок і їх розширень, що задаються с. к. $\mathcal{CL}$. Визначена система $\mathcal{V}(A)$, що задає рекурсивне представлення алгоритмів вирішення задач Z_1 і Z_2. Будемо йому співставляти формальну систему $\mathcal{D}_A = \mathcal{A}\mathcal{V}(A)$.

Визначення 24. Об'єднання $\mathcal{D}\mathcal{A}_t = \mathcal{D}_t \cup \mathcal{D}_A$, будемо називати розширеною двохрівневою дескриптивною функціональною ($\mathfrak{D}_t$-) моделлю складної системи.

Визначення 25. Об'єднання $\mathcal{E}\mathcal{A}_t = \mathcal{E}_t \cup \mathcal{D}\mathcal{A}_t \cup \mathcal{D}_A$ будемо називати розширеною двохрівневою конструктивною функціональною ($\mathfrak{C}_t$-) моделлю складної системи.

Визначення 26. Об'єднання $\mathcal{N}\mathcal{A}_t = \mathcal{N}_t \cup \mathcal{E}\mathcal{A}_t \cup \mathcal{D}_A$ будемо називати розширеною двохрівневою нормативною функціональною ($\mathfrak{R}_t$-) моделлю складної системи.

Визначення 27. $\mathfrak{D}_t$-, $\mathfrak{C}_t$-, $\mathfrak{R}_t$- або просто $\mathcal{F}$-моделі, що побудовані для множини об'єктів $\tilde{\Lambda}^0$, будемо називати пам'яттю відносно $\tilde{\Lambda}^0$, і, якщо $\tilde{\Lambda}^0$ - множина всіх заданих об'єктів у деякій системі $\mathcal{F}^0$, то - пам'яттю відносно $\mathcal{F}^0$.

Пам'ять будемо співставляти деякій алгоритмічній системі, засобами якої будемо вирішувати задачі Z_1, Z_2, $\mathcal{Z}_o$, $\mathcal{Z}_f$. Виділимо серед алгоритмів маніпулювання пам'яттю $\tilde{U}$ оператор U, що виконує запис до неї процесу вирішення задач Z_1, Z_2. Визначимо алгоритм W, котрий будемо співставляти вирішенню задач Z_1, Z_2: $W = Cl \times A \times U$.

Визначення 28. Сукупності $\mathfrak{W} = \langle \tilde{W}, \tilde{U} \rangle$ і $\mathfrak{S} = \langle \mathfrak{D}_t(\cdot) \vee \mathfrak{C}_t(\cdot) \vee \mathfrak{R}_t(\cdot)$, $\tilde{W}, \tilde{U} \rangle$, де $\tilde{W}$ є модель алгоритмів W, будемо називати алгоритмом і системою вирішення задач $\mathcal{Z}_o$, $\mathcal{Z}_f$.

Задача $\mathcal{Z}_o$ полягає в побудові алгоритму W_o, котрий для системи $\mathcal{S}^1$ по інформації $\mathcal{I}_o = \mathfrak{D}_t(\mathcal{S}^0)$ визначає входження $x \in y$ при умові $x \in D_t(\mathcal{S}^1)$, $y \in \mathcal{N}_t(\mathcal{S}^1)$.

Задача $\mathcal{Z}_f$ полягає в побудові алгоритму W_f, котрий для системи $\mathcal{S}^1$ по інформації $\mathcal{I}_f = \mathfrak{D}_t(\mathcal{S}^1)$ при $t \le t_1$, а також інформації $\mathcal{I}_f = Z_t$ для кожної з ситуацій $\tilde{s}(t_{l+1}) \in \tilde{S}(t_{l+1})$, відповідаючих системі $\mathcal{S}^1$, визначає входження $\tilde{s}(t_{l+1}) \in CF_1(t_{l+1}) \vee CF_2(t_{l+1})$, де $CF_1(t_{l+1})$, $CF_2(t_{l+1})$ – деякі класи, описані в $\mathfrak{D}_t(\mathcal{S}^1)$.

<u>Теорема 11.</u> В системі $\mathfrak{S}$ існує алгоритм вирішення задачі $\mathcal{Z}_o$, що задається алгоритмами вирішення задач Z_1, Z_2. Цей алгоритм є коректним, якщо коректний алгоритм вирішення задачі Z_1.

Етапи процедури вирішення задач Z_1, Z_2 надають рішення задачі $\mathcal{Z}_o$ в моделі алгоритмів $\tilde{W}$. Причому, якщо Z_1 на всіх етапах вирішується коректним алгоритмом, то таким буде й алгоритм вирішення $\mathcal{Z}_o$.

