

КАТЕГОРНІ МОДЕЛІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СТРУКТУРИ АГРЕГАТИВ  
І КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В ІЄРАРХІЇ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Б. В. Дурняк<sup>1</sup>, Л. С. Сікора<sup>2</sup>, Н. К. Лиса<sup>2</sup>, В. І. Сабат<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79000, Україна

*Проаналізовано стан проблеми структуризації складних систем, визначено динамічні системи у часі на термінальному циклі управління, розроблено модель термінальної системи у просторі станів. Проаналізовано реакції системи при зміні станів відносно вхідних та вихідних параметрів і визначено простір станів для динамічної системи. Обґрунтовано, що класична структура представлення системи у вигляді чорного ящика не відображає активну діяльність енергетичних перетворень і для формування енергоактивних процесів необхідно як мінімум два потоки активних ресурсів, відповідно, запропоновано модель енергоактивного блока з оператором енергетичних перетворень.*

*Обґрунтовано і розроблено категорні моделі представлення структури агрегатів і каналів передачі даних в ієрархії системи, подано означення глобальної системи і її станів та реакцій на збурення та управління, проведено теоретико-множинний опис системи в просторово-часових координатах, динамічних у часі.*

**Ключові слова:** кібербезпека, ризик, загроза, атака, технологічна структура, ієрархічна система управління, інформаційна технологія.

**Постановка проблеми.** Проблема оцінки загрозливих ситуацій при функціонуванні техногенних систем повною мірою не розв'язується як в класичній теорії управління, так і в сучасних підходах на підставі системного аналізу. Атаки і загрози інформаційного і ресурсного характеру, які призводять до зміни стану системи і стратегії управління, можуть призвести до техногенних аварій, тому розроблення методів виявлення вузлів у структурі систем, через які відбуваються атаки, є актуальною проблемною задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Відповідно, для вирішення проблеми захисту систем здійснено комплексний аналіз літературних джерел та фундаментальних праць щодо теорії і структури техногенних просторово-розподілених виробництв.

У навчальному посібнику [1] наведено алгоритми прийняття вигідних управлінських рішень в умовах ризику та невизначеності і їхнє застосування у виробництві, економіці, фінансово-кредитній системі та бізнесі. Досліджено типові та

модифіковані економіко-математичні моделі різних предметних областей, репрезентовано числові приклади вирішення конкретних прикладних проблем економіки.

У праці [2] розглянуті методи ймовірнісного моделювання систем, надійності та безпеки технічних систем, методологія дослідження ризику.

У монографії [3] розглянуто проблему автоматизації управління великими технологічними комплексами, проведено аналіз якості управляючих систем, розроблено методи розрахунків показників ефективності процесу управління, наведено математичний апарат, але не враховано когнітивну компоненту прийняття управлінських рішень.

У колективній праці [4] на підставі теоретичних основ математичного моделювання розглянуто системи моделей технологічних процесів, наведені типові структурні моделі, сигнальні та інформаційні мережі.

У праці [5] розглянуто методи і засоби теорії прийняття рішень та їх математичні основи, що є підставою до побудови стратегії управління.

У праці [6] розглянуто сучасні технології консолідації інформаційних ресурсів, методи моделювання динаміки предметних областей у базах даних, моделі даних, програмне забезпечення для консолідації даних.

У монографії [7] розглянуто теоретичні основи інженерії знань та управління процесами формування знань, онтології, як підстави створення бази знань для управління і структуризації документів.

У монографії [8] викладено методи дискретної математики, які використовуються для моделювання складних систем різної природи. Проведено аналіз задач прийняття рішень, логіки групового вибору стратегічної поведінки систем, способи і методи опису ситуацій.

У посібнику [9] розглянуто проблему відбору даних, як основи достатності інформації про стан об'єкта, що необхідно для прийняття рішень для процесу управління.

У праці [10] розглянуто та викладено основні засади та методи оцінки якості інформації для прийняття рішень у виробничих системах. Розроблено методи оцінки достовірності даних про стан об'єктів та методи опису динамічних режимів.

