

Надано результати дослідження питань з визначення знань-орієнтованих інформаційних баз для розв'язання задач оцінювання стану безпеки системного об'єкта з урахуванням його організаційної структури, функціональності, взаємодії з навколишнім середовищем. Надано математичне обґрунтування визначення комплексної методики ідентифікації якості складних систем. Розроблено інформаційно-програмне забезпечення реалізації методів визначення стану складних природно-техногенних об'єктів

Ключові слова: прийняття рішень, ідентифікація якості, імовірнісно-ентропійна оцінка, інформаційно-програмне забезпечення, природно-техногенний об'єкт

Представлены результаты исследования вопросов по определению знаний-ориентированных информационных баз для решения задач оценки состояния безопасности системного объекта с учетом его организационной структуры, функциональности, взаимодействия с окружающей средой. Представлено математическое обоснование для определения комплексной методики идентификации качества сложных систем. Разработано информационно-программное обеспечение реализации методов определения состояния сложных природно-техногенных объектов

Ключевые слова: принятие решений, идентификация качества, вероятностно-энтропийная оценка, информационно-программное обеспечение, природно-техногенный объект

ФОРМУВАННЯ ЗНАНЬ-ОРІЄНТОВАНИХ БАЗ ДАНИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ МЕТОДИКИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЯКОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Т. В. Козуля

Доктор технічних наук, професор*

Н. В. Шаронова

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри**

E-mail: nvsharonova@mail.ru

М. М. Козуля

Аспірант**

E-mail: mariya_kozulya@mail.ru

Я. В. Святкін

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: yarikis@i.ua

*Кафедра комп'ютерного моніторингу та логістики***

Кафедра інтелектуальних комп'ютерних систем*

***Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

вул. Багалія, 21, м. Харків, Україна, 61002

1. Вступ

Аналіз стану системного об'єкта в межах задачі прийняття рішення вимагає процедури визначення мети, показників передумов її досягнення (критеріїв) і шляхів раціонального доведення систем до цілі. Цільовий результат досягається шляхом послідовного розв'язання аналітичних завдань за такими напрямками досліджень:

1) формальні методи пошуку рішення без попередніх процедур, зведення отриманих результатів до задачі математичного програмування;

2) логіко-математичний підхід з експертними процедурами з включенням людини (особи з прийняття рішення – ОПР).

Взаємодія складних систем за структурою (складом і зв'язками), властивостями, функціональністю потребує нової за обсягом і характером вихідної інформації, яка складатиме додаткове системне утворення – інформаційну систему, що визначатиме раціо-

нальне об'єднання сучасних об'єктивних знань, суперечливих даних, неповноту, неточність, нечіткість характеристик, сукупність теоретично-практичного інструментарію, засобів, методів досягнення рішення, цілей та умови не отримання результату – ризику.

Відповідно до сучасних вимог аналізу складних утворень [1] за наукову методологію дослідження об'єкта «навколишнє середовище – об'єкт природно-техногенного походження системної структурної організації – інформаційна система» запроваджено системний аналіз, що становить організаційну багатомірну міждисциплінарну структуру знань з вивчення і прийняття рішень (ПР) для досягнення об'єктом бажаних цілей при наявних умовах стохастичної дії факторів, невизначеностей різної природи, ситуацій ризику.

Оцінка безпеки зазначеного системного об'єкта, його організаційна структурність і багатфункціональність за рахунок складових, багатомірність і різноплановість знань при визначенні стану систем, вихідних умов

їх створення потребують підсиленого для управління ситуацією системного аналізу, доповненого методологічно новим елементом/властивістю. Особливою рисою такого аналітичного кроку має бути комплексність, інформаційна ефективність щодо ідентифікації стану і процесів у складових і об'єкті в цілому з урахуванням навколишнього середовища і взаємодії з ним, що становить невизначеність при неточності, нечіткості, неповноті інформації за умови підвищення складності і відповідного незнання їх природи для різних систем – технічних, економічних, соціальних, біологічних, екологічних. Це, в свою чергу, забезпечить підвищення ефективності управління будь-якого рівня складності системним об'єктом в умовах невизначеності інформації і знань про неконтрольовані ситуації в організаційно-технічних системах завдяки застосуванню системи управління на феноменологічній базі – досвід, знання, використання знань-орієнтованих систем.

2. Аналіз літературних джерел і постановка проблеми

Аналіз стану системного об'єкту в межах задачі прийняття рішення вимагає процедури визначення мети, показників передумов її досягнення (критеріїв) і шляхів раціонального доведення систем до цілі. Таким чином, розглядається щодо функціонування об'єкту і процесів управління два крайових випадки:

1) невизначеність зводиться до апріорного незнання кількісних характеристик наслідків на базі побудови статистично обґрунтованого плану дій і розв'язанням задач векторної оптимізації з вирішенням питань відображення реальної системи у компактній математичній формі;

2) практично повна невизначеність умов і законів функціонування, неоднозначність цілей і критеріїв вирішується на основі інтуїтивно-логічного аналізу ОПР, застосування математичного забезпечення кількісного вираження інтуїтивних оцінок і досвіду.

Дані підходи з ПР мають суттєві недоліки при наявності елементів невизначеності: для першого напрямку – не розв'язуються різного виду невизначеності й ігноруються неформалізовані фактори, пов'язані з досягненням мети (прийняття рішення); у другому випадку суттєво зростає суб'єктивна складова при встановленні остаточного рішення, що упускає об'єктивні фактори багатокритеріальної оцінки стану, процесів і ситуації за умови досягнення цілі.

Головною від'ємністю запропонованої методології упорядкування системних об'єктів щодо управління їх якістю і безпекою є застосування понять, визначень, формалізованих уявлень і т. ін. традиційної синергетики Г. Хакена стосовно самоорганізаційного упорядкування з метою отримання цілеспрямованих систем у площині понять хаос і порядок за траєкторією випадкового характеру руху систем у фазовому просторі [2, 3], запровадження синергетичної теорії інформації для статистичного відображення хаотичного стану системи у вигляді неоднорідно розподілених її елементів за значенням будь-якої ознаки [4]. Визначаючи стан системи з позицій термодинамічного підходу відповідно до І. Р. Пригожина [5] оперують до понять стійкості та дестабілізації з максимізацією неупорядкованості, тобто зростання ентропії і досягнення точки біфуркації.

