

УДК 004.94:658.01

## РЕГУЛЯРИЗАЦІЯ РІШЕНЬ В ІНДУКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ СИСТЕМНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В.В. Осипенко

*Інститут енергетики і автоматики*

*Національного університету біоресурсів і природокористування України*

*vvo7@ukr.net*

Показано, що системні інформаційно-аналітичні дослідження відносяться до некоректно поставлених завдань, і для ефективного їх вирішення слід застосовувати регуляризацію. З цією метою запропоновано систему нових критеріїв та виконано теоретичне обґрунтування їх застосування в технологіях системно-аналітичних досліджень на основі принципів індуктивного моделювання і методів розв'язання некоректних завдань.

*Ключові слова: системно-аналітичне дослідження, регуляризація, індуктивне моделювання, критерій, релевантність, корелевантність, баланс, інформаційний базис*

It is shown that a system information-analytical researches are referred to incorrectly formulated problems to solve which effectively some regularization is necessary to be applied. For this purpose a system of new criteria have been proposed and the theoretical study of their use in technology of system-analytic studies is performed based on principles of inductive modeling and methods of incorrect problems solving.

*Keywords: system-analytical study, regularization, inductive modeling, criterion, relevance, corelevance, balance of information base*

Показано, что системные информационно-аналитические исследования относятся к некоректно поставленным задачам, и для эффективного их решения необходимо применять регуляризацию. С этой целью предложена система новых критериев и выполнено теоретическое обоснование их применения в технологиях системно-аналитических исследований на основе принципов индуктивного моделирования и методов решения некорректных задач.

*Ключевые слова: системно-аналитическое исследование, регуляризация, индуктивное моделирование, критерий, релевантность, корелевантность, баланс, информационный базис*

### ВСТУП

Серед багатогранного спектру системних інформаційно-аналітичних досліджень (СІАД) окреме й важливе місце займають два їх типи. Перші з них націлені на оцінювання й відбір уже розроблених документів чи проектів у тій чи іншій сфері застосувань (інноваційні технології, нові бізнес-процеси, глобальні прогнози і т.п.) та зафіксованих у патентах, спеціальних документах тощо, а другі – навпаки, орієнтовані на створення таких документів, які би дозволяли одержувати означені продукти.

Перший тип можна зарахувати до прямих завдань, оскільки при умові відбору лише одного претендента результатом таких досліджень буде однозначний вибір одного документа. Адже неможливо застосовувати одночасно

декілька, нехай і дуже подібних технологій для виробництва однієї й тієї ж продукції, оскільки таке застосування призведе до отримання різних, можливо й подібних продуктів. Сюди відносяться, наприклад, інформаційно-аналітичні дослідження з оцінювання степеню готовності й відбору технологій до їх трансферу [1], експертного аналізу сценаріїв [2] та багато інших.

Другий тип завдань СІАД принципово відрізняється від попереднього і його слід зарахувати до обернених завдань СІАД із таких очевидних причин:

1) на етапі постановки проблеми вид кінцевого рішення може існувати лише як деякий еталонний формальний об'єкт, створений групою експертів;

2) початковий інформаційний базис з вирішення поставленої проблеми зазвичай є суттєво обмеженим і на питання, яка інформація ще може знадобитися для одержання оптимального рішення, на початку дослідження відповіді немає.

Тому в результаті виконання такого типу інтелектуальних проектів може бути одержано декілька, а взагалі кажучи, *безліч рішень*. Наприклад, на одну й ту ж “вільну” тему, відібрану як *єдину* групою вчителів (експертною комісією), буде написано рівно стільки *різних* творів, скільки учнів писали цей твір у даний час і, більше того, ці ж самі учні за кілька днів напишуть ще рівно стільки ж уже “нових” творів на ту ж саму тему. Але, що важливо, незначні зміни у постановці завдання можуть призвести до як завгодно великих змін у творах-результатах.