У праці [11] розглянуто вирішення проблем створення систем генерації ціле-орієнтованих планів для розв'язання задач управління, методи представлення знань, стратегій прийняття рішень в умовах невизначеності на підставі логічних правил і процедур.

У посібнику [12] викладено основи інтелектуальної обробки потоків даних, теорія сховищ даних, аналіз образів та текстової інформації.

Способи підвищення ефективності та якості роботи операторів в системах автоматизованого управління технічними комплексами розглянуто в навчальному посібнику [13]. На підставі системного аналізу визначено оперативну діяльність людини, діалоги у процесі прийняття рішень.

У навчальному посібнику [14] викладено методи аналізу надійності і безпеки технічних систем, аналітичний аналіз і методи ймовірного моделювання та способи оцінки ризиків виникнення аварійних ситуацій.

У монографії [15] сформовано основні положення інформаційно-ресурсної концепції аналізу і синтезу структури систем управління складними об'єктами. Розроблено методики формування стратегій управління в цільовому просторі системи в умовах дії збурень на підставі ігрової та ресурсно-інформаційної концепцій.

У монографії [16] на підставі інформаційно-ресурсної концепції, розробленої автором, обґрунтовано метод ідентифікації структури і динаміки поведінки складних систем в умовах дії загроз, розглянуто ігрові моделі взаємодії.

У праці [17] обґрунтовано концепції енергоактивності об'єктів управління та розроблено методи обробки потоків даних на підставі перспективних інформаційних технологій.

У праці [18] на підставі системного аналізу і когнітивної технології обґрунтовано методи логіки прийняття рішень в екстремальних ситуаціях, нечіткості даних та процедури побудови стратегій.

У працях [19–21] на підставі системного аналізу та логіко-когнітивних моделей розглянуто методи формування і прийняття рішень в цілеспрямованих системах управління з ієрархічною структурою в умовах ризику аварій і конфліктів. Розглянуто лазерні технології відбору і опрацювання даних від енергоактивних об'єктів для забезпечення прийняття рішень в системах управління і екомоніторингу.

У праці [22] автори розглядають проблеми управління великими ієрархічними системами, що пов'язані з введенням поняття стану системи, її керованістю та реалізацією, а також можливостями її структурної декомпозиції.

Методологія забезпечення функціональної стійкості ієрархічних організаційних систем управління в умовах дії загроз та атак розглянута у колективній праці [23].

У колективній праці [24] розглянуті інформаційні технології забезпечення управлінського процесу в ієрархічних структурах.

Категорні моделі представлення структури і динамічного стану ієрархічних систем для виявлення факторів атак і ризиків розглянуті у праці [25].

У праці [26] досліджено методи оцінки ризику в автоматизованих системах документообігу.

Розробленню систем виявлення вторгнень для поліграфічних підприємств присвячена праця [27], у якій для ієрархічних систем управління поліграфічним підприємством запропоновано використовувати комбіновані вузлові і мережні системи виявлення вторгнень.

**Мета статті** — розробити методи виявлення зміни станів кіберфізичних техногенних систем на підставі системного аналізу і теорії категорій, які забезпечують зменшення рівня ризиків аварій при дії атак на ресурсну, інформаційну і структурну компоненти техногенної системи.

**Задачі дослідження:** для забезпечення ефективного функціонування складних систем в технологічній структурі та зменшення рівня ризиків аварій у процесі їхнього функціонування необхідно розв'язати такі задачі:

1) проаналізувати стан проблеми структуризації складних систем та провести аналіз літературних джерел;

2) обґрунтувати використання системного і категорного аналізу для представлення компонент, блоків, агрегатів структури системи;

3) обґрунтувати на підставі теорії категорій представлення динамічного стану системи, зв'язків, каналів впливу загроз, атак.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Глобальна система на загальному рівні описується як відношення на абстрактних множинах. Поведінка таких систем з динамічними властивостями описується через абстрактні функції часу у просторі станів, щоб можна було відстежувати зміни положення в часі. Загалом динамічна система визначається за типом поведінки у просторі станів [5].

### I. Теоретико-множинний опис складної системи з ієрархією

Для представлення математичних моделей систем вводяться означення як базові компоненти понятійної структури [23, 28] (рис. 1, 2).