<u>Наслідок 6.</u> При постійних для всіх $t \in [t_o, T]$ класах $CF_1(t)$ і $CF_2(t)$ в системі $\mathfrak{S}$ існує алгоритм вирішення задачі $\mathcal{Z}_f$, що задається алгоритмами вирішення задач Z_1, Z_2.

В $\mathfrak{D}_t(\cdot)$ записане решення задачі Z_1 для множини $\tilde{\Lambda}^0$ системи $\mathcal{S}^0$ – вказані описи об'єктів, алгоритми вирішення і результат класифікації заданим алгоритмом для $\forall A \in \tilde{\Lambda}^0$. При такому описі Z_1 будемо називати пам'ять $\mathfrak{D}_t(\tilde{\Lambda}^0)$ повною для $Z_1(\tilde{\Lambda}^0)$. Якщо для $Z_1(\tilde{\Lambda}^0)$ в $\mathfrak{D}_t(\tilde{\Lambda}^0)$ задані тільки описи об'єктів і результат класифікації, то пам'ять будемо називати інформаційно повною для $Z_1(\tilde{\Lambda}^0)$.

<u>Теорема 12.</u> Задача Z_1 представима в рекурсивній системі $\mathfrak{S}$ з повною пам'яттю і має коректний алгоритм вирішення, що задається загальною схемою $W = Cl_I \times A_R \times Cl_C \times U$.

Оскільки за побудовою системи $\mathcal{S}^0$, $\mathcal{S}^1$ однозначно визначаються своїми об'єктами $\tilde{\Lambda}^0$ і $\tilde{\Lambda}^1$, то справедливий наслідок.

Наслідок 7. Задачі $\mathcal{Z}_o$, $\mathcal{Z}_f$ представляються в рекурсивній системі Θ з повною пам'яттю і мають коректні алгоритми вирішення, для $\mathcal{Z}_f$ – при постійних для всіх $t \in [t_o, T]$ класах $CF_1(t)$ і $CF_2(t)$.

Можемо вважати, що пам'ять відповідає p-рівневій моделі деякої системи $\mathcal{S}\mathcal{Y}^0$. Як об'єднання формальних систем, що лежать в основі $\mathfrak{D}_t(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0)$, утворимо $\mathfrak{D}_T(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0) = \bigcup_{t \in [t_0, T]} \mathfrak{D}_t(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0)$.

Визначення 29. Сукупність $\Theta\Theta = \langle \mathfrak{D}_T(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0), \tilde{W}, \tilde{U}, \mathcal{Z}_o, \mathcal{Z}_f \rangle$, будемо називати системою моделювання і аналізу еколого-економічних систем $\mathcal{S}\mathcal{Y}$.

Пам'ять $\mathfrak{D}_T(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0)$ має ієрархічно-сітьову структуру Str, вузлами котрої є окремі моделі і на нижчих рівнях цих моделей – "елементарні" об'єкти $\tilde{\Lambda}^0$, для котрих була побудована схема вирішення задач $\mathcal{Z}_o$, $\mathcal{Z}_f$. Структура Str, таким чином, однозначно визначає і структуру задач $\mathcal{Z}$, вирішених при аналізі системи $\mathcal{S}\mathcal{Y}^0$, а також пам'яті $\mathfrak{D}_T(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0)$. Будемо записувати $\Theta\Theta = \langle \mathfrak{D}_T(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0), \tilde{W}, \tilde{U}$, $\mathcal{Z}_o$, $\mathcal{Z}_f$, $Str_T(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0, {}^{p}\tilde{\Lambda}^0, \tilde{\mathcal{Z}})\rangle$, розуміючи під Str_T множину всіх структур Str_t, що відповідають $[t_0, T]$, $\tilde{\mathcal{Z}}$ – множина задач, вирішених при аналізі системи $\mathcal{S}\mathcal{Y}^0$ в межах структури Str_T.