## ПОСТАНОВКА Й МЕТА РОБОТИ

Отже, є вагомі підстави констатувати, що в СІАД другого типу об'єктивно присутні дві групи згаданих суттєвих “некоректностей” (невизначеностей), які стосуються, по-перше, принципового незнання оптимального інформаційного базису майбутнього результату й, по-друге, принципової багатозначності майбутніх варіантів рішень. Тому обернене завдання СІАД другого типу слід зарахувати до класу так званих суттєво некоректних задач. Тут є тісні аналогії з індуктивним методом оберненого розгортання матриць ймовірностей переходів у початкову реалізацію або прогноз [3] зокрема та ймовірнісних характеристик у початкову реалізацію випадкових процесів у загальному випадку, в тому числі й для вирішення завдань просторового прогнозування.

В [3] для обернених задач розгортання матриць переходів у початкову реалізацію досліджено питання регуляризації з метою отримання оптимальних довгострокових прогнозів. Авторами цієї роботи застосовано підходи до вирішення суттєво некоректних завдань, які базуються на ідеях методу розв'язання некоректно поставлених задач А.Н. Тихонова [4], [5].

Отже, оскільки технології СІАД взагалі й індуктивні процедури їх виконання зокрема є некоректно поставленими завданнями принципово, для їх розв'язання необхідно застосовувати певні регуляризуючі й стабілізуючі впливи,

які б дозволяли синтезувати стійкі до незначних змін у їхній постановці й оптимальні у сенсі поставлених критеріїв рішення.

**Мета роботи** полягає у теоретичному дослідженні впливу цілеспрямованих регуляризуючих дій, які базуються на певній апріорній інформації про об'єкт системно-аналітичного дослідження з метою суттєвого зменшення впливу на кінцевий результат некоректностей, які об'єктивно можуть виникнути як на стадії постановки проблеми СІАД, так і в процесі виконання такого дослідження.

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У дослідженнях використано описаний в [6] метод індуктивного СІАД, який базується на принципах індуктивного моделювання складних систем [7]. При формулюванні деяких понять, означень, властивостей і доведенні теоретичних тверджень певною мірою використано фундаментальні ідеї й термінологію методу розв'язання некоректно поставлених задач А.Н. Тихонова [4], [5], а також відповідні розділи функціонального аналізу [8], [9].

## РЕЗУЛЬТАТИ Й ОБГОВОРЕННЯ

**Терміни, критерії й об'єкти індуктивних технологій СІАД.** В індуктивних технологіях СІАД оперують певними спеціальними об'єктами й термінами. Нагадаємо їх.

Під результатом  $R^*(I_b^*)$  в комплексних СІАД мається на увазі специфічний документ  $D\{R^*(I_b^*)\}$ , у якому відображені результати системного аналізу складного об'єкта (процесу, явища, проблеми взагалі), який базується на сконструйованому в процесі дослідження оптимальному інформаційному базисі  $I_b^*$ , відповідає установленим вимогам, має інформаційно-рекомендуючий характер, наділений певним офіційним статусом та рівнем доступу [6].  $D\{R^*(I_b^*)\}$  означає готовий і оформлений згідно з вимогами документ, побудований на результатах досліджень  $R^*(I_b^*)$ .

Образ цільового або еталонного результату – це формалізовані висновки членів експертної комісії (ЕК) [10], [11] у вигляді прямокутної матриці  $A = (e_{ij})$ , розмірністю  $n \times m$ ,  $i$ -й рядок якої,  $i = 1, 2, \dots, m$ , відображає один із беззаперечних видів вимог до кінцевого результату дослідження с позицій членів ЕК, а  $j$ -й стовпчик,  $j = 1, 2, \dots, n$  – можливі градації формалізованих оцінок  $i$ -го елемента. Така матриця відповідає еталонному результату  $R^0(I_b^0)$ .