*Означення 1.1.* Системою називається відношення на непорожніх абстрактних множинах виду  $S \subset \otimes_i^n \{V_i \dots V_n, i \in I\} \equiv \{V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n\}$ , де  $V_i$  — об'єкт системи;  $i$  — індекс.

*Означення 1.2.* Множина  $X$  множини  $I$  називається вхідним об'єктом,  $V$  — вихідним об'єктом, що, відповідно, визначає структуру (вхід — вихід) систем у вигляді:  $S \subset \{X \times Y\}$ ,  $X = \otimes \{V_i : i \in I_X\}$ ,  $Y = \otimes \{V_i : i \in I_Y\}$ ,  $I_X \subset I$ ,  $I_Y \subset I$ ,  $I_X \cap I_Y = \emptyset$ , де  $(I_X, I_Y)$  — розбиття на  $I$ ;  $X$  — вхідний об'єкт;  $Y$  — вихідний об'єкт.

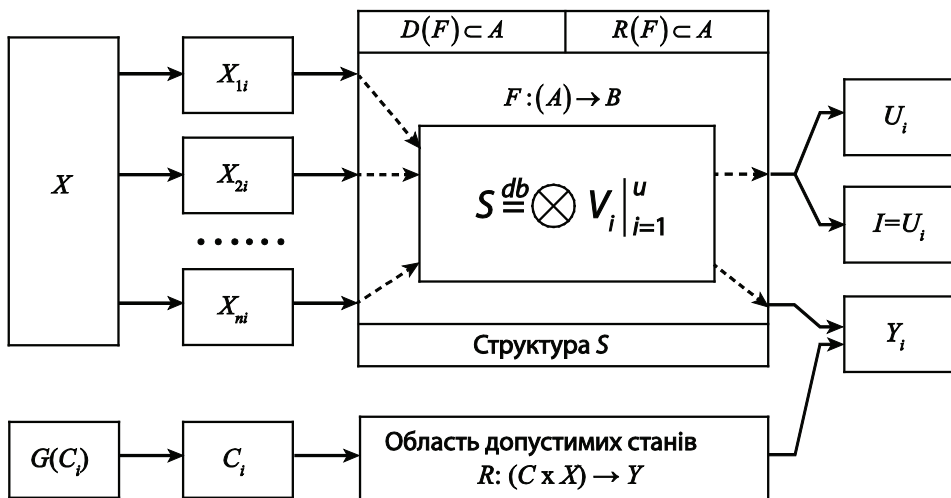


Рис. 1. Абстрактно-множинна модель системи

Система буде функціональною, якщо вона задається у вигляді  $S : X \rightarrow Y$ .

Для функціональної системи  $F \subset S$ , тоді маємо такі представлення:

$F : (A) \rightarrow B$  — визначена на  $A$ ;

$D(F) \subset A$  — область визначення функції;

$R(F) \subset B$  — область визначення значень.

Відповідно до системи  $S \subset X \times Y$  маємо:

$$D(S) = \{x: \exists y, (x, y) \in S\}, R(S) = \{y: \exists x, (x, y) \in S\}.$$

### II. Термінальне представлення системи

На підставі вищенаведених означень одержимо термінальні представлення системи на циклі управління  $T_i \subset [R^n \times T_i]_{i=1}^m$  у просторі станів (рис. 2).

Для такого представлення системи область станів визначається у вигляді:

$$R: (C \times X) \rightarrow Y,$$

де  $((x, y) \in S) \Leftrightarrow (\exists C: R(c, x) = y, y \in Y)$ ;  $C$  — множина глобальних станів системи; функція  $R$  визначає характер поведінки системи або глобальну реакцію системи на зміну станів, тобто  $R: (C \times X) \rightarrow Y$ .