Будемо позначати через $\xi\mathcal{Z}$ і ξZ – виводимі в $\mathfrak{D}_T(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0)$ формули, що представляють відповідно $\mathcal{Z}$ і Z. Нехай $\Xi\mathcal{Z}(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0)$ і $\Xi Z(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0)$ – класи таких формул для різних об'єктів в структурі $Str_T(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0, {}^{p}\tilde{\Lambda}^0, \tilde{\mathcal{Z}})$ для $\mathcal{S}\mathcal{Y}^0$. Кожна з таких формул $\psi\mathcal{Z}_\alpha(\mathcal{S}\mathcal{Y}^0)$ має вигляд $\overset{P_0}{\underset{p=1}{\&}} \psi\mathcal{Z}_\alpha({}^{p}\tilde{\Lambda}^0_{i_1}) \& \ldots \& \psi\mathcal{Z}_\alpha({}^{p}\tilde{\Lambda}^0_{i_m})$, де α є символ o або f. Аналогічно, кожна з задач $\mathcal{Z}_\alpha$ представляється формулою вигляду $\psi\mathcal{Z}_\alpha({}^{p}\tilde{\Lambda}^0_i) = \psi Z_\beta({}^{p}\tilde{\Lambda}^0_{j_1}) \& \ldots \& \psi Z_\beta({}^{p}\tilde{\Lambda}^0_{j_n})$, де β дорівнює 1 або 2. При переході від моменту t на весь відрізок $[t_0, T]$ маємо кон'юнкцію і по t. Тим самим, прикладна задача з аналізу реальної системи має наступний загальний вираз:

$$\psi\mathcal{Z}_{\alpha}(\mathcal{GY}^{0}) =$$

$$= \bigvee_{\tau\le\tau_0} \mathop{\&}_{t\in[t_0,\,T]} \Big(\mathop{\&}_{p=1}^{p_0} \mathop{\&}_{i\leftrightarrow p} (\psi Z_{\beta,\tau_1}({}^{p}\tilde{\Lambda}^{0}_{j_1})\&\ldots\&\psi Z_{\beta,\tau_n}({}^{p}\tilde{\Lambda}^{0}_{j_n}))\&\psi Z_{\beta}\tau \Big), \qquad (65)$$

формула $\psi Z_{\beta}\tau$ вказує на те, що Z_{β} підлягає вирішенню до моменту τ, і дорівнює одиниці при $\tau\le\tau_0$ і нулю в остальних випадках, або ж τ вказує порядок вирішення Z_{β} при аналізі системи. Залежності задач регламентуються структурою $Str_{T}(\mathcal{GY}^{0}, {}^{p}\tilde{\Lambda}^{0}, \tilde{\mathcal{Z}})$.

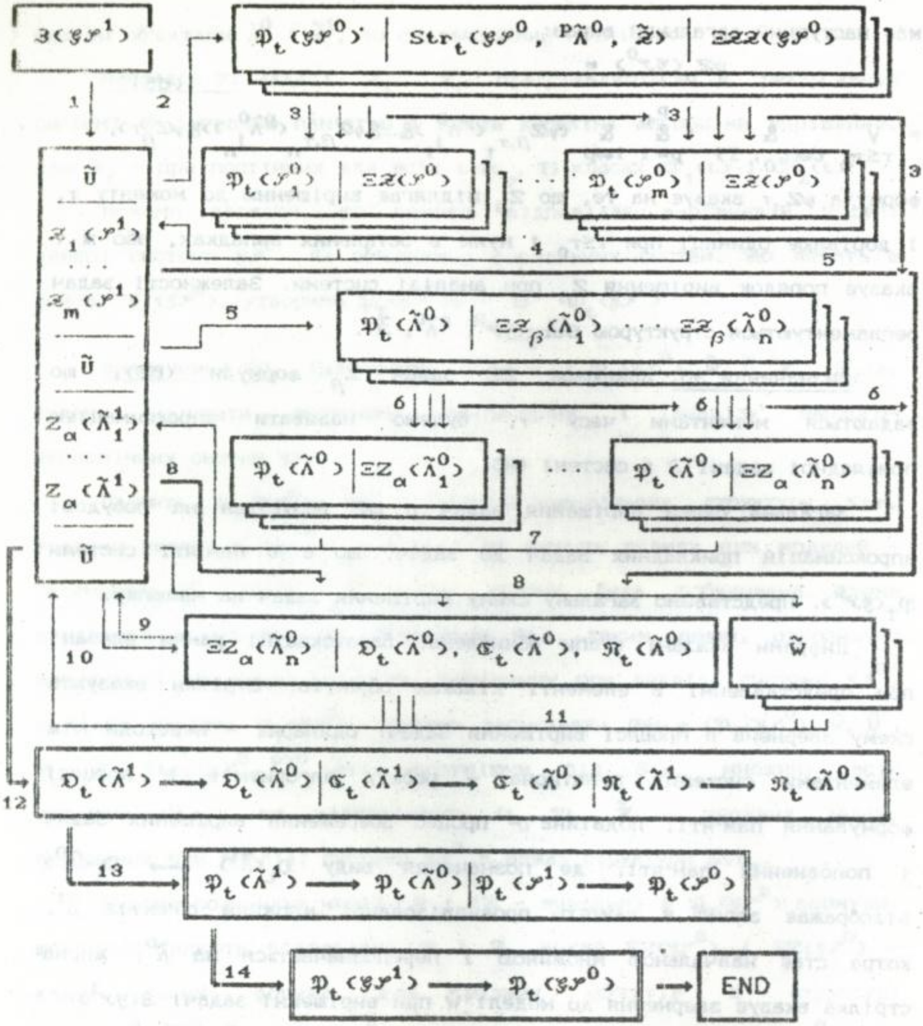
<u>Визначення 30.</u> Ланцюжок ZZ задач Z_{β} формули (65), що задаються моментами часу τ, будемо називати апроксимацією прикладної задачі $\mathcal{З}$ в системі $\mathfrak{GS}$.