Поняття самоорганізації як переходу від хаотичного до більш упорядкованого стану є основою утворення дисипативних структур. Такі системні переходи є результатом необоротних нерівноважних процесів, що розглянуто [6–8].

Для опису відношень при наявній вхідній і вихідній інформації у вигляді знань про стан і процес, даних про проміжні змінні, що визначають перетворення у системі використовують логічні мережі [9].

Імітаційні моделі використовуються широко у вивченні навколишнього середовища (НС) і окремих об'єктів зазвичай для визначення їх стану і прогнозування змін з метою уникнення екологічних небезпек, планування заходів усунення загроз [10]. На сьогодні актуальним є звернення до інформаційної складової зовнішнього світу людини. У цьому сенсі поширеним стало використання моделей на основі теорії інформаційної ентропії, а саме ентропії Шеннона, яка застосовується для вирішення завдань з багатьох різноманітних сфер знань, насамперед вивчення еколого-економічних систем. Так, за результатами дистанційного зондування екосистем встановлено перспективність застосування цього підходу при оцінці даних моніторингу природних об'єктів [11]. Перспективність запровадження ентропійного підходу визначена і для аналізу соціальних питань, наприклад з оцінки розвитку бізнес процесів і прийняття економічних рішень [12, 13].

Загалом у значній кількості задач прийняття рішень аналіз стану природно-техногенного об'єкта соціально-еколого-економічної змістовності та управління його якістю базується лише на експериментальних даних (навчальна вибірка) [14]. Прийняття рішення в умовах локальної інформації і неявних знань призводить до похибок в умовах прийняття рішень з підтримки гомеостазу в природно-техногенних утвореннях. Послідовність чинників, подій, умов реальних процесів характеризується певним причинно-наслідковим зв'язком явних і неявних залежностей. Формалізація неявних залежностей пов'язана з непрямыми причинно-наслідковими зв'язками на основі побудови формальних алгебро-логічних моделей конструкцій неявного вибору [15].

Саме з метою усунення названих вище недоліків в межах зазначених задач ПР розглянуто послідовне розв'язання невизначеності на основі комплексної методики, яка містить положення теорії інформаційної ентропії, синергетики, логіко-математичні структури, використавши досвід науковців з вирішення окремих завдань за цим напрямом досліджень.

Методика оцінки якості (відповідності) складної організаційної системи передбачає встановлення механізмів усунення прямого зв'язку між економічним зростанням і погіршенням стану навколишнього природного середовища, надання аналітичної оцінки відповідності стану і функціонування систем у площині імовірно-ентропійного ризик-рівня виконання вимог безпеки. Саме розгляд узагальненої єдиної термодинамічної природи будь-якої системи, наданий вище аналіз використання ентропійного методу послідовного зменшення і розв'язання невизначеностей дозволяє запропонувати комплексне методичне впровадження системи компараторної оцінки відповідності якості системних об'єктів будь-якої природи за ентропійною

функцією стану і змін на основі змістовного удосконалення запропонованих методів і їх поєднання для досягнення мети дослідження. Така аналітична система дозволяє використовувати запропоновані методи не тільки окремо, при складних задачах і суперечливих за природою об'єктів їх застосовують послідовно – ентропійні відповідності у вигляді ΔS є вхідною інформацією для компаратора; компараторна ідентифікація за моніторинговою інформацією дозволяє отримати вихідні дані для факторного аналізу ситуації (когнітивне моделювання) з встановленням надалі ентропійної функції оцінювання стану і оцінки вірогідності процесів і отримання остаточного результату у прийнятті рішення в умовах невизначеності.

3. Ціль і задачі дослідження

Мета даної роботи спрямована на розробку інформаційно-методичного та інформаційно-програмного забезпечення реалізації комплексної методики визначення стану складних природно-техногенних об'єктів для підвищення ефективності прийняття рішень з урегулювання безпечності функціонування соціально-еколого-економічних систем на основі ідентифікації знань.

Визначена постановка задачі потребує розв'язання таких проблемних завдань:

– формування знань-орієнтованих систем підтримки прийняття рішень;

– визначення компактного і уявного математичного образу системи з опису суттєвих властивостей і особливостей об'єкта та кількісного вираження цілей і задач функціонування систем на основі взаємопов'язаних характеристик у вигляді ентропійної функції відповідності;

– розробка інформаційно-програмного забезпечення обробки інформації з отриманням однозначного подання результатів щодо стану систем і процесів в них при даній повноті знань.

Таким чином, постулюється існування ентропії на логічно обумовленому природному розвитку подій. Для процесів ентропійна характеристика змін є засобом безпосереднього відображення реакції системи на відповідний зовнішній вплив. Стан системи в такому випадку визначається координатою, яка стає складовою сукупності параметрів з характеристики системи, і за її змінами виявляється вплив на поведінку системи. Надалі системний аналіз виходить за межі термодинаміки і розглядає ентропію як міру інформативності щодо стану системи, ентропію як міру невизначеності ситуації.

4. Розв'язання задачі дослідження та аналіз результатів

4.1. Теоретична складова знань-орієнтованих систем підтримки прийняття рішень для задач оцінки стану складних систем

Об'єкт взаємодіє з навколишнім природним середовищем, яке становить центральне місце у дослідженій

цілісності, бо є основою функціональності об'єкта. Ця структурна цілісність оточена навколишнім середовищем, що являє собою систему факторів впливу і людину, яка вивчає дану цілісність і приймає рішення щодо її урегулювання для відтворення і підтримки у стані розвитку. Концепція інформаційного простору, оболонки системного аналізу пов'язана з визначенням концептуальної моделі об'єкта дослідження за сценарно-цільовим підходом з метою формування знань-орієнтованих систем підтримки прийняття рішень для задач оцінки стану складних систем (рис. 1) [7, 16].

Відповідно до задач сталого розвитку міжсистемних утворень передбачається комплексний системний аналіз об'єкта, який визначається системною структурою цілісності, аналізу піддані не тільки складові, а і зв'язки, явища і процеси як окремі системи, що відповідають цілі. Отже, в аналітичному сенсі мають справу з комплексом, складові якого працюють за своїми особистими правилами, але на загальну мету. При розв'язанні задач такого рівня складності необхідним є врахування природи різномірних систем за відповідною базою галузевих знань. Така організація об'єкта системного аналізу виходить за межі класифікаційного поняття складності (великі системи тощо), стає доцільним відобразити його як систем-системне утворення і визначати як корпоративну систему з кооперативними зв'язками, які становлять основу її самоорганізації для досягнення стабільності і рівноважного розвитку (синергетика) [1, 17].

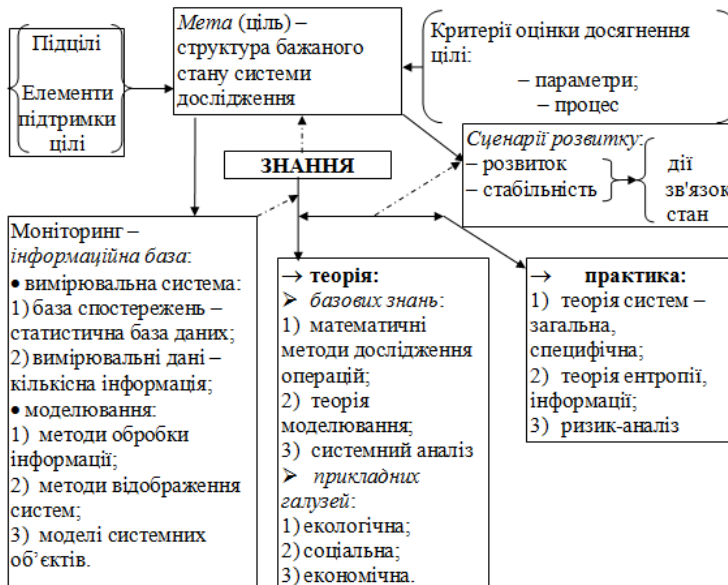


Рис. 1. Сценарно-цільовий підхід формування знань-орієнтованих систем: \dashrightarrow – інформаційна підтримка подолання невизначеності

У складному об'єкті дослідження виділяють цільовий комплекс «(система $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зовнішнє середовище) $\xleftrightarrow{\text{стан}}$ система $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зміни системи – процес – (стан системи) – (система' $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зовнішнє середовище)», в якому розглядають як елементи системи, зовнішнє відповідно до системи середовище, що утворює внутрішній простір об'єкта, де самоорганізуються зв'язки і формується таким чином структура об'єкта, взаємодіючого з оточуючим середовищем. Кооперативна дія внутрішніх і зовнішніх процесів стабілізує склад-

ну систему, що і відповідає уявленням синергетики про явища («Synergia» – корпоративна дія) [18–21].

Інформаційне навантаження за таким системним аналізом передбачає базу знань з 2-х аспектів – конкретні галузеві знання економічних, соціальних і екологічних наук; теоретико-практичні знання процесів і динаміки розвитку систем. Кожна система знань надає інформаційне забезпечення про обсяги даних в певній галузі, що є основою розв'язання саме її задач і в той же час є складовою у вирішенні проблемних задач сталого розвитку. Отже, база знань також повинна мати системну структуру за кооперативними зв'язками.

4. 2. Опис математичного апарату визначення комплексних методик ідентифікації якості складних систем

Підвищення ефективності управління будь-якого рівня складності системного об'єкта в умовах невизначеності інформації і знань про неконтрольовані ситуації в організаційно-технічних системах пов'язано з побудовою нечіткої системи управління на феноменологічній базі – досвід, знання, використання знань орієнтованих систем.

Нечітка система управління (НСУ) – це інтелектуальна система використання нечіткого опису керованого процесу та системи його управління у вигляді бази нечітких правил з генерації рішень щодо забезпечення досягнення мети на основі досвіду і знань для формування якісного опису управління [14].

Формування бази знань для розв'язання задач управління складними організаційним природно-техногенними системами відповідного рівня дослідження спрямоване на досягнення поставленої мети на основі продукційних правил для різного ступеню невизначеності.

Початкова інформація за моніторинговими системами (дані спостережень) регулює розмірність бази знань, враховуючи обов'язковість відображення трьох основних аспектів (комплексних критеріїв якості) безпеки і якості їх стану і функціональності – соціального, екологічного і економічного. Побудова нечіткої продукційної моделі використовує також результати вимірювань і апріорні дані про систему, що є одним з методів подолання невизначеності за ентропійною оцінкою як функцією стану систем [22].

Вихідна інформація на базі моніторинг-вимірвальних даних розглядає продукційні системи «0-стан об'єкта (системи як складові) – процес (система процесів, оператор змін стану або його підтримки) – і-стан об'єкта (системи)» досягнення мети сталого розвитку складного об'єкта дослідження, зокрема соціально-еколого-економічного змісту.

Продукційні правила різного ступеню невизначеності (нечіткості) початкової інформації з регулюванням розмірності бази знань для задачі цільового управління якістю щодо стану об'єкта/системи і оптимізації дій досягнення мети враховуються у результативному рішенні у вигляді кортежу

$$\langle i, Q, P, A \rightarrow B, N \rangle, \quad (1)$$

де i – мета – об'єкт стаціонарного сталого екологічного (природного) розвитку як продукція ефективного використання природних механізмів чи оптималь-

них управляючих дій; Q – параметр відповідності; P – умови досягнення мети як можливість прийняття рішення виду $A \rightarrow B$ – відповідність цілі систем (B) меті: «якщо A то B»; N – дії і процеси, які виконуються після досягнення B.

Згідно з встановленими умовами відповідності у продукційній системі $i=0$ та $i \neq 0$ вирішуються задачі розв'язання невизначеності та оптимального рішення щодо досягнення мети: стабілізація об'єкта і систем відповідно до властивостей початкового (природного) гомеостазу; управління змінами до реалізації нового стану за метою (збільшення ефективності чи функціональності, поява нових складових і перепрофілювання змістовності i , таким чином, підходів до встановлення безпеки і т. п.).

У першому завданні необхідним є звернутися до процесів синергетики щодо посилення стабілізуючих механізмів самоорганізації природного порядку в об'єкті. Друге завдання стосується встановлення процесів трансформаційного змісту, що призводять до цілеспрямованих наслідків, вагомих факторів упорядкування за критеріями екологічності і безпечності, які підсилюють чи створюють умови для повної їх реалізації.

Загалом у значній кількості задач прийняття рішень аналіз стану природно-техногенного об'єкта соціально-еколого-економічної змістовності та управління його якістю базується лише на експериментальних даних (навчальна вибірка). У такому разі використовуємо положення типового алгоритму формування бази нечітких правил заданої структури [14] відповідно до ситуації оцінки екологічності та безпечності.

Мета сталого розвитку об'єкта (B_i) відповідає різним кінцевим станам систем, обумовлених певним сполученням їх цілей (A_i) за відповідними процесами (N): економічне зростання, максимум соціального добробуту з задоволення потреб суспільства, збереження природного середовища і поліпшення здоров'я населення. Дані властивості визначені «виходом» ($y = B_i$) з системного утворення для пріоритетних цілей гомеостазу в межах об'єкта – екологічність ($x_1 = A_{i1}$), безпечність ($x_2 = A_{i2}$).

При аналізі процесів метою B_i є організація такого стану об'єкта/систем за N-перетворень, які дозволяють досягти стаціонарного упорядкованого стану, визначеного отриманням максимального значення ентропії при дестабілізації 0-стану об'єкта з $\Delta S \rightarrow \max$ при переході в i -стан об'єкта, що відповідає мінімуму ентропійного значення для відновленої функціональності систем за вимогами їх екологічності (природності за змістом) ($x_1 = A_{i1}$), безпечності ($x_2 = A_{i2}$).

Отже, для системного об'єкта дослідження «0-стан об'єкта (системи як складові) – процес (система процесів, оператор змін стану або його підтримки) – і-стан об'єкта (системи)» при наявних системах економічного, соціального і екологічного моніторингу як вхідного інформаційного потоку (x_1, x_2) і вихідною змінною (y) постановка задачі для формування бази нечітких правил типового алгоритму має вигляд: $x_1 = A_{i1} \wedge x_2 = A_{i2}$ для $y = B_i, i = 1, N$.

За моніторинговою інформацією формуються вибірки початкових даних, враховуючи наявність відомого і достатнього обсягу значень $\eta =$ для встановлення точного значення ξ , що покладені в основу навчальної вибірки такого виду:

$$\left(x_1^{(\eta, \xi)}, x_2^{(\eta, \xi)}, y^{(\eta, \xi)}\right) \left(\eta, \xi = \overline{1, K}\right), \quad (2)$$

де $x_1^{(\eta, \xi)}, x_2^{(\eta, \xi)}, y^{(\eta, \xi)}$ – відповідно значення вхідних і вихідних змінних з характеристик об'єктів дослідження $\eta = y_j$ і ξ ; K – загальна кількість експериментальних даних у навчальній вибірці.

База правил формується за прийнятою процедурою з урахуванням складності об'єкта і отриманих за входами/розрахунками двох показників (змінні x_1, x_2). Серед моніторингових характеристик об'єктів встановлюють їх мінімальні та максимальні значення, які за даних умов відображають можливості досягнення бажаних цілей. Подібним чином аналізують вихідні дані – стан систем у незадовільному (y^{\min}) і відповідно до вимог за прийнятним природним/допустимим рівнем (y^{\max}):

$$x_1 \in [x_1^{\min}, x_1^{\max}], x_2 \in [x_2^{\min}, x_2^{\max}], y \in [y^{\min}, y^{\max}].$$

Відповідно до ПР в умовах невизначеності [23] і надання еколого-економічної оцінки стану об'єкта при неточності вхідної інформації [24] відображають певним чином розподіл простору змінних. Він формується за точковою оцінкою функції належності, враховуючи особливості наданого об'єкта системного аналізу у вигляді «стан⁰ – процес – стан⁰ (стан¹)», встановлення x_1/ξ за умови існування (наслідками) x_2/η , що дозволяє оцінити x_1/ξ за знанням x_2/η . Області визначення змінних певним чином розбиваються на відрізки загалом підбираються індивідуально, для еколого-економічного оцінювання за прийнятою специфікою об'єкта дослідження і формування аналітичної системи мають таке:

1. Екологічність (природність) (x_1) – комплекс властивостей (категорія, що визначає відношення однієї системи до іншої, з якої вона має відношення), при яких взаємодія з навколишнім середовищем унікає ризику (не викликає, на порожнечу негативних наслідків).

2. Безпечність (x_2) – стан складної системи, коли дія зовнішніх і внутрішніх факторів не приводить до негативних наслідків, блокування її функціонування і розвитку. Це недопустимість (відсутність) ризику, пов'язаного з можливістю нанесення збитків.

Таким чином, зазначені змінні є комплексними показниками властивостей аналізованих об'єктів, систем. Їх визначення природно пов'язано з комплексом різномірних знань, відсутністю інформації за окремими аспектами, неточністю, неможливістю проведення експериментів, технічною недосконалістю моніторингових та інформаційних систем тощо, тобто наявна ситуація невизначеності.

Для моделювання поведінки системного об'єкта базуються на положеннях синергетики і теорії нелінійних процесів функціонування складних систем. Будь-яка самоорганізуюча система соціально-еколого-економічного змісту є відкритою дисипативною, яка відводить ентропію, зростаючи при деструктивних явищах при взаємодії з навколишнім середовищем. Взаємодія об'єкта з зовнішніми системами характеризується нестійкою динамічною рівновагою при об'єктивному зменшенні упорядкованості внаслідок варіацій обміну інформацією, речовиною, енергією. Необоротні процеси у часі і невизначеність майбут-

нього ідентифікуються у вигляді оцінки змін ентропії, кількісні характеристики якої за змістовністю відповідності певному рівню визначеності дозволяє функцію належності прийняти як ΔS .

Таким чином, даного рівня невизначеність розв'язується завдяки послідовному зменшенню невпорядкованості в системі і встановленню через ентропійну функцію напряду і границь імовірних процесів. Приймаючи до уваги положення теорії прийняття рішень за умови невизначеності [23, 25] і запровадження ентропійних характеристик, запропонована ентропійно-інформаційна ідентифікація оцінки відповідності стану складних об'єктів.

Нерівновага в системі визначається проявом ефекту виникнення відгуку системи на некомпенсовану частину впливу $\Delta P dx$, що відповідає закону збереження енергії. Процеси компенсації не визначені в межах рівноважних взаємодій, додатково самостійно діє принцип зростання ентропії. Для фізико-хімічних процесів ентропійна характеристика змін є засобом безпосереднього відображення реакції системи на відповідний зовнішній вплив.

Враховуючи, що розглядається дві паралельні задачі:

1) оцінка «стан⁰ – процес – стан⁰ (стан¹)» для дослідженої системи ξ за умови невизначеності, неточності знань про неї відповідно до вивчених властивостей взаємодіючої з нею;

2) надання загальної оцінки стану об'єкта природно-техногенного, соціально-екологічного походження щодо відповідності екологічності та безпечності (x_1, x_2); використовують два підходи з формування початкової бази правил.

Встановлення властивостей «неточної» системи відбувається за вибірковими даними з дослідження за більш дослідженою системою, тому до для кожної вибірки формується правило відповідно до (2): $\left(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, y^{(k)}\right) \left(k = \overline{1, K}\right)$, для кожного з яких визначаються ступені належності заданих значень до відповідних нечітких множин. Таким чином виділений даним ставляться у відповідність ті нечіткі множини, які за ступенем належності за значенням змінних є максимальними.

Генерація правил для другої задачі, де досліджені тільки дві узагальнені змінні і вихідна змінна і відповідно до висловлювань в передумовах та висновках правил, підпорядковується такому відношенню: $l = l_1 \cdot l_2 \cdot l_y$, де l_1, l_2, l_y – число функцій належності для завдання вхідних/вихідних змінних.

За умови множини моніторингових даних, незначних за вмістом і у великій кількості, але вагомих змінних з характеристики системи чи процесу здійснюється зменшення кількості правил за рейтингом:

$$r_i = \text{Agg}(r_i^k), i = \overline{1, n},$$

$$r_i^{(k)} = T\left(\mu_{A_{i1}}(x_1^{(k)}), \dots, \mu_{A_{im}}(x_m^{(k)}), \mu_{B_i}(y^{(k)})\right), \left(k = \overline{1, K}\right),$$

де Agg, T – оператор агрегування і нормування, відповідно.

Скорочуються суперечливі правила: однакові передумови та різні висновки, тобто різні функції належності змінної виводу, з групи подібних правил залишається з найбільшим рейтингом. Для даних

досліджень база правил є сформованою, якщо здійснено адаптацію: забезпечення максимального ступеню відповідності правил за всіма прикладами вибірки.

Таким чином, надалі стає питання побудови функції належності. Згідно з оцінкою в аналітичній системі «стан⁰ – процес – стан⁰ (стан¹)» для кожної її складової за відповідністю вимогам функція належності буде встановлювати виробництво ентропії $\Delta S \rightarrow 0, S_i \rightarrow \min$, приймаючи до уваги функціональні залежності з аналізу умовної ентропії $S(\xi|\eta)$

$$S(\xi(x)/\eta(x)) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \ln f(x) dx. \tag{3}$$

Для нормального розподілу змінних відповідно до досягнення ентропією $S(\xi(x))$ максимуму у випадку нормального процесу ξ [26], при наявності довільних сукупностей випадкових величин уразі досягнення рівноваги, стаціонарності тощо $\xi = \xi(a), \eta = \eta(b)$ розглядають розподіл Гаусса і перетворення виразу для умовної ентропії (3):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x)^2}{2\sigma^2}\right\}, \ln f(x) = -\ln \sigma\sqrt{2\pi} - \frac{x^2}{2\sigma^2},$$

$$\begin{aligned} S(\xi(x)/\eta(x)) &= \\ &= - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \ln f(x) dx = \\ &= \ln \sigma\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx + \frac{1}{2\sigma^2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) x^2 dx = \\ &= \ln \sigma\sqrt{2\pi} + \ln \sqrt{e} = \ln \sigma\sqrt{2\pi e}, \end{aligned}$$

де $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1, \int_{-\infty}^{\infty} f(x) x^2 dx = D = \sigma^2$.

Для інформаційно-ентропійної оцінки системи використовується функціонал:

$$I(x) = \log_2 n + \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot \log_2 p(x_i). \tag{4}$$

Багатоаспектність, системність у сенсі різномановності розв'язуваних задач в межах однієї цілі і дослідженого об'єкта за умови невизначеності становить за необхідне звернення до комплексного об'єктивного досягнення результату. За існуючою схемою усунення невизначеності на будь-якому етапі загалом запроваджується експертна оцінка, що збільшує відсоток суб'єктивності у прийнятті рішення. Такий стан питання є незадовільним за двох реальних причин можливої отримати реальну відповідність дійсності:

1) експертна оцінка здебільше враховує досвід і попередній розвиток систем, результат прив'язується загалом до прогнозування, а не встановлення за даних умов стану систем: не врахування нечіткості знань, прояву нових невідомих явищ, користування обмежувачими засобами у моделюванні, звужування питання, а не сполучення різних рівнів дослідження; ці вагомі фактори віддаляють отриману оцінку від дійсності – замість аналізу і узгодження суперечливих інформаційних даних мова йде про суб'єктивні висновки експертів [23, 27–29];

2) об'єктивно-суб'єктивна оцінка надалі потребує підтвердження на точність (об'єктивність), що утруднює і результативність рішення і його контроль якості.

Таким чином, вбачається об'єктивно обґрунтованим таке:

- аналіз вхідних даних на основі прийняття єдиної природи усіх досліджених аспектів системного об'єкта;
- комплексна оцінка на єдиній математичній базі складових цілей з отриманням єдиного узгодженого результату досягнення мети, що можливо при комплексному сполученні мікро- і макрорівнів дослідження.

Таким чином, передбачається використання класичного принципу максимуму ентропії у вигляді інформаційної ентропії:

$$S_x = - \sum_{n=1}^N p_n \cdot \log_2 p_n = -M[\log_2 p_n], \tag{5}$$

де $M[\]$ – оператор математичного очікування; встановлення для системи умов стійкості/стаціонарності:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^r p_i \ln p_i \rightarrow \max; \frac{M}{N} = \sum_{i=1}^r p_i m_i; \\ \sum_{i=1}^r p_i = 1, \end{cases} \quad p_i = \frac{e^{-\beta m_i}}{\sum_{i=1}^r e^{-\beta m_i}}, \tag{6}$$

де β – множник Лагранжа за умови

$$p_i \rightarrow p(m) dm, \Delta m \rightarrow dm.$$

Відхилення системи від точки її стаціонарності, як середнє зафіксованої стабільності (за фізичним змістом – середньої енергетичної гомогенності) зі збільшенням неупорядкованості, характеризується дисперсією σ^2 , яка згодом приймає фіксоване значення, оскільки подальший її зростання призведе до порушення системи. Стабілізувати значення σ^2 і повернутися до природної стабільності чи наблизитися до стохастичного стаціонарного стану означає ентропійному розподілу наблизитися до теоретичної границі (рис. 2).

Динаміка змін визначається такими поступовими переходами. у початковий момент часу (стан А) усі системи об'єкта мають однаковий стабільний характер функціональності, невизначеність відсутня, ентропія дорівнює нулю. Після дії внутрішніх дестабілізуючих факторів чи порушення гомеостазу з навколишнім середовищем (вплив зовнішніх факторів – випадковість, стохастичність невідповідності взаємодії «об'єкт – НС») (перехід А–В) поступово включаються механізми самоорганізації і повільно системи і об'єкт загалом входять у стохастичний стаціонарний стан (С, перехід В–С, ентропія досягає максимуму) (рис. 2, а).

Еволюційний розвиток системи у проміжному стані (В) форма розподілу наближається до нормального розподілу (рис. 2, б).

Однозначна змістовна характеристика логічного ланцюгу уникнення невизначеності, присутність експериментальної інформації і моніторингової, доведеної до імовірнісного оцінювання даних про об'єкт дослідження, дозволяє стверджувати правомірність і доцільність характеристики елементів зазначеної

вище аналітичної системи через ентропійну функцію, що має значення стосовно встановлення стану ($\ln p$) та інформації про зміни ($p \cdot \ln p$). В силу зазначеного і наявності елементів невизначеності в аналітичній системі «стан⁰ – процес – стан⁰ (стан¹)» пропонується її розв'язання на основі існуючих підходів ентропійного аналізу даних [8, 22] і прийняття за функцією належності ентропійну характеристику ($S'(K), S(\xi\eta), \Delta S$) – виробництво ентропії, умовна ентропія, зміни ентропії відповідно.

Саме розгляд узагальненої єдиної термодинамічної природи будь-якої системи, наданий вище аналіз використання ентропійного методу послідовного зменшення і розв'язання невизначеностей дозволяє запропонувати комплексне методичне впровадження системи компараторної оцінки відповідності якості системних об'єктів будь-якої природи за ентропійною функцією стану і змін на основі удосконалення змістовно застосованих методів системного аналізу і їх поєднання для досягнення мети дослідження.

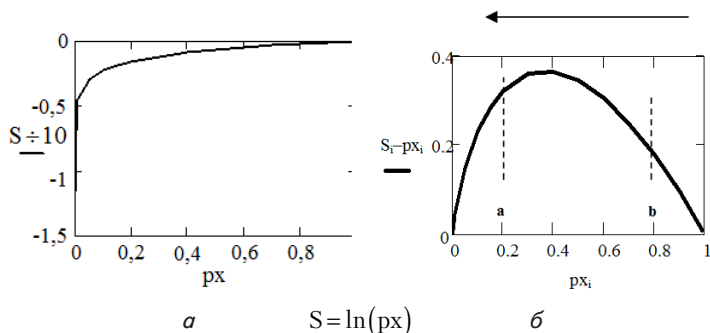


Рис. 2. Характеристика змін за траєкторію максимальної ентропії: а – стохастичний стаціонарний стан; б – нормальний розподіл

4. 3. Практична реалізація методики оцінки якості складних систем

Для наданої методики оцінки якості складних систем було сформовано програмне забезпечення. Впроваджені додатки розроблені мовою C# у Microsoft Visual Studio 2005 (рис. 3). Кожен з додатків має набір функцій для розрахунку показників і функції для побудови графіків (рис. 4).

Таким чином, мета створення програмних продуктів полягає у мінімізації часового показника для визначення результатів аналізу складних систем.

```
private void Paint(int m, double[] cv, string[] nazv)
{
    Graphics g = pictureBox1.CreateGraphics();
    Pen myPen = new Pen(Color.DeepPink);
    Font hfont = new Font("Tahoma", 10, FontStyle.Bold);
    Font mfont = new Font("Tahoma", 10);
    float sw = (float)((this.pictureBox1.Width - 20) / (m));
    double cvmax = cv[0];
    double cvmin = cv[0];
    for (int i = 0; i < m; i++)
    {
        if (cv[i] > cvmax) cvmax = cv[i];
        if (cv[i] < cvmin) cvmin = cv[i];
    }
    float x1, y1, x2, y2;
    x1 = 8;
    y1 = this.pictureBox1.Height - 20 - (float)((this.pictureBox1.Height - 70)
    * (cv[0] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
    g.DrawRectangle(myPen, x1 - 2, y1 - 2, 4, 4);
    g.DrawString(nazv[0], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x1 - 5, y1 -
    20);
    for (int i = 1; i < m; i++)
    {
        x2 = 8 + i * sw;
        if (cv[i].ToString() == "NaN") cv[i] = 0;
        y2 = this.pictureBox1.Height - 20 - (float)((this.pictureBox1.Height - 70)
        * (cv[i] - cvmin) / (cvmax - cvmin));
        g.DrawRectangle(myPen, x2 - 2, y2 - 2, 4, 4);
        g.DrawString(nazv[i], mfont, System.Drawing.Brushes.Black, x2 - 5, y2 -
        20);
        g.DrawLine(myPen, x1, y1, x2, y2);
        x1 = x2;
        y1 = y2;
    }
    x2 = 8 + (cv.Length - 1) * sw;
    y2 = this.pictureBox1.Height - 20 - (float)((this.pictureBox1.Height - 70)
```

Рис. 3. Фрагмент коду програмного продукту

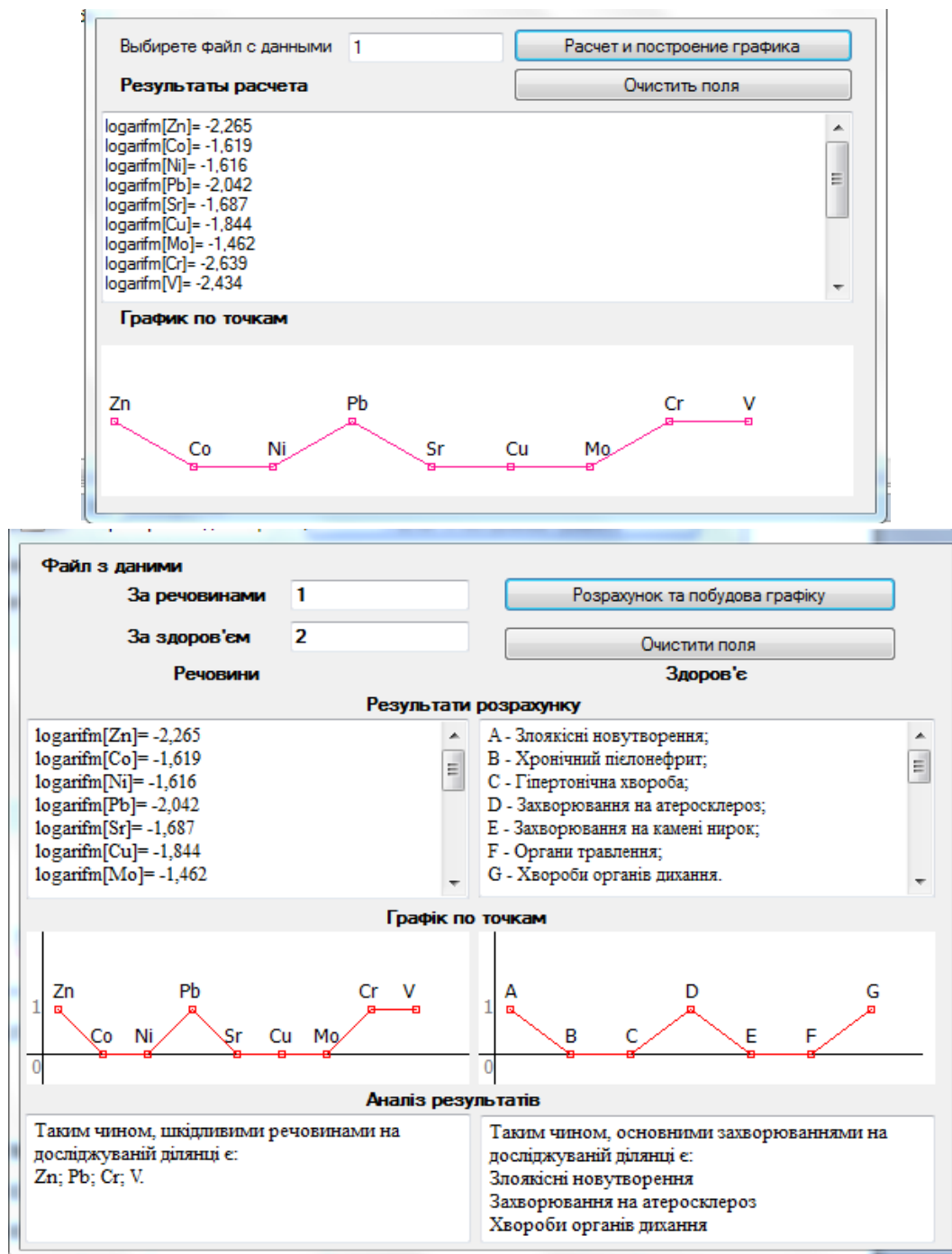


Рис. 4. Розрахунок взаємозв'язку між викидами важких металів і здоров'ям населення

5. Висновки

У результаті вирішення завдань з метою отримання комплексної методики оцінки стану системних об'єктів за різнорідними аспектами аналізу отримані такі науково-практичні дані:

1. Робота методичного забезпечення з оцінки відповідності систем прийнятим вимогам підтримується використаною для системного аналізу знань-орієнтованою інформаційною системою (рис. 1), що дозволяє ОПР отримати об'єктивні і обґрунтовані входні дані для оцінювання.

2. Запропонована аналітична система дозволяє використовувати у комплексному дослідженні методи

оцінки якості різних за природою об'єктів за ентропійною функцією відповідності у вигляді $(S'(K), S(\xi|n), \Delta S)$, що є входною інформацією для компаратора безпечності їх стану і функціональності.

3. Для встановлення ентропійної функції оцінювання стану, вірогідності процесів і отримання остаточного результату у прийнятті рішення в умовах невизначеності взаємодії «об'єкт – навколишнє середовище» використано ентропійний підхід. Це дозволило універсалізувати оцінку стану і процесів за єдиним змістом, створити для практичних цілей програмне забезпечення реалізації запропонованої методики з використанням компараторної ідентифікації за моніторинговою інформацією.

Література

1. Згуровський, М. З. Основи системного аналізу [Текст] / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова. – К.: Видавнична група ВНУ. 2007. – 544 с.
2. Николис, Г. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. [Текст] / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
3. Бриллюэн, Л. Научная неопределенность и информация [Текст] / Л. Бриллюэн. – М.: Мир, 1966. – 272 с.
4. Вяткин, В. Б. Синергетическая теория информации: пояснения и терминологические замечания [Текст] / В. Б. Вяткин // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 80 (06). – С. 1–36. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/06/pdf/46.pdf>
5. Пригожин, И. Р. Конец неопределенности [Текст] / И. Р. Пригожин. – Ижевск. НИЦ, 2000. – 208 с.
6. Пригожин, И. Р. Порядок из хаоса [Текст] / И. Р. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Наука, 1986. – 432 с.
7. Коваль, А. В. Модель сценарно-целевого похода при построении информационно-аналитической системы [Текст]: матер. 16-й Межд. народ. науч.-техн. конф. / А. В. Коваль, Ю. Д. Бойко, Е. А. Зайцева // Системный анализ и информационные технологии: САИТ-14. – К.: УНК «ИПСА» НУТУ «КПИ», 2014. – С. 105–106.
8. Горбань, И. И. Энтропия неопределенности [Текст] / И. И. Горбань // Математичні машини і системи. – 2013. – № 2. – С. 105–117.
9. Вечірська, І. Д. Про дослідження властивостей лінійних логічних перетворень [Текст] / І. Д. Вечірська, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Системи обробки інформації. – 2007. – Вип. 8 (66). – С. 130–133.
10. Wang, X. Editorial: environmental informatics for environmental planning and management [Text] / X. Wang // Journal of Environmental Informatics. – 2007. – Vol. 9, Issue 1. – P. 1–3. doi: 10.3808/jei.200700082
11. Kumari, J. Entropy change as influenced by anthropogenic impact on a boreal land cover – a case study [Text] / J. Kumari, A. Govind, A. Govind. // Journal of Environmental Informatics. – 2006. – Vol. 7, Issue 2. – P. 75–83. doi: 10.3808/jei.200600069
12. Jung, J.-Y. An entropy-based uncertainty measure of process models [Text] / J.-Y. Jung, C.-H. Chin, J. Cardoso // Information Processing Letters. – 2011. – Vol. 111, Issue 3. – P. 135–141. doi: 10.1016/j.ipl.2010.10.022
13. Chundi, P. Entropy Based Measure Functions for Analyzing Time Stamped Documents, Proceedings of the Fourth Workshop on Text Mining [Text] / P. Chundi, R. Zhang // Sixth SIAM International Conference on Data Mining, Hyatt Regency Bethesda, Bethesda, Maryland, 2006.
14. Барабаш, О. В. Побудова нечіткої бази знань системи управління складною організаційно-технічною системою [Текст] / О. В. Барабаш, В. А. Савченко, А. С. Слюняев // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 2 (69). – С. 79–82.
15. Голян, Н. В. Алгебро-логические модели конструкций неявного выбора в бизнес процессах [Текст] / Н. В. Голян, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 8 (98). – С. 275–278.
16. Юдицкий, С. А. Сценарно-целевой подход к системному анализу [Текст] / С. А. Юдицкий // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 4. – С. 63–175.
17. Козуля, Т. В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: монографія [Текст] / Т. В. Козуля. – Харків: НТУ «ХПИ», 2010. – 588 с.
18. Сукачов, В. И. Основы синергетики [Текст] / В. И. Сукачов. – К.: Оберег, 2001. – 287 с.
19. Хакен, Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах [Текст] / Г. Хакен. – М.: Мир, 1985. – 423 с.
20. Николас, Дж. Динамика иерархических систем: эволюционное представление [Текст] / Дж. Николас. – М.: Мир, 1989. – 488 с.
21. Козуля, Т. В. Синергетика і прийняття управлінського рішення в умовах функціонування корпоративної екологічної системи [Текст] / Т. В. Козуля, Н. В. Шаронова // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2005. – № 2. – С. 31–36.
22. Федулов, А. А. Введение в теорию статистически ненадежных решений [Текст] / А. А. Федулов, Ю. Г. Федулов, В. Н. Цыгичко. – М.: Статистика, 1979. – 279 с.
23. Овезгельдыев, А. О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации [Текст] / А. О. Овезгельдыев, Э. Г. Петров, К. Э. Петров – К.: Наукова Думка, 2002. – 163 с.
24. Козуля, Т. В. Методологія екологічного моніторингу та управління природно-техногенними об'єктами. Навчальний посібник [Текст] / Т. В. Козуля. – Харків: НТУ «ХПИ», 2015. – 288 с.
25. Козуля, Т. В. Теоретико-практические основы методологии комплексной оценки экологичности территориальных и объектовых систем. Монография. [Текст] / Т. В. Козуля. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. – 298 с.
26. Колмагоров, А. Н. Теория информации и теория алгоритмов [Текст] / А. Н. Колмагоров. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
27. Бодров, В. И. Математические методы принятия решений [Текст] / В. И. Бодров, Т. Я. Лазарева, Ю. Ф. Мартемьянов – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 124 с.
28. Аросеньев, Ю. Н. Принятие решений. Интегрированные интеллектуальные системы [Текст] / Ю. Н. Аросеньев, С. И. Шелобаев, Т. Ю. Давыдова – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 270 с.
29. Ларичев, О. И. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений [Текст] / О. И. Ларичев, Е. М. Мошкович. – М.: Наука, Физматлит, 1996. – 208 с.