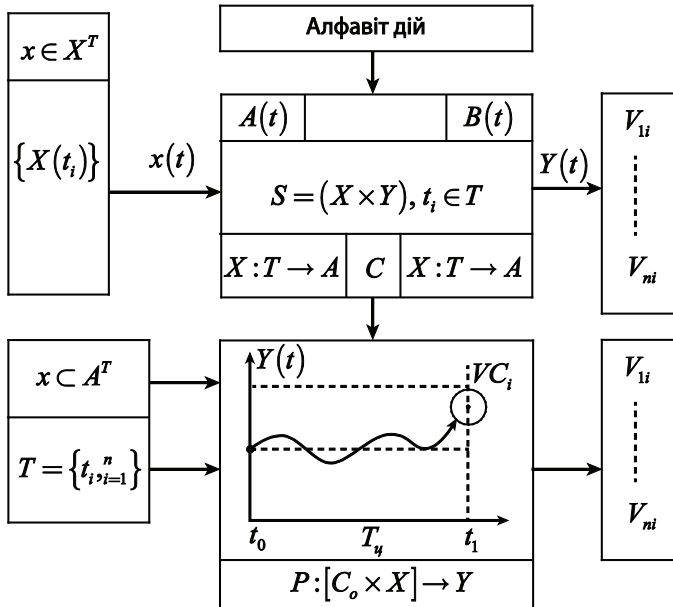


Рис. 2. Модель термінальної системи у  $[R \times T]$  просторі станів

### III. Системи динамічні у часі на термінальному циклі управління

*Означення 1.3.* Загальною часовою (термінальною) системою  $S$  над  $X$  і  $Y$  є відношення  $S \subset \{X \times Y\}$ ,  $X \subset A^T$ ,  $Y \subset B^T$ , якщо  $A, B$  — алфавіт вхідних дій та вихідних при  $x: T \rightarrow A$ ,  $y: T \rightarrow B$ , де  $A$  і  $B$  — множини;  $T = \{t_i\}$  — множина моментів часу;  $A^T, B^T$  — множина відображень;  $A^T: T \rightarrow A$ ,  $B^T: T \rightarrow B$  — значення функцій з  $X$  і  $Y$  в момент часу  $T$  будуть  $\{x(t), y(t)\}$  на інтервалі  $T_i = \{t'_j, t'_i > t\}$ .

*Означення 1.4.* Динамічна у часі система  $S$  називається системою з повним входом, якщо маємо:  $S \subset \{X \times Y\}; \forall x, \forall X^*, \forall t (Y, X^* \in D(S));$

$$(t \in T) \Rightarrow (X_t, X_t^*) \in D(S); \forall t (\{X(t): X \in Y\} = A).$$

*Означення 1.5.* Нехай  $S$  — часова динаміка система на  $t \in T$ . Станом системи в момент  $t \in T$  буде  $(C_t \subset S_t)$ , для якого визначена функція стану та реакції у вигляді:  $\rho_o: [C_o \times X] \rightarrow Y$  — початкова реакція,  $\forall (x, y) \in S \Leftrightarrow \Leftrightarrow \exists C [\rho_o(C, x) = Y]$ , тоді для моменту часу  $t \in T$  реакція визначається у вигляді формули зміни динамічного стану:  $\forall t: \rho_t: C_t \times X_t \rightarrow Y$ , тоді якщо  $[(X_t, Y_t) \in S_t] \Leftrightarrow \exists C [\rho_t(C, X_t) = Y_t]$ , де  $\rho_t$  — реакція системи у момент  $t$  на  $X_t$ .

*Сімейство реакцій.* На інтервалі  $t$  визначається згідно з  $[\hat{C}_t]$  — сімейство станів відносно можливих реакцій  $\rho = \{\rho_t: C_t \times X_t \rightarrow Y_t, t \in T\}$ , де  $\hat{C} = \{C_t: t \in T\}$  — сімейство можливих станів системи  $S$  на інтервалі управління  $T$ .