Загальна схема вирішення задач в $\mathfrak{GS}$ базується на побудові апроксимацій прикладних задач до задач, що є в пам'яті системи $\mathfrak{D}_{T}(\mathcal{GY}^{0})$. Представимо загальну схему вирішення задач на малюнку.

. Цифрами вказані етапи обчислень, багатократні рамки вказані при представленні в елементі кількох об'єктів. Стрілки вказують схему звернень в процесі вирішення задач: одинарні - переходи між елементами системи; пунктирна - роботу алгоритмів в процесі формування пам'яті; подвійна - процес збереження вирішених задач і поповнення пам'яті, де позначення виду $\mathfrak{D}_{t}(\tilde{\Lambda}^{1}) \longrightarrow \mathfrak{D}_{t}(\tilde{\Lambda}^{0})$ відображає запис в пам'ять проаналізованої множини об'єктів $\tilde{\Lambda}^{1}$, котра стає навчальною множиною і перепозначається на $\tilde{\Lambda}^{0}$; жирна стрілка вказує звернення до моделі $\tilde{W}$ при вирішенні задачі $\mathcal{З}(\mathcal{GY}^{1})$.

Розглянуті принципи побудови програмних систем, що базуються на запропонованому апараті моделювання та аналізу.

У <u>п'ятій главі</u> розглядаються концепції двох розроблених систем, апарат котрих базується на побудованих f-моделях - Системи АНалізу і опТИмізації міських Пассажирських перевезень САНТІ-П і системи аналізу інвестиційної діяльності САНТІ-І.



Мал. Загальна схема вирішення прикладних задач в ФЄ

САНТІ-П. Алгоритм аналізу змін пасажиропотоків. Реалізує модель аналізу пасажиропотоків і визначається наступними етапами.

Етап 1. Задання маршруту i, що змінюється.

Етап 2. Задання маршрутів, суміжних з i, – маршрутів, що мають з ним хоча б одну загальну частину маршруту.

Генерація суміжних маршрутів виконується в двох режимах:

а) по співпадаючих назвах зупинок утворення першої групи - паралельних маршрутів, етап виконується системою;

б) введення решти суміжних маршрутів по видах транспорту в прямому і зворотному напрямках, закрема, станцій метро.

Етап 3. Виділення істотних / неістотних кореспонденцій між зупинками маршруту, що змінюється.

1). Для зупинок маршруту визначається їх належність заданим транспортним мікрорайонам (ТМ) - номери вводяться користувачем.

2). Серед вилучених зупинок маршруту m, що змінюється, вибираються всі зупинки, що слідують за останньою зупинкою маршруту m по найбільш повно співпадаючому з m паралельному маршруту. Цей маршрут вибирається починаючи з останньої для m зупинки. Якщо таких маршрутів кілька, то вибір виконується по любому з них.

3). Нормування пасажирських кореспонденцій по ТМ.

4). Ранжування ТМ.

5). Користувачеві пред'являється панель, де вказані зупинки маршруту m, а також вилучені зупинки. Від нього вимагається ствердити правильність отриманого варіанту оцінки пасажиропотоків на частинах маршруту після вилучення неістотних кореспонденцій у відповідності з вибраним порогом. Після прийняття зроблених змін отримані величини використовуються як величини пасажиропотоків на зміненому маршруті m.

Етап 4. Визначення розподілу пасажирів після зміни маршруту.

Алгоритм розподілу транспортних засобів. Нехай $pp_i(T)$ - максимальний пасажиропотік на маршруті i за інтервал часу T; $t_{k,i}$ - інтервал руху на маршруті; a_j - транспортний засіб (ТЗ) типу j і $n(a_j)$ - кількість ТЗ цього типу, котрі можуть бути розподілені на маршрутах; na_j і ma_j - номінальна і максимальна місткість ТЗ типу j, fa_j - місткість ТЗ типу j, що досліджується. Вихідну задачу будемо формулювати як задачу побудови алгоритму, що забезпечує пасажиропотоки $pp_i(t_{k,i})$ транспортом при мінімальному значенні $\sum_j n(a_j)$ та заданому рівні обслуговування. При цьому:

а) якщо задана тільки одна з величин t_{min}, $t_{k,i}$, t_{max}, або інтервал руху фіксований, то задача вирішується за рахунок вибору кількості і типу ТЗ;

б) якщо задані дві величини t_{min} і t_{max}, то вибір кількості та типу ТЗ виконується в межах інтервалу часу $[t_{min}, t_{max}]$ аж до знаходження мінімальної кількості необхідних ТЗ.

Етап 1. Задання маршруту, що досліджується.

Етап 2. Задання інтервалу часу T.

Етап 3. Задання пасажиромісткості ТЗ, при котрій проводиться їх розподіл.

Етап 4. Задання типу і кількості ТЗ, що розподіляються.

Етап 5. Задання інтервалу руху ТЗ $t_{k,i}$.

Етап 6. Визначення частини маршруту з максимальним пасажиропотоком (пасажиропотоку за інтервал T - $pp_i(T)$).

Етап 7. Визначення пасажиропотоку за інтервал руху.

Етап 8. Визначення кількості залишившихся пасажирів.

Етап 9. Визначення змін пасажиропотоку. На даному етапі вводиться та описаний алгоритм прямого розподілу ТЗ.

Етап 10. Умови виділення ТЗ в момент часу T (в останній перед T інтервал руху).

Етап 11. Відповідність інтервалу і часу оборотного рейсу.

Етап 12. Коефіцієнт z_j питомих витрат на ТЗ типу j. Описаний алгоритм розподілу ТЗ при змінному інтервалі руху і по питомих затратах на перевезення (один з можливих критеріїв).

Також розглянуті алгоритм обчислення розрахункових пасажиропотоків, призначений для визначення пасажиропотоку на маршруті по відомому розподілу ТЗ, алгоритм розподілу ресурсів по підсумках виконання перевезень. Наведений загальний опис системи САНТІ-П.

. Система призначена для осіб, що контролюють роботу транспортних підприємств і приймають рішення по виділенню їм необхідних засобів. Система поєднує в собі чотири підсистеми, що виконують наступні функції:

- ведення інформації по маршрутах міського транспорту;
- визначення змін розподілу ТЗ по ситуції маршрутів при змінах або вилученні одного з них;
- знаходження розрахункового пасажиропотоку виходячи з існуючого розподілу ТЗ на маршруті;
- розподіл надаваємих засобів між транспортними підприємствами, що базується на виконаній ними роботі.

Система САНТІ-П реалізована на базі системи Clipper на ЕОМ типу IBM PC/AT в середовищі MS DOS спільно з І. П. Беляєвою.

Основні концепції системи аналізу інвестиційної діяльності САНТІ-І. Викладаються принципи побудови програмної системи аналізу ситуацій для оцінки і прогнозу рішень, що приймаються, в задачі аналізу інвестиційної діяльності. Основна мета - визначити ефективність вкладення засобів в проект підприємства, що розглядається на певному інтервалі часу, і знайти найкращий напрямок його розвитку.

Вихідним елементом опису вважається яка-небудь проблема, що підлягає вирішенню одним або декількома способами. Причому враховується зміна характеристик досліджуваної проблеми з вказаними для неї користувачем параметрами або методом формування змін. Кожна з введених проблем представляється сіткою зв'язаних за часом та змістовними залежностями задач, кожна з котрих відповідає означеному етапу виконання проекту. Це відображається і в представленні їх у вигляді діаграм Гантта або календарних планів. Задачі пов'язуються між собою за залежностями, що відображають порядок виконання, а також за їх змістовними описами. Крім того, кожна з задач характеризується часом початку і кінця або строком її вирішення з урахуванням можливих коливань часових відрізків.

Система САНТІ-І розроблена в середовищі Clipper і Flipper на комп'ютерах IBM PC/AT під MS DOS спільно з І. П. Беляєвою і К. Т. Харченком.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

Побудований апарат для моделювання і аналізу еколого-економічних систем, що базується на розширенні класу теоретико-ігрових моделей і відповідних їм ігор, розширенні апарату побудови і аналізу цих моделей як класу формальних алгебраїчних систем, для котрих запропоновані алгоритми формування і аналізу моделей.

До найбільш важливих отриманих результатів слід віднести:

- побудова методу представлення та аналізу еколого-економічних систем, що дозволяє тими ж засобами описувати, досліджувати і вирішувати задачі знаходження оптимальних рішень в цих системах;

- побудова і дослідження нового класу ігор - багаторівневих коаліційних ігор в загальній формі і знаходження умов, при котрих ці ігри мають рішення, що реалізуються у класі точних коректних алгоритмів, що досягається завдяки зведенню БКД-ігор к класу матричних ігор;

- побудовані евристичні розпізнаючі алгоритми вирішення БКД-ігор і оптимізації еколого-економічних систем, показана ефективність знаходження цих рішень у класі алгоритмів з пам'яттю;

- відповідаюча цим алгоритмам система вирішення задач є новим класом експертних систем, а також систем аналізу і підтримки процесів прийняття рішень;

- побудовані методи аналізу реалізовані в межах двох працюючих програмних систем, що можуть бути застосовані для важливіших економічних задач у міському господарстві та фінансово-економічної діяльності практично любого підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Полумиенко С. К. Моделирование и оптимизация систем информационного обеспечения научных исследований // Автоматизация информационного обеспечения научных исследований. Глава 2. // Под ред. А. А. Стогния. - Киев: Наукова думка, 1990. - С. 39 - 72.

2. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К. Построение структуры базы данных эвристическими алгоритмами в информационно-распознающих системах ИРМА // Банки данных и автоматизированные системы обработки данных. - Киев: ИК АН УССР. - 1980. - С. 25 - 33.

3. Полумиенко С.К. Алгоритмы распознавания в интерактивных информационно-распознающих системах // Тезисы докладов и сообщений IV школы-семинара "Интерактивные системы". - Тбилиси:

Мецниереба. - 1982. - Кн. 2. - С. 135 - 136.

4. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К. Сравнительный анализ компонент алгоритмов проектирования схем баз данных // Методы и процедуры проектирования схем баз данных. - Киев: ИК АН УССР. - 1982. - С. 14 - 20.

5. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К. Принципы построения информационно-распознающей системы по СУБД и ИПС // Распределенные банки данных и информационно-поисковые системы. - Киев: ИК АН УССР. - 1982. - С. 71 - 76.

6. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К., Рыбалко Ю.А. Подход к решению одного класса задач проектирования АИС // Системные исследования и автоматизация проектирования структур комплексных АСУ. - Львов: ВНИИМИУС. - 1982. - С. 90 - 102.

7. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К. Информационно-решающие методы и средства описания процесса проектирования АИС. - Киев: ИК АН УССР. - 1983. - № 3121 - 83Деп. - 47 с.

8. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К., Зубенко А.Г. Классификация информационных систем // Тезисы докладов II Всесоюзной конференции "Банки данных". - Киев: ИК АН УССР. - Секция 1. Теоретические основы построения баз данных. - 1983. - С. 38 - 40.

9. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К. О компонентах информационно-решающих систем // Банки данных в научных исследованиях. - Киев: ИК АН УССР. - 1983. - С. 59 - 64.

10. Кондратьев А.И., Исраилов А.М., Полумиенко С.К. Стратегические информационно-распознающие алгоритмы // Проблемы искусственного интеллекта и распознавания образов. Научная конференция с участием ученых социалистических стран. Тезисы докладов и сообщений. - Киев: ИК АН УССР. - Секция II. Распознавание образов. - 1984. - С. 116 - 118.

11. Зубенко А.Т., Исраилов А.М., Кондратьев А.И., Полумиенко С.К. Применение информационно-распознающих систем при проектировании АИС // Средства информационного обеспечения научных исследований. - Киев: ИК АН УССР. - 1984. - С. 16 - 21.

12. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К., Исраилов А.М. О задачах и алгоритмах теории информационно-распознающих систем. - Хабаровск: ВЦ ДВНЦ АН СССР. - 1984. - 21 с.

13. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К., Исраилов А.М. Математическая теория информационно-распознающих систем. - Хабаровск: ВЦ ДВНЦ АН СССР. - 1984. - 23 с.

14. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К., Исраилов А.М. Стратегическое расширение моделей информационно-распознающих алгоритмов.- Хабаровск: ВЦ ДВНЦ АН СССР. - 1984. - 24 с.

15. Разработать методы и средства автоматизации проектирования баз данных: Отчет. Книга III. Теоретико-игровой подход к решению задач проектирования баз данных /ИК АН УССР; Руководитель темы А.А. Стогний; Исполн.: А.И. Кондратьев, С.К. Полумиенко - № ГР 01828029429; инв. № 02850066978. - Киев: - 1984. - 76 с.

16. Исраилов А.М., Кондратьев А.И., Полумиенко С.К., Семидел Е.П. Модель одного класса АИС // Математические методы в автоматизированных информационных системах. - Киев: ИК АН УССР. - 1985. - С. 55 - 62.

17. Исраилов А.М., Кондратьев А.И., Полумиенко С.К., Семидел Е.П. Модель одного класса АИС // Математические методы в автоматизированных информационных системах. - Киев: ИК АН УССР. - 1985. - С. 55 - 62.

18. Полумиенко С. К. Теоретико-игровая схема решения задач вычмсления свойств. - Дисс... канд. физ.-мат. наук. - Киев: ИК АН УССР. - 1985. - 156 с.

19. Математические модели, алгоритмы и результаты классификации АИС и их сфер применения: Отчет. /ИК АН УССР; Руководитель темы А.А. Стогний; Исполн.: А.И. Кондратьев, С.К. Полумиенко, Е.П. Семидел, А.М. Исраилов. - № ГР 01830014896; инв. № 02860070198. - Киев: - 1985. - 193 с.
20. Математические модели, алгоритмы и программы классификации состояний системы интеграции неоднородных баз данных: Отчет. /ИК АН УССР; Руководитель темы А.А. Стогний; Исполн.: А.И. Кондратьев, С.К. Полумиенко, Е.П. Семидел, А.М. Исраилов. - № ГР 01824012207; инв. № 02860070019. - Киев: - 1985. - 27 с.
21. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К. Одна модель принятия решений в системах вычисления свойств // Декомпозиция и координация в сложных системах. Тезисы докладов и сообщений Всесоюзной конференции. - Челябинск: ЧПИ. - 1986. - С. 25.
22. Исраилов А.М., Кондратьев А.И., Полумиенко С.К., Семидел Е.П. Теоретико-игровая модель в задачах анализа СУБД // Создание автоматизированных систем информационного обеспечения науччих исследований. - Киев: ИК АН УССР. - 1986. - С. 11 - 18.
23. Система автоматизации информационного обеспечения научного исследования: Заключительный отчет. Книга ЛI. Методические и программные средства АСИО по вычислительной технике. /ИК АН УССР; Руководитель темы А.А. Стогний; Исполн.: В.А. Темперанский, Ю.П. Каширин, В.М. Дриянский, Полумиенко и др. - № ГР 81085932; инв. № 02870051437. - Киев: - 1986. - 186 с.
24. Полумиенко С.К., Семидел Е.П. Об одной системе анализа применений банков данных // Методы и средства разработки информационного обеспечения для задач управления. - Киев: ИК АН УССР. - 1987. - С. 76 - 82.
25. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К., Стогний А.А. Построение

структурных теоретико-игровых моделей сложных систем. - Владивосток. - 1987. - 48 с. (Препр. /АН СССР.ДВНЦ).

26. Полумиенко С.К., Семидел Е.П. Об одной схеме алгоритмов анализа разнородной информации // Методы и средства информационной технологии на основе систем баз данных и знаний. - Киев: ИК АН УССР. - 1988. - С. 58 - 63.

27. Полумиенко С.К. Функциональные модели сложных систем // Системы баз данных и знаний. Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции "Банки данных". - Калинин: НПО "Центрпрограммсистем". - Секция 1. Теоретические основы СУБД и СУБЗ. - 1989. - С. 20 - 21.

28. Полумиенко С.К., Семидел Е.П., Зыков С.Ю. Позиционные структуры управления решением задач анализа разнородной информации // Модели, методы и средства принятия решений. - Владивосток: ДВО АН СССР. - 1989. - С. 43 - 48.

29. Полумиенко С.К., Рыбкин М.Ю. Дескриптивные функциональные модели // Теоретико-игровые методы в разработке информационно-распознающих систем. - Владивосток: ДВО АН СССР. - 1989. - С. 76 - 89.

30. Полумиенко С.К., Савин С.З., Зыков С.Ю. О свойствах общих моделей информации // Теоретико-игровые методы в разработке информационно-распознающих систем. - Владивосток: ДВО АН СССР. - 1989. - С. 90 - 101.

31. Кондратьев А.И., Полумиенко С.К., Савин С.З. Исследование схемы решения задач вычисления свойств // Прикладной численный анализ и математическое моделирование. - Владивосток: ДВО АН СССР. - 1989. - С. 140 - 149.

32. Polumiyenko S.K. An approach to the extension of the structural game-theoretical models // Знание - Диалог - Решение.

Приложение к материалам научно-технического семинара. - Ленинград: "Знание". - 1991. - С. 39 - 42.

33. Полумиенко С.К. Функциональные модели предметной области // Базы данных и знаний в автоматизированных региональных системах. - Киев: Наукова думка. - 1991. - С. 178 - 186.

34. Полумиенко С.К. Дескриптивное моделирование эколого-экономических систем // Проблемы информатики города. - Киев: Наукова думка. - 1991. - С. 179 - 194.

35. Полумиенко С. К. О расширениях коалиционных игр // Кибернетика и системный анализ. - 1992. - № 1. - С. 107 - 115.

36. Полумиенко С. К. Коалиционные стохастические игры // Кибернетика и системный анализ. - 1993. - № 1. - С. 82 - 93.

37. Polumiyenko S.K. The Ecosystem Structural Game-Theoretical Model // Chaos, Catastrophes, and Self-Organization in Social Systems / Edited by Klaus G. Troitzsch. - Berlin: Akademie Verlag. - 1993. - Pp. 149 - 165.

38. Беляева И.П., Полумиенко С.К. Система анализа и оптимизации пассажирских перевозок SANTI-2 // Программные продукты Украины. Каталог. - Киев: СП "ТЕКНОР". - 1993. - С. 58.

Полумиенко С. К. Эвристические методы моделирования и анализа сложных прикладных систем.
Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.05.01 - теоретические основы информатики и кибернетики (математическая кибернетика), Институт прикладной информатики, Киев, 1994.
Рассматриваются методы построения моделей и алгоритмов анализа и оптимизации эколого-экономических и других сложных прикладных систем, основанные на эвристическом подходе к построению и анализу теоретико-игровых моделей. Построен общий метод моделирования и анализа, введены и исследованы новые классы многоуровневых коалиционных игр, постановки задач анализа и алгоритмы их решения. Построена общая схема решения задач, описаны соответствующие программные системы.

Polumiyenko S.K. Heuristic Methods for Modeling and Analysis of Complex Applied Systems.
The Doctor's Thesis in Physics and Mathematics at 01.05.01 - Theoretical Foundations of Informatics and Cybernetics (Mathematical Cybernetics), Institute of Applied Informatics, Kiev, 1994.
Methods for constructing of models and algorithms for ecological and economic and other complex applied systems analysis and optimization are considered. They are based on the heuristic approach to the game-theoretical models constructing and analysis. It is developed general method of modeling and analysis, there are introduced and studied new classes of multilevel coalitional games, analysis problems formulations and algorithms of their solution. The general scheme of problem solving is constructed, program systems corresponding to it are described as well.

Ключові слова: еколого-економічні системи, евристичні алгоритми, розпізнання образів, теоретико-ігрове моделювання, прийнятя рішень.

Полуляненко С. К. Эвристические методы моделирования и анализа сложных прикладных систем.

Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.05.01 — теоретические основы информатики и кибернетики (математическая кибернетика). Институт прикладной информатики, Киев, 1994.

Рассматриваются методы построения моделей и алгоритмов анализа и оптимизации экологоэкономических и других сложных прикладных систем, основанные на эвристическом подходе к построению и анализу теоретико-игровых моделей. Построен общий метод моделирования и анализа, введены и исследованы новые классы многоуровневых коалиционных игр, постановки задач анализа и алгоритмы их решения. Построена общая схема решения задач, описаны соответствующие программные системы.

Polulyenko S.K. Heuristic Methods for Modeling and Analysis of Complex Applied Systems.

The Doctor's Thesis in Physics and Mathematics at 01.05.01 - Theoretical Foundations of Informatics and Cybernetics (Mathematical Cybernetics). Institute of Applied Informatics, Kiev, 1994.

Methods for constructing of models and algorithms for ecological and economic and other complex applied systems analysis and optimization are considered. They are based on the heuristic approach to the game-theoretical models constructing and analysis. It is developed general method of modeling and analysis, there are introduced and studied new classes of multilevel coalitional games, analysis problem formulations and algorithms of their solution. The general scheme of problem solving is constructed, program systems corresponding to it are described as well.

Підписано до друку: 19.12.94 г. Формат 60x84 1/16. Обʼєм 1,9 д.а. Зам. N 5007 Тираж 100 примірників.

Державне комунальне поліграфічне підприємство "Тираж" м.Київ

Ключові слова: ... евристичні алгоритми, розпізнавання образів, теоретико-ігрове моделювання, прийняття рішень.