$W(R_k(I_b^s))$  – це формалізована матриця певного часткового результату  $R_k(I_b^s)$ , який відповідає поточному інформаційному базису  $I_b^s$  на  $s$ -му кроці дослідження. Нагадаємо, що згідно з методологією індуктивних технологій СІАД

[6], такі дослідження повинні незалежно виконуватися двома аналітичними групами, поміченими як А і В. Це означає, що формалізовані матриці  $W(R_k(I_b^s))$  теж повинні будуватися для всіх часткових результатів, отриманих такими групами, а саме  $W(R_k(I_b^s))^A$  і  $W(R_k(I_b^s))^B$  відповідно.

$I_b^1$  – заданий первинний інформаційний базис, а  $I_b^+$  – певна цільова “порція” моніторингової інформації, яка повинна доповнювати уже наявний ансамбль  $I_b^s$  з метою поліпшення результату  $R_k(I_b^s)$ , наближаючи його до еталонного  $R^0(I_b^0)$  з інформаційним базисом  $I_b^0$ .

Якщо позначити через  $\Delta_{rel}^2$  матрицю, елементи  $\delta_{ij}^2$  якої дорівнюють квадратам різниць елементів матриць  $W(R_k(I_b^s))$  і  $E(R^0(I_b^0))$  (усі матриці мають однакові розмірності  $n \times m$ ), то під системною релевантністю  $SR$  в СІАД слід розуміти міру виду [6], [12]:

$$SR = \left\| W(R_k(I_b^s)) - E(R^0(I_b^0)) \right\|, \quad (1)$$

а критерій системної релевантності має вигляд:

$$CR_{rel} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\delta_{ij}^2)_{W \circ E}}. \quad (2)$$

Згідно з [6], [12], під корелевантністю треба розуміти міру виду:

$$SCR = \left\| W(R_k(I_b^s))^A - W(R_k(I_b^s))^B \right\|, \quad (3)$$

а критерій корелевантності можна записати як:

$$CR_{corel} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\delta_{ij}^2)_{W^A W^B}}. \quad (4)$$

У виразах (1) – (4):  $k$  – номер варіанту рішення, кількість  $K$  яких задається модератором (керівником робочої групи проекту дослідження),  $s = 1, \dots, S$  – номер кроку процедури індуктивної технології СІАД,  $(\delta_{ij}^2)_{WE}$  – елементи матриці  $\Delta_{rel}^2$ , які дорівнюють квадратам різниць між елементами матриць  $W(R_k(I_b^s))^A$  або  $W(R_k(I_b^s))^B$  та відповідними елементами еталонної матриці  $E(R^0(I_b^0))$ ,  $(\delta_{ij}^2)_{WW}$  – елементи матриці  $\Delta_{corel}^2$ , які дорівнюють квадратам різниць елементів  $w_{ij}^A$  і  $w_{ij}^B$ , які стоять на відповідних місцях матриць  $W(R_k(I_b^s))^A$  і  $W(R_k(I_b^s))^B$ , а матриця  $\Delta_{corel}^2$  за

суттю є аналогічною до матриці  $\Delta_{rel}^2$ . Усі матриці  $W(R_k(I_b^s))^A$ ,  $W(R_k(I_b^s))^B$ ,  $\Delta_{rel}^2$ ,  $\Delta_{corel}^2$  та еталонна матриця  $E(R^0(I_b^0))$  мають однакові розмірності  $n \times m$ .

На кожному кроці індуктивної процедури значення критеріїв (2) і (4) повинні обмежуватись зверху порогами  $\delta_\alpha$  і  $\delta_\beta$  відповідно, значення яких можуть задаватися, виходячи із конкретних умов вирішуваного завдання.