*Означення 1.6.* Для існування часової системи  $S$  (динаміки) виду  $(S \subset X \times Y)$ , відповідно, має бути сімейство реакцій  $\hat{\rho}$ , для яких виконується умова:

$$\forall t \in T: (\forall C_o) (\forall X_t) \cdot (\forall X^t) \exists C_t [\rho_t(C_t, X_t) = \rho_o(C_o, X^t \cdot X_t) T_t];$$

$$(\forall C_t) (\forall X_t) \exists C_o, \exists X^t [\rho_t(C_t, X_t) = \rho_o(C_o, X^t \cdot X_t) T_t];$$

$$\exists C_t \in C_t: y_t = \rho_t(C_t, X_t), \text{ для якого } y_t = \rho_t(C_o X_t) = \rho_o(C_o, X^t \cdot X_t) / T_t.$$

*Означення 1.7.* Часова система  $S \subset (X \times Y)$  — називається динамічною, якщо існують такі сімейства функціональних відображень:

$$\hat{\rho} = \{(\rho_t: C_t \times X_t \rightarrow Y_t) \chi(t \in T)\};$$

$$\hat{\phi} = \{(\phi_u: C_t \times X_u \rightarrow C_t) \chi([t, t'] \in T, [t' \geq t])\},$$

де  $\hat{\rho}$  — сімейство реакцій системи  $S$ ;  $\Phi_u$  — функції переходу станів систем  $S$ .

Відповідно до означення одержимо вираз узагальненої реакції системи  $S$  при зміні станів відносно виходу  $(Y_t, t \in T)$ .

Якщо  $\rho = \{\rho_t: \hat{C}_t \times X_t \rightarrow Y_t\}$ ,  $\hat{\phi} = \{\phi_{u'}: C_t \times X_{u'} \rightarrow C_t\}$ , то

$\rho_t(C_t, X_t) / T_t = \rho_{t''}(\phi_{u''}(C_t, X_{t''}), X_{t''})$  — тоді  $\hat{\rho}$ , відповідно, визначає композицію переходів при зміні станів  $\phi$  для системи  $S$ .

*Означення 1.8.* Множина  $C$  є простором станів системи  $S$  тоді і тільки тоді, якщо існують такі сімейства функцій, що  $\hat{\rho} = \{\rho_t: C \times X_t \rightarrow Y_t\}$ ,  $\hat{\phi} = \{\phi_t: C \times X_{t'} \rightarrow C\}$ , для яких виконується:

$$\forall t, t' \in T \rho_t(C, X_t) / T_t = \rho_{t'}(\phi_{t'}(C, X_{t'}), X_{t'}),$$

$$t \in T, S_t \in S_t^p \phi_{u'}(C, X_{u'} = \phi_{u''}(\phi_{u''} C, X_{u''}) \cdot X_{u''}), \phi_u(C, X_u) = C,$$

$$S_o^p = [(x, y): \exists C: y = \rho_o(C, X)] \subset S.$$

Класичний підхід оцінки динаміки системи через реакцію та параметр стану при вході  $X_t$  і виході  $Y_t, t \in T$  не охоплює динамічні процеси в енергоактивній системі тому, що у ній для формування енергоактивних процесів необхідно як мінімум два потоки активних ресурсів. Наведемо ці структури (рис. 3).

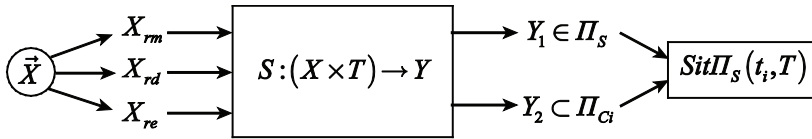


Рис. 3. Класична структура представлення систем у вигляді чорного ящика (вхід — оператор системи — вихід)

У такому представленні системи не відображена структура активної діяльності, тобто енергетичних перетворень. Відповідно розроблено модель енергоактивного блока (рис. 4).

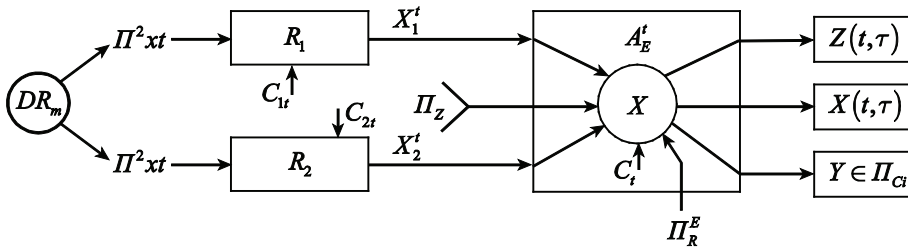


Рис. 4. Модель енергоактивного блока з оператором енергетичних перетворень  $A'_E$ , потоків ресурсів  $(\Pi^2_{Xt})$ , режимом  $\Pi^E_R$

**Висновки.** Розвиток технологічних процесів, ріст виробничих потужностей теплових електростанцій, транспорту та нафтогазової промисловості, в структуру яких входять енергоактивні об'єкти, ставлять нові вимоги до процесу управління ієрархічним підприємством і якщо не враховувати нові реалії функціонування таких підприємств в умовах дії ризиків загроз та атак, то це може призвести до зниження в певних галузях рівня безпеки їхнього функціонування, аварій та катастроф.

Причинними факторами виникнення аварійних ситуацій є помилки під час проектування, обмеженість знань про структуру технологічних систем та енергосистем, відсутність прогнозованої інформації про динаміку руйнівних процесів, які можуть виникати при функціонуванні енергоактивних об'єктів та при передачі даних в ієрархії системи. У статті обґрунтовано і розроблено категорні моделі представлення структури агрегатів і каналів передачі даних, подано означення глобальної системи і її станів та реакцій на збурення та управління, проведено теоретико-множинний опис системи в просторово-часових координатах, динамічних у часі.

Виявлення основних загроз і кризових ситуацій в складних ієрархічних структурах дає змогу проводити детальний аналіз факторів зовнішнього впливу і атак на систему і, відповідно, створювати превентивні методи захисту та безпеки таких структур на основі розробленої моделі сценарію ситуаційного управління в умовах дії загроз на систему в термінальному циклі управління і реакцій системи на зміни станів під дією зовнішніх негативних факторів.



**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Івашук О. Т. Економіко-математичне моделювання : навч. посіб. / за ред. О. Т. Івашука. Тернопіль : ТНЕУ «Економічна думка», 2008. 704 с.
2. Пушкар М. С., Проценко С. М. Проектування систем автоматизації : навч. посіб. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2013. 268 с.
3. Прокопенко Т. О. Теорія систем і системний аналіз : навч. посіб. Черкаси : ЧДТУ, 2019. 139 с.
4. Скурихин В. И., Шифрин В. Б., Дубровский В. В. Математическое моделирование. Киев : Техника, 1983. 270 с.
5. Верес О. М. Технології підтримання прийняття рішень / за заг. ред. В. В. Пасічника. Львів : Львівська Політехніка, 2010. 252 с.
6. Жежнич П. І. Консолідовані інформаційні ресурси баз даних та знань / за заг. ред. В. В. Пасічника. Львів : Львівська Політехніка, 2010. 210 с.
7. Литвин В. В. Технології менеджменту знань / за заг. ред. В. В. Пасічника. Львів : Львівська Політехніка, 2013. 258 с.
8. Сергієнко І. В. Математичні моделі і методи вирішення проблем дискретної оптимізації. Київ : Наукова думка, 1985. 384 с.
9. Стеценко І. В. Моделювання систем : навч. посіб. Черкаси : ЧДТУ, 2010. 399 с.
10. Ron S. Kenett, Galit Shmueli. Information Quality: The Potential of Data and Analytics to Generate Knowledge. United Kingdom, 2017. 350 p. DOI: 10.1002/9781118890622.
11. Гладун В. П. Планирование решений. Київ : Наук. думка, 1987. 168 с.
12. Vachratá K., Klimo M. Process Analysis. CSc. : University of Žilina, 2008. 171 p.
13. Теорія систем і системний аналіз : навч. посіб. / Балтовський О. А. Ісмайлов К. Ю., Сіфоров О. І., Форос Г. В., Заєць О. М. Одеса : РВВ ОДУВС, 2021. 156 с.
14. Березуцький В. В., Адаменко М. І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека». Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.
15. Сікора Л. С. Системологія прийняття рішень та управління в складних технологічних структурах. Львів : Каменярь, 1998. 453 с.
16. Сікора Л. Інформаційно-ресурсна концепція ідентифікації і синтезу робастних систем управління. Львів : ЦСД, 1999. 372 с.
17. Сікора Л. С., Медиковський М. Д., Грицик В. В. Перспективні інформаційні технології в системах автоматичного управління енергоактивними об'єктами виробничