

УДК 681.5(042.3)

Семко В.В., к.т.н.

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ КІБЕРНЕТИЧНИХ ОРГАНІЗМІВ ТА СИНТЕЗ СТРАТЕГІЙ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ В КІБЕРНЕТИЧНОМУ ПРОСТОРИ

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України

Розглянуто питання формального опису процесів в кібернетичному просторі. Досліджені математичні засади врахування невизначеності опису властивостей об'єктів спостереження в лінійному топологічному просторі, як наслідку дії апарату представлення. Синтезовано узагальнену модель взаємодії фізичних та віртуальних об'єктів в просторі їх спостереження

Вступ

На поточний час не існує строгого визначення поняття інформація. У самому загальному випадку під інформацією розуміють відомості про навколишній світ і процеси, що відбуваються в ньому та можуть сприйматися людиною безпосередньо як фізіологічно, так і з використанням спеціальних пристроїв.

Субстанцією, що забезпечує життєвий цикл інформації, є інформаційний простір. Фізична сутність простору, в якому існує інформація, різноманітна і безпосередньо пов'язана з технічними та технологічними можливостями забезпечення життєвого циклу існування інформації, як такої.

Актуальність

Як предмет досліджень наука про інформацію почалася з теорії її передачі та визначення кількісних оцінок цілком невизначеного по своїй суті самого поняття інформації. Формалізація процесів, пов'язаних з поняттям інформації, на поточний час розглядається на основі апріорного сприйняття енергетичного світу як самодостатнього, виходячи з математичної теорії зв'язку К.Шеннона [1] і теорії автоматичного управління. У такому підході основними аспектами забезпечення життєвого циклу інформації та пов'язаних з нею процесів є питання її передачі, перетворення переданого, зберігання і використання. Побічно з'явилися напрямки досліджень, пов'язані з інформаційною безпекою, безпекою інформації, екологі-

єю інформації, утилізацією інформації, тощо. Всі існуючі технічні рішення, пов'язані із забезпеченням життєвого циклу інформації, виділено в окремий напрямок наукових досліджень та інженерних рішень, який отримав назву інформаційні технології.

За технологічними ознаками в інформаційному просторі виділено підпростір - кібернетичний простір (надалі – кіберпростір).

Слід зазначити, що кіберпростір, як такий, передбачає наявність деякого простору, що має протяжність та метрику.

В такому разі теорія інформації має математичну модельну сутність, яка неможлива без кількісних оцінок за Хартлі [2], К.Шеннона [1], Р.Фішера [3], А. Колмогорова [4], Н.Рашевського [5], Карнапа [6, 7], І.Бар-Хіллела [7]. Крім того, засоби обчислювальної техніки надають "нескінченні" можливості організації роботи з інформацією у всіляких її проявах.

При цьому зазвичай стверджується, що в теорії інформації мають місце такі ж закономірності, що й в термодинаміці, а саме те, що кількість інформації на N символів повідомлення носить назву ентропії, і в цьому розумінні поняття ентропії і кількості інформації збігаються [1]. В цьому випадку навіть інтуїтивне розуміння веде тільки до пропозицій типу заміни або доповнення кількості інформації кількістю семантики.

Мета

При переході від суті інформації до визначення одиниць міри в сенсі імовірності сутність поняття ентропії в термодинаміці і теорії має однаковий порядок, а повідомлення, за відомим методом Габора [8], передаються "квантами".

Для інформації слід прийняти аксіому відкритості. Тобто феномен інформації суть система відкрита і залишається такою тільки при використанні для контакту з нею відкритого інструментарію - фізичної чи інформаційної системи, яка об'єктивно має цю властивість. В разі замикання кожної з цих систем (досліджуваної та / або інструментальної), має місце не явище інформації, як такої, а лише її кількісний прояв, який цілком підпадає під закони модельної інформації.

При модельному підході інформаційні відмінності визначаються контекстністю (змістом) або власною безперервно змінюваною структурою, яка породжується взаємодією інформаційних потоків і визначається особливостями джерел та адресним контекстом посилки, тобто всім тим, що ніяк не може бути власно вилучено з повідомлення.

Разом з тим, введенні метрики в інформаційному просторі дозволяє зробити припущення про природу інформації і таких її сутностях, як спостережність, вимірюваність, керованість та інших.

Взаємозв'язана сукупності інформаційних структур, інформаційно-телекомунікаційних систем, обчислювальних систем, включаючи глобальну комп'ютерну мережу Інтернет складає кібернетичний простір, як підпростір інформаційного простору.