Пороги можуть також задаватися у відсотках, виходячи, наприклад, із таких виразів:

$$\delta_{\alpha(\%)} = \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\delta_{ij}^2)_{WE}} / \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (e_{ij}^2)} \right] \times 100\% = \delta_{\alpha \min} \leq 5\% \quad , \quad (5)$$

$$\delta_{\beta(\%)} = \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\delta_{ij}^2)_{WW}} / \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (w_{ij}^A + w_{ij}^B)^2} \right] \times 100\% = \delta_{\beta \min} \leq 3\% \quad . \quad (6)$$

Третім важливим критерієм в індуктивних технологіях СІАД є *критерій балансу інформаційних базисів*  $CR_{inf}(I_b)$  [12]. Цей критерій призначений для відбору на кожному кроці індуктивної процедури тільки такого виду за формою та змістом інформації  $I_{bs}^+$ , запити на яку співпадали б від обох аналітичних груп (багатозначність у запитах не допускається) і цілеспрямовано наближували би поточний інформаційний базис до оптимального  $I_b^*$ . Як зазначалося в [12], така вимога є обов'язковою для забезпечення однозначної відповідності певному одному інформаційному базису  $I_b^s$  тільки одній множині результатів  $\{R^s(I_b^s)^{A,B}\}$  в кожній аналітичній групі А, В і зокрема, по одній обмеженій множині  $\{R_s^\delta(I_b^s)^{A,B}\}$ . Критерій балансу інформаційних базисів має такий вигляд [12]:

$$CR_{inf}(I_b) = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \delta_{sk} \rightarrow \min \quad , \quad (7)$$

$$\text{де:} \quad \delta_{sk} = \begin{cases} 0, & I_b^{sk(A)} = I_b^{sk(B)} \\ 1, & I_b^{sk(A)} \neq I_b^{sk(B)} \end{cases} \quad , \quad (8)$$

$K$  – кількість допустимих запитань в запитах на  $s$ -му кроці дослідження.

**Регуляризація індуктивної процедури СІАД.** Покажемо, що система критеріїв і певна циклічна послідовність їх застосування, зокрема  $CR_{rel}(\cdot) \rightarrow CR_{corel}(\cdot) \rightarrow CR_{inf}(\cdot) \rightarrow CR_{rel}(\cdot) \rightarrow \dots$ , регуляризує процедуру вирішення завдання індуктивного СІАД.

Нехай  $F_1^{\delta,s}$  – множина рішень  $R_k^\delta(I_b^s)^A$  по групі А, відібраних за критерієм (2),  $F_2^{\delta,s}$  – множина рішень  $R_k^\delta(I_b^s)^B$  по групі В й також відібраних за цим же

критерієм на  $s$ -му кроці,  $F_0^{\delta,s} \equiv (F_1^{\delta,s} \times F_2^{\delta,s})$  – множина результатів СІАД, які пропускаються на наступний  $(s+1)$ -й крок дослідження в обох групах А, В і множина  $F^s$  ( $F_0^{\delta,s} \subset F^s$ ) включає всі синтезовані й подані на тестування рішення на даному кроці. Отже, критерій (2) призначений для попереднього відбору множини  $F_0^\delta$  ( $F_0^{\delta,s} \subset F_0^\delta$ ) результатів у двох аналітичних групах, для яких він набуває найменших значень на всіх етапах індуктивної технології СІАД. На останньому кроці вибирається одне оптимальне рішення  $R^*(I_b^*)$  з множини  $F_0^{\delta,\tilde{s}}$  оптимальних рішень,  $F_0^{\delta,\tilde{s}} \subset F_0^\delta \subset \mathfrak{R}$  ( $\tilde{s}$  – останній етап індуктивної процедури). Цей етап настає, коли значення порогів  $\delta_\beta \leq \delta_{\beta \min}$  і  $\delta_\alpha \leq \delta_{\alpha \min}$  досягають мінімальних наперед заданих їх значень допустимої точності й розбіжності результатів по обох аналітичних групах.

З огляду на ідею й використовуючи термінологію методу вирішення некоректних завдань [4], [5], у схемі регуляризації індуктивної процедури СІАД на позиції регуляризуючого функціоналу пропонується застосувати критерій корелевантності  $CR_{corel}(\cdot)$ , а як стабілізуючий функціонал – критерій релевантності  $CR_{rel}(\cdot)$ . Такий вибір може здатися дещо парадоксальним, але власне системний критерій релевантності може бути ефективно застосований як стабілізуючий функціонал, оскільки очевидно, що саме цей критерій в індуктивних технологіях СІАД, окрім інших системних завдань, виконує ще й роль певного аналога критерію точності  $\Delta(\tilde{N})$  в алгоритмах і процедурах індуктивного моделювання [7], де можуть також задаватися пороги точності синтезованих часткових або результуючих моделей.

Функціонал (2), як стабілізуючий, має такі властивості:

- 1)  $CR_{rel}(\cdot) \geq 0$ ;
- 2) усі результати  $R(I_b)^A$ ,  $R(I_b)^B$ ,  $R^*(I_b^*)$  і  $R^0(I_b^0)$ , а точніше їхні формалізовані образи – матриці  $W(\cdot)$ , належать до області його застосування;
- 3) для будь-якого  $\delta > 0$  множина  $F_0$  рішень  $R(I_b)^{A,B} \in F_0$ , для яких  $CR_{rel}(\cdot) \leq \delta$ , є компактною на  $\{F_0\} \equiv \mathfrak{R}$ .

Відомо, що необхідною й достатньою умовами компактності множини  $\mathbf{M}^{\mathfrak{R}}$  з евклідового простору  $\mathfrak{R}^n$  є її обмеженість і замкненість [8].

Функціонал  $CR_{corel}(\cdot) \rightarrow \min$  може виконувати роль регуляризуючого, якщо він володіє такими властивостями:

- 1) оптимальне значення критерію  $CR_{corel}(\cdot) \rightarrow \min$ , а саме –  $CR_{corel}^*(\cdot)$ , є мінімальним на множині усіх його  $\delta$ -обмежених значень, тобто:

$$CR_{corel}^* = \min\{CR_{corel}[W(R_k^\delta(I_b^s))^A, W(R_k^\delta(I_b^s))^B]\} = \\ = CR_{corel}[W^*(R_k^*(I_b^*))^A, W^*(R_k^*(I_b^*))^B] \geq 0 \quad ; \quad (9)$$

2) оскільки критерій  $CR_{inf}(I_b)$  визначений для всіх пар інформаційних запитів  $\{I_b^{sk(A)\delta}, I_b^{sk(B)\delta}\}$  таких, що породжують відповідні результати  $\{R_k^\delta(I_b^s)^A, R_k^\delta(I_b^s)^B\}$ , то існує  $\delta_1 \geq 0$  таке, що функціонал  $CR_{corel}(\cdot)$  визначений для всіх відповідних пар  $\{W(R_k^\delta(I_b^s))^A, W(R_k^\delta(I_b^s))^B\}$ , для яких

$$\|W(R_k^\delta(I_b^s))^A - W(R_k^\delta(I_b^s))^B\| \leq \delta \leq \delta_1; \quad (10)$$

3) нехай існує “точно” в сенсі (2) рішення (за термінологією індуктивних технологій СІАД – це еталонний результат дослідження)  $R^0(I_b^0)$  таке, що повністю співпадає з вимогами еталонного й формалізованого в  $\mathring{A}(R^0(I_b^0))$  результату та побудоване як єдине на відповідній еталонній інформаційній базі  $I_b^0$ ; тоді для будь-якого  $\varepsilon > 0$  існує  $\delta_0(\varepsilon) \leq \delta_1$  таке, що із нерівності

$$|w_{ij}^*(R^*(I_b^*))^A - e_{ij}(R^0(I_b^0))| \leq \delta \leq \delta_0, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (11)$$

впливає нерівність

$$\|W^*(R^*(I_b^*))^B - \mathring{A}(R^0(I_b^0))\| \leq \varepsilon, \quad (12)$$

а також із нерівності

$$|w_{ij}^*(R^*(I_b^*))^B - e_{ij}(R^0(I_b^0))| \leq \delta \leq \delta_0, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (13)$$

впливає нерівність

$$\|W^*(R^*(I_b^*))^A - \mathring{A}(R^0(I_b^0))\| \leq \varepsilon. \quad (14)$$

У виразах (11) – (14):  $w_{ij}^*(R^*(I_b^*))^{(\cdot)}$  і  $e_{ij}(R^0(I_b^0))$  – однопозиційні елементи матриць  $W^*(R^*(I_b^*))^{(\cdot)}$  і  $\mathring{A}(R^0(I_b^0))$  відповідно, а матриця  $W^*(R^*(I_b^*))^{(\cdot)}$  є формалізованим образом результату, відібраного на останньому кроці СІАД з множини створених аналітичними групами А і В результатів. Цей результат і є оптимальним у сенсі прийнятої системи критеріїв, тобто відповідає мінімуму критерію корелевантності  $CR_{corel}(\cdot)$  і мінімізує критерій  $CR_{rel}(\cdot)$ .

Властивість 1), яку повинен мати регуляризуючий функціонал, очевидна і безпосередньо виходить із означення критерію корелевантності  $CR_{corel}(\cdot)$ .

Властивість 2) для критерію  $CR_{corel}(\cdot)$  теж є очевидною, оскільки цей критерій, як регуляризуючий функціонал, є мірою, заданою на множині своїх значень в евклідовому просторі  $\mathfrak{R}^1$ .

Властивість 3) означає, що при наближенні до мінімуму критерію корелевантності  $CR_{corel}(\cdot)$  результати обох груп  $R(I_b)^A$  і  $R(I_b)^B$  змістовно повинні максимально співпадати, а відповідні формалізовані матриці результатів досліджень  $W(R(I_b))^A$  і  $W(R(I_b))^B$  також повинні максимально співпадати й наближатися до матриці еталонного результату  $E(R^0(I_b^0))$ .

**Теорема.** Невід’ємний функціонал

$$CR_{corel} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\delta_{ij}^2)_{WW}}$$

є регуляризуючим в індуктивних технологіях системних інформаційно-аналітичних досліджень і має властивості 1) – 3) такого функціоналу.

*Доведення.* Оскільки стосовно властивостей 1) – 2) коментарі уже зроблені, це доведення стосується лише третьої властивості. Очевидно, що доведення є симетричним відносно результатів груп А чи В, тому проведемо його тільки стосовно однієї з аналітичних груп, наприклад, А.

Оскільки матриця  $W(R^*(I_b^*))^A$  результату  $R^*(I_b^*)^A \in F_0^\delta \subset F_0$  мінімізує стабілізуючий функціонал  $CR_{rel}[W(R^*(I_b^*))^A, E(R^0(I_b^0))]$  на множині  $F_0^\delta$  і  $R^0(I_b^0) \in F_0$ , то, очевидно, що

$$\begin{aligned} CR_{rel}[W(R^*(I_b^*))^A, E(R^0(I_b^0))] &\leq \\ &\leq CR_{rel}[W(R^0(I_b^0)), E(R^0(I_b^0))] \equiv CR_{rel}[E(R^0(I_b^0)), E(R^0(I_b^0))] \end{aligned} \quad (15)$$

Це означає, що результат  $R^*(I_b^*)^A$  належить компактній на  $F_1$  множині  $F_1^\delta \equiv \{R^*(I_b^*)^A : CR_{rel}[W(R^*(I_b^*))^A, E(R^0(I_b^0))] \leq CR_{rel}[W(R^0(I_b^0)), E(R^0(I_b^0))]\}$ . (16)

Нехай у процесі виконання СІАД отримана послідовність  $\{R_n(I_b)\}^B$  результатів з однозначно відповідними образами  $\{W(R_n(I_b))\}^B$  така, що

$$\|W(R(I_b))^B - W(R_n(I_b))^B\| \leq \delta_n, \quad (17)$$

де  $\{\delta_n\}$  – послідовність додатних чисел, яка збігається до нуля. В силу властивості 2), для кожного  $\delta_n$  визначена множина  $F_{1,n}^\delta$ , і нехай

$$\{R_n^\delta(I_b)\}^A = F_{1,n}^\delta \cap F_1. \quad (18)$$

За припущенням у кожній з множин  $\{R_n^\delta(I_b)\}^A$  існує результат  $R_n^*(I_b^*)^A$ , матриця  $W(R_n^*(I_b^*))^A$  якого мінімізує стабілізуючий функціонал  $CR_{rel}(\cdot)$  на цій множині. Отже, послідовності  $\{\delta_n\}$  відповідає послідовність матриць результатів  $\{W(R_n^\delta(I_b))\}^A$ , що належать компактній на  $F_1$  множині результатів  $F_{1,n}^\delta = \{R_n^\delta(I_b)\}^A$ .



Звідси виходить, що із послідовності  $F_{1,n}^\delta$  можна виділити збіжну підпослідовність  $F_{1,n_k}^\delta = \{R_{n_k}^\delta(I_b)^A\}$  за однозначно відповідною їм підпослідовністю формальних образів – матриць  $\{W(R_{n_k}^\delta(I_b))^A\}$ .

Нехай поелементно

$$W(\tilde{R}(I_b))^A = \lim_{n_k \rightarrow \infty} W(R_{n_k}^\delta(I_b))^A. \quad (19)$$

Оскільки  $R_n^\delta(I_b)^A \in F_{1,n}^\delta$ , то, враховуючи (18), для всякого  $R_{n_k}^\delta(I_b)^A$  з відповідною матрицею  $W(R_{n_k}^\delta(I_b))^A$  виконується нерівність:

$$\|W(R_{n_k}^\delta(I_b))^B - W(R_{n_k}^\delta(I_b))^A\| \leq \delta_{n_k}. \quad (20)$$

Перейшовши до границі, одержимо

$$\|W(R^0(I_b))^B - W(\tilde{R}(I_b))^A\| = 0 \quad (21)$$

Таким чином (поелементно),

$$\lim_{n_k \rightarrow \infty} W(R_{n_k}^\delta(I_b))^A = E(R^0(I_b)). \quad (22)$$

Вираз (22) має місце для всякої збіжної підпослідовності  $\{W(R_{n_k}^\delta(I_b))^A\}$  і, отже, для будь-якої послідовності  $\{\delta_n\}$ ,  $\delta_n \geq 0$ , яка збігається до нуля, відповідна послідовність  $\{W(R_n^\delta(I_b))^A\}$  збігається до  $E(R^0(I_b))$ , а результат  $(R_n^\delta(I_b))^A$  до еталонного результату  $R^0(I_b)$ . А це означає, що для всякого  $\varepsilon > 0$  існує  $\delta_0(\varepsilon)$  таке, що з нерівності  $\|W^*(R^*(I_b))^B - \hat{A}(R^0(I_b))\| \leq \delta \leq \delta_0$  випливає нерівність  $\|W^*(R^*(I_b))^A - \hat{A}(R^0(I_b))\| \leq \varepsilon$  і, таким чином, властивість 3) регуляризуючого функціоналу для критерію корелевантності доведена.

Отже, тепер задачу індуктивної процедури СІАД можна сформулювати так: на основі заданого первинного інформаційного базису  $I_b^1$  та одержаної в процесі дослідження додаткової цільової інформації  $\{I_{bs}^+\}$  за критерієм  $CR_{inf}(I_b)$  необхідно синтезувати певну множину  $\mathfrak{R}$  результатів  $R(I_b) \in \mathfrak{R}$  з метою знаходження оптимального результату за мінімумами системи заданих критеріїв  $CR_{rel}(\cdot)$  і  $CR_{corel}(\cdot)$ . Результат  $R^*(I_b)$ , для якого значення критеріїв (2) і (4) мінімальне, тобто

$$R^*(I_b^*) = \begin{cases} \arg \min_{R(I_b) \in \mathfrak{R}} CR_{rel} \{W(R_k(I_b^s))^{(A,B)}, E(R^0(I_b^0))\} \\ \arg \min_{R(I_b) \in \mathfrak{R}} CR_{corel} \{W(R_k(I_b^s))^A, W(R_k(I_b^s))^B\}, \end{cases} \quad (23)$$

$$k = 1, \dots, K; s = 1, \dots, S$$

при  $CR_{inf}(I_b) \leq \delta^*$ , де  $\delta^*$  – максимально допустима розбіжність у інформаційних запитах аналітичних груп, називається оптимальним результатом комплексного СІАД.

## ВИСНОВКИ

Проблема системних інформаційно-аналітичних досліджень загалом відноситься до некоректно поставлених задач з точки зору строгих математичних формулювань. Напевно, в подібних складних інтелектуальних проектах з численними евристичними й елементами нечислової логіки тощо не слід намагатися повністю зводити такі процедури й технології до строгих у математичному сенсі понять, процедур і алгоритмів. Але, з іншого боку, при виконанні індуктивних СІАД менеджеру проекту необхідно спрямовувати дії аналітичних груп до досягнення оптимального результату. А це вимагає максимальної об'єктивізації технологій і, значить, де це доцільно й необхідно – формалізації процедур. Останнє, у свою чергу, вимагає формальних теоретичних досліджень виконання таких процедур, що й розглядалося в цій роботі. Отримані результати показують, що розроблена система принципово нових критеріїв, зокрема релевантності, корелевантності та балансу інформаційних базисів, регуляризують індуктивну технологію СІАД і дозволяють одержати оптимальний результат у процесі таких складних досліджень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Герасимов Б.М. Нові інформаційні технології та перспективи їх запровадження для побудови систем підтримки прийняття рішень / Б.М. Герасимов, І.Ю. Субач, Т.І. Євтухова // Автоматизація виробничих процесів. — 2004. — №1(18). — С.9—14.
2. Коваленко І.І. Концепція побудови системних інформаційних технологій підтримки експертного аналізу сценаріїв / І.І. Коваленко, В.І. Передерій, А.В. Швед // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Вип. 6 (71). — Дніпропетровськ, 2010. — С.74—88.

3. Ивахненко А.Г. О регуляризации решения задачи обратного развертывания матриц переходов в прогноз / А.Г. Ивахненко, В.В. Осипенко // Автоматика. — 1982. — №5. — С. 37 — 41.
4. Тихонов А.Н. О регуляризации некорректно поставленных задач / А.Н. Тихонов // ДАН СССР — 1963. — Выпуск 153, №1. — С. 49 — 52.
5. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач // А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. — М.: Наука, — 1979. — 288 с.
6. Osypenko V.V. The Main Trends in Modern Inductive Information Technologies of System-Analytical Researches / V.V. Osypenko // Proceedings of 4-th International Workshop on Inductive Modeling (IWIM-2011), July 4–10, Kyiv, 2011. — Pp. 63—71.
7. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Ивахненко. — К.: Наукова думка, — 1982. — 296 с.
8. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа // А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. — М.: Наука, — 1976. — 400 с.
9. Вайнберг М.М. Функциональный анализ: Спец. курс / М.М. Вайнберг. — М.: Просвещение, — 1979. — 128 с.
10. Орлов А.И. Нечисловая статистика / А.И. Орлов. — М.: МЗ-Пресс, 2004. — 513 с.
11. Осипенко В.В. Синтез експертної матриці за метрикою Кемені в індуктивних технологіях інформаційно-аналітичних досліджень / В.В. Осипенко // Вісник НУБіП. Серія “Енергетика і автоматика в АПК”. — 2011. — №166 (3). — С. 119—127.
12. Осипенко В.В. Система критеріїв в індуктивних процедурах системних інформаційно-аналітичних досліджень / В.В. Осипенко // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Випуск 6 (77). — Дніпропетровськ. — 2011. — С. 67—76.