Метою цього дослідження є отримання формальної моделі взаємодії суб'єктів та об'єктів (кібернетичних організмів) в кібернетичному просторі, як просторі спостережень, станів та поведінки і, як слідство, перехід до задачі синтезу стратегій управління, як вирішення задачі запобігання конфлікту взаємодії кіберорганізмів.

Разом з тим слід зауважити, що в загальному випадку співвідношення невизначеності аналогічні принципу невизначеності Гейзенберга, які можна застосувати до віртуальних явищ кібернетичного простору.

Постановка задач

Для структурованої інформації виникають інформаційні співвідношення невизначеності аналогічні принципу невизначеності Гейзенберга в квантовій механіці. При цьому не порушуючи принципи фізичного квантованого світу, слід виходити з посилки "квантової структури інформації" [9], що цілком впливає з принципу структуризації інформації в інтелектуальних базах даних навіть на рівні інформаційних баз даних.

Таким чином можна стверджувати, що крім "фізичної нерозрізненості" об'єктивно існує і інформаційна нерозрізненість (нерозрізненість в межах кроку зміни структури). У такому разі співвідношення невизначеності є наслідком дії апарату представлення (але, не від його точності - розрядної сітки представлення інформації).

Наведені припущення приймемо за основу для подальших міркувань.

Виходячи з топологічності кібернетичного простору, необхідно синтезувати модель взаємодії об'єктів та суб'єктів (кіберорганізмів), на підставі якої отримати модель конфлікту їх взаємодії. Таким чином, задачу синтезу управління можна сформулювати як задачу розв'язання конфлікту взаємодії кіберорганізмів в кіберпросторі згідно принципу оптимальності та правила зупинки.

Розв'язання задач

Існує точна кількісна аналогія між співвідношеннями невизначеності Гейзенберга і властивостями хвиль або сигналів [10]. В якості змінного в часі сигналу можна розглянути звукову хвилю. Для точного визначення частоти необхідно спостерігати за сигналом впродовж деякого часу, що призводить до втрати точності визначення часу. Це означає те, що

звук не може одночасно мати як точне значення часу його фіксації (обумовлено незначною тривалістю імпульсу), так і точне значення частоти, як це має місце для безперервного (і в принципі нескінченно тривалого) чистого тону (чистої синусоїди). Значення часу та частоти хвилі математично аналогічні координаті і (квантово-механічному) імпульсу частки. За аналогією з квантовою механікою отримуємо те, що просторова частота $p_x = \hbar k_x$ уздовж відповідної координати x суть аналогічна імпульсу в квантовій механіці, а значення k_x є частотою коливання уздовж відповідної координати. Величина \hbar є постійною Планка, значення якої надзвичайно мале і тому співвідношення невизначеностей накладають слабкі обмеження на похибки вимірювання, які свідомо непомітні на тлі реальних

$$\langle x|AB|x\rangle\langle x|BA|x\rangle = |\langle Bx|Ax\rangle|^2 \leq |\langle Ax|Ax\rangle||\langle Bx|Bx\rangle| = \|\langle Ax\rangle\|^2\|\langle Bx\rangle\|^2. \quad (1)$$

Ця теорема впливає з нерівності Коші-Буняковського, яке пов'язує норму і скалярний добуток векторів в евклідовому просторі. Нерівність (1) еквівалентна нерівності трикутника для норми.

Слід зазначити, що оператор A в комплексному чи дійсному гільбертовому просторі \mathfrak{H} є ермітовим, симетрическим, якщо він задовольняє рівності $(Ax, y) = (x, Ay)$ для всіх (x, y) з області визначення A . В даному випадку припускається, що (x, y) — скалярний добуток в \mathfrak{H} . Оператор в \mathfrak{H} є самосполученим або гіпермаксимальним ермітовим якщо він співпадає зі своїм сполученим.

В даному випадку поняття сполученості пов'язане з топологічністю лінійного простору.

Нехай E, L — лінійні простори, а E^*, L^* — сполучені лінійні простори (простори лінійних функціоналів, визначених на E, L). Тоді для будь-якого лінійного оператора $A: E \rightarrow L$ та будь-якого лінійного функціоналу $g \in L^*$ є визначеним лінійний функціонал $f \in E^*$, який є суперпозицією \mathcal{G} . Тобто $f(x) = g(A(x))$.

В такому разі сполучений лінійний оператор має вигляд відображення

практичних похибок вимірювальних приладів і систем перетворення інформації (даних).

Принцип невизначеності не відноситься тільки до координати та імпульсу. У своїй загальній формі, він прийнятний до кожної пари сполучених змінних. У загальному випадку, на відміну від випадку координати і імпульсу, нижня межа множення значень «невизначеностей» двох сполучених змінних залежить від стану досліджуваної системи. В такому випадку принцип невизначеності може бути сформульована як теорема в теорії операторів [10].

Теорема. Для довільних самосполучених операторів $A: H \rightarrow H$ та $B: H \rightarrow H$ і будь якого елементу $x \in H$ такого, що ABx та BAx обидва визначені (тобто Ax і Bx також визначені), маємо:

$g \mapsto f$, а $(A^*g, x) = (g, Ax)$, для якого в загальному випадку (B, x) є дією функціоналу B на вектор x .

Тоді відображення оператора $g \mapsto f$ лінійно та безперервно, а сполучений оператор можна записати у вигляді $A^*: L^* \mapsto E^*$.

В загальному випадку форма, безперервність, лінійність, топологічність інформаційного простору є невизначеними. Тому слід враховувати деякі характеризуючі ознаки, які дозволяють узагальнити погляд на характеристики інформації та простору її існування.

Слід зазначити, що поняття сполученості існує для топологічного лінійного, банахова та гільбертова просторів.

Задамо для банахова простору безперервний лінійний оператор $A: X \rightarrow Y$, який діє з банахова простору X в банаховий простір Y .

Тоді для сполучених просторів X^*, Y^* визначимо, що $\forall x \in X, f \in Y^*, [Ax, f] = f(Ax)$.

Якщо f — фіксовано, то $[Ax, f]$ — лінійний безперервний функціонал в просторі $X, [Ax, f] \in X^*$. Таким чином, для $\forall f \in Y^*$ є визначеним лінійний безперер-

вний функціонал з X^* такий, що $[Ax, f] = [x, A^*f]$. В такому разі оператор A^* є сполученим.

Аналогічно можна визначити сполучений оператор до лінійного необмеженого оператора. При цьому слід врахувати те, що такий сполучений оператор буде визначеним на всьому просторі.

Слід зазначити, що для сполученого оператора A^* в банаховому просторі справедливі наступні властивості:

- оператор A^* — лінійний;
- оператор C — лінійний безперервний;
- якщо оператор A є лінійним безперервним, то оператор A^* є також лінійним безперервним;
- нехай O — нульовий оператор, а E — одиничний оператор, тоді справедливі вислови:

$$\left\{ \begin{array}{l} O^* = O, E^* = E \\ (A + B)^* = A^* + B^* \\ \forall \alpha \in \mathbb{C}, (\alpha A)^* = \bar{\alpha} A^* \\ (AB)^* = B^* A^* \\ (A^{-1})^* = (A^*)^{-1} \end{array} \right.$$

Для відображення в гільбертовому просторі H , як і для відображення в топологічному лінійному та банаховому просторах, норма яких породжена додатньо визначеним скалярним множенням, отримуємо ототожнення простору зі своїм сполученим. Тобто для оператора $A: H \rightarrow H$ рівність $(Ax, y) = (x, A^*y)$ визначає сполучений оператор $A^*: H \rightarrow H$. В цьому випадку (x, y) є скалярним результатом множення в просторі H .

Таким чином, для будь-яких сполучених операторів вірна загальна форма принципу невизначеності, описувана співвідношенням Робертсона-Шредингера [11]

$$\frac{1}{4} |\langle x | AB - BA | x \rangle|^2 \leq \| \langle Ax \rangle \|^2 \| \langle Bx \rangle \|^2. \quad (2)$$

Для операторів A і B в виразі (2) комутатор $[A, B] = AB - BA$ і визначений для тих x , для яких визначені обидва ABx та $B Ax$.

В такому разі співвідношення невизначеності Гейзенберга слідує з співвідношення Робертсона — Шредингера.

$$\Delta_\psi A \Delta_\psi B \geq \frac{1}{2} | \langle [A, B] \rangle_\psi |. \quad (3)$$

Виходячи з співвідношення (3), оператор стандартного відхилення величини

$$\Delta_\psi X = \sqrt{\langle X^2 \rangle_\psi - \langle X \rangle_\psi^2}. \quad (4)$$

В співвідношенні (4) середнє значення оператора величини X для ψ визначено і має вид $\langle X \rangle_\psi = \langle \psi | X | \psi \rangle$.

Сказане вище відноситься до теорії операторів і може бути узагальнено на будь-яку пару ермітових операторів. В загальному випадку співвідношення невизначеності можна застосувати до віртуальних явищ кібернетичного простору. В такому разі некомутуючі самосполучені оператори A і B мають один і той же власний вектор ψ , який представляє собою

Тоді для двох фізичних величин A і B , пов'язаних з самосполученими операторами, для яких визначені ABx та $B Ax$ згідно співвідношенню (2), буде справедливим вираз

X в стані ψ системи можна записати в вигляді

стан, який є одночасно вимірюючим для A і B .

Наведені міркування поширюються на динамічні об'єкти, включаючи поля, а також і на об'єкти кібернетичного простору, в якому можна ввести аналог координат частинки і аналог компонент імпульсу частинки, що є канонічними імпульсами, пов'язаними зі зміною середовища у часі.

Разом з тим кіберпростір складається з взаємозв'язаної сукупності інформаційних структур, включаючи глобальну комп'ютерну мережу Інтернет, інформа-

ційно-телекомунікаційних систем, обчислювальних систем, а також процесорів і контролерів, вбудованих в технічні засоби.

В такому сенсі сукупність структур, систем і засобів в кіберпросторі можна розглядати як сукупність кібернетичних організмів (кіберорганізмів).

Кіберорганізм, в якому реалізовані функції активного управління станом і траєкторними переміщенням в кіберпросторі, а також має властивість породжуваної активності назвемо власним кіберорганізмом або об'єктом управління (надалі - ОУ).

При цьому людина, як суб'єкт кіберпростору, змушена адаптуватися до штучно створеного інформаційного середовища. В кіберпросторі знаходять своє відображення нові реалії існування людини, а також екологічні та соціальні аспекти сутності цього віртуального простору.

З іншого боку взаємопов'язана сукупність кіберорганізмів складає сутність кіберпростору. При цьому кіберорганізми можуть бути як суб'єктами та об'єктами кіберпростору.

Взаємодія кіберорганізмів в кіберпросторі, як просторі спостережень, станів та поведінки, пошуку щодо ОУ може бути описана, як модель конфлікту [11, 12, 14].

Виходячи з особливостей функціонування кіберорганізмів в кіберпросторі, можна перейти до методів ситуаційного управління ОУ [11].

При цьому потрібно враховувати те, що при синтезі рішень може змінюватись структура управління ОУ та інформація щодо функціонування та переміщення кіберорганізмів в просторі спостережень.

На відміну від [11] розглянемо метод синтезу рішень для задачі ситуаційного управління без використання семіотичних моделей. В основу методу покладено спосіб формування простору рішень, як множини, в якій ОУ зберігає властивості керування при запобіганні розвитку ситуації конфлікту взаємодії кіберорганізмів.

Розглянемо модель взаємодії кіберорганізмів в кіберпросторі (просторі спостережень) M у вигляді

$$M = \bigcup_{i=0}^N M^i, \quad (5)$$

де часткова модель i -го кіберорганізму M^i може бути представлена у вигляді

$$M^i = \langle B^i, F^i, \Gamma_{\text{пр}} \rangle, \quad (6)$$

а модель ОУ має вигляд

$$M^0 = \langle B^0, F^0, \Gamma_{\text{пр}} \rangle. \quad (7)$$

В співвідношеннях (6) та (7) базис B^i визначає потенційні можливості i -го кіберорганізму

$$B^i = (X^i, Y^i, \Gamma_{\text{пр}}). \quad (8)$$

Значення F^i в співвідношеннях (6) та (7) визначає властивості i -го кіберорганізму

$$F^i = (f_x^i, f_c^i, d^i), \quad (9)$$

де f_x^i - згладжені значення координат для i -го кіберорганізму в кожен момент спостереження; f_c^i - згладжені значення першої похідної (вектору швидкості зміни

координат); d^i - припустиме зближення з i -м кіберорганізмом.

Слід зазначити, що значення

$$d^i = d_0^i + \Delta d_0^i, \quad (10)$$

де d_0^i - значення припустимого зближення з i -м кіберорганізмом; Δd_0^i - відхилення значення d_0^i в силу співвідношення (4), які не порушують цілісності конфліктної системи.

В співвідношенні (8) значення X^i , Y^i - потенційні можливості місця знаходження i -го кіберорганізму в кіберпросторі, які визначаються як області керуємих та напівкеруємих станів у відповідності з припущенням невизначеності та прогнозу переміщення A^i i -го кіберорганізму для співвідношення F^i в базисі B^i .

В співвідношеннях (6) - (8) $\Gamma_{\text{пр}}$ визначає правила створення відношень при

взаємодії кіберорганізмів між собою та з ОУ.

В моделі (5) за умов невизначеності важливою є вид границі $\Gamma_{озр}$ підпростору рішень Q .

Підпростір Q простору спостереження формується з урахуванням усіх характеристик поведінки кіберорганізмів в просторі спостереження, а саме невизначеності їх координат в кожен момент спостереження, значення вектору швидкості зміни координат, припустимого зближення. За вимог замкненості простору рішень границю цього простору представимо в вигляді

$$\Gamma_{озр}(Q) = 0. \quad (11)$$

Границя $\Gamma_{озр}$ в загальному випадку є безперервною, кусково-гладкою неопуклою і замкненою (11), що не дозволяє використовувати традиційні підходи щодо

$$F = \bigcup_{i=0}^N F^i, \forall f_x^i \subset f_x, \forall f_c^i \subset f_c, \forall d^i \subset d. \quad (13)$$

Таким чином, співвідношення (13) узагальнює всі характеристики кіберорганізмів в просторі спостережень з врахуванням (9), (10) і (12).

Відображення співвідношення F^i для i – го кіберорганізму з врахуванням

(A^i, A^0) та базису $(B, \Gamma_{пр})$ на підмножині

ну $G_{огр}$ породжує підпростори $G_{огр}^i$, які є

$$G_{огр}^i = E(X^0, Y^0, f_c^0, f_c^i, X^i, Y^i, A^0). \quad (14)$$

В такому випадку інтегральна множина (простір) можливих станів з врахуванням (14) матиме вигляд

$$G_{реш} = G_{огр} \cap_{i=0}^N G_{огр}^i. \quad (15)$$

Співвідношення (15) дозволяє визначити геометричне місце точок кіберп-

опису простору обмежень $G_{огр}$, і не дозволяє використовувати традиційні методи рішення задач опуклого програмування в топологічному просторі. Слід зауважити, що підпростір $G_{огр}$ має задовільняти вимогам зв'язності та безперервності хоча б впродовж траєкторії керуемого переміщення власного кіберорганізму в кіберпросторі.

Додаткові обмеження підпростору $G_{огр}$ з границею визначаються співвідношенням

$$A = \bigcup_{i=0}^N A^i, \quad (12)$$

яке враховує невизначеність та прогноз переміщення кіберорганізмів у просторі спостереження з врахуванням системи обмежень. Тобто для ОУ маємо

неприпустимими для позицій ОУ (X^0, Y^0) та параметрів його переміщення, що дозволяє використати принцип невизначеності при визначення динамічних характеристик поведінки кіберорганізмів в кіберпросторі.

Слід зауважити, що кібернетичний простір є метричним і, при необхідності, може бути декомпозований на класи еквівалентності [13].

Тоді

ростору, як лінійного евклідового простору, в якому значення параметру взаємного розміщення кіберорганізмів (відстань, напрям на об'єкт чи суб'єкт, тощо) не менший за значення співвідношення порівняння d^i (відстані, напряму на об'єкт чи суб'єкт, тощо) для ОУ.

Виходячи з співвідношень, які є формальним описом стану i – го кібероргані-

зму, сформуємо інформаційну множину, яку назвемо простором реалізації маневру

$$S = \bigcup_{N, \psi_{\text{доп}}} S^i (X^0, Y^0, f_c^0, f_c^i, X^i, Y^i, d^i, A^i, \Delta t), \quad (16)$$

де S^i множина припустимих значень параметрів, які визначають характеристики переміщення та позицію i -го кіберорганізму в просторі спостереження при його переміщенні за напрямком ψ_j , який належить множині припустимих напрямків переміщення ОУ за умови дотримання значення d^i .

В загальному випадку підпростори $G_{\text{огр}}$ та $G_{\text{ресш}}$ не є опуклими та безперервними але є топологічними лінійними. Тоді задачу синтезу стратегії переміщення ОУ можна вирішити в банановому або гільбертовому просторі за умов виконання відповідних перетворень за умови співвідношень та урахуванням невизначеності (1) – (3).

$$\begin{cases} K = \langle M, A, S, \Gamma_{\text{огр}}, G_{\text{ресш}}, \mu \rangle \\ \lambda K = \mu \end{cases} \quad (18)$$

Вибір оптимальної стратегії μ^* з урахуванням правила зупинки $\Gamma_{\text{огт}}$ формулюється в вигляді

$$\mu^* = \text{inf}_{\chi \Gamma_{\text{огт}}} K. \quad (19)$$

Співвідношення (17 – 19) фактично є постановкою задачі опису конфлікту взаємодії об'єктів та суб'єктів кібернетичного простору.

Для вирішення задачі конфлікту доцільно використати методи ситуаційного управління ОУ [11, 12, 14].

Висновки

Формальний опис процесу взаємодії кіберорганізмів в кіберпросторі дозволяє вирішити задачу оптимального керування переміщенням ОУ в кіберпросторі в умовах недетермінованого стану кіберпростору та невизначеності поведінки спостерігаючи кіберорганізмів.

Наведені міркування мають узагальнюючий характер і можуть бути застосовні при розв'язанні задач вибору та синтезу стратегій оптимального керування до будь-якого виду топологічних лінійних просторів.

На підставі отриманого формального опису інформаційних множин (5) - (16) пошук стратегії керування здійснюється за мінімально-переборною процедурою методу інтегрального усікання варіантів [12, 14], згідно критерію Φ .

В такому разі задачу синтезу керування можна сформулювати як конфлікт взаємодії кіберорганізмів в кіберпросторі

$$K = \langle M, A, S, \Gamma_{\text{огр}}, G_{\text{ресш}}, \mu \rangle, \quad (17)$$

а процедуру синтезу стратегій керування μ на підставі принципу оптимальності χ , який реалізовує вимоги критерію Φ , можна представити у вигляді

Виходячи з принципу невизначеності, запропоновано та обґрунтовано підхід до врахування при розрахунку припустимого зближення об'єктів та суб'єктів кібернетичного простору.

Враховуючи те, що кібернетичний простір є метричним і при необхідності може бути декомпозований на класи еквівалентності, запропоновано формальний підхід до опису інформаційної множини припустимих значень параметрів, які визначають характеристики переміщення об'єкта управління в кібернетичному просторі.

На підставі отриманого формального опису інформаційних множин обмежень та рішень запропоновано використовувати метод ситуаційного управління об'єктом для вирішення задачі конфлікту взаємодії суб'єктів і об'єктів кібернетичного простору в умовах невизначеності за мінімально-переборною процедурою.

Список літератури

1. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики / К.Шеннон - М. : Изд-во иностр. Лит. 1963. – 829 с.

2. Hartley, R.V.L., "Transmission of Information" Bell System Technical Journal, July 1928, pp. 535–563.

Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С.Вентцель, Л.А.Овчаров - М.: Высшая школа. 2000. - 480с.

3. Колмогоров, А. Н. Три подхода к определению понятия «количество информации» // Проблемы передачи информации – М.: 1965. – № 1. – С.3–11.

4. Rashevsky, N. Live, Information Theory and Topology // The Bulletin of Mathematical Biophysics. – Chicago, 1955, V.17, № 3. – PP. 25–78.

5. Карнап, Р. Философские основания физики. Введение в философию науки / Р.Карнап - М.: 1971. — 390 с.

6. R.Carnap, Y.Bar-Hillel. Tech. Rep. Res. Lab. Electr., Mass. Inst. Technol. No247. 1952.

7. Wu X., Bhanu B. Gabor wavelet representation for 3-D object recognition IEEE Trans. Image Processing, vol. 6, pp. 47–64, Jan. 1997.

8. http://www.polyakov.com/informodynamics/chast3_glava10.html#10.1.

9. http://ru.wikipedia.org/wiki/Принцип_неопределённости.

10. Шредингер Э. К принципу неопределенностей Гейзенберга // Избран-

ные труды по квантовой механике - М.: Наука, 1976. - С.210-217.

11. Поспелов Д. И. Ситуационное управление: теория и практика / Д.И.Поспелов -М.: Наука, 1986. -288 с

12. Семко В.В. Модель конфлікту взаємодії об'єктів кібернетичного простору //Проблеми управління та інформатизації: зб. наук. пр. - К.: НАУ, 2012. - №2(38). - С.88-92.

13. Трауб Дж. Информация, неопределенность, сложность / Дж.Трауб, Г.Васильковский, Х Вожьянковский - М.: Мир, 1988. – 184с.

14. Семко В.В., Павлов В.В. Применение метода интегрального усечения вариантов при синтезе стратегий управления подвижным объектом // Кибернетика и вычислительная техника. - К.: 1989. - Вып. 84. - С.1-6.

Статтю подано до редакції 01.07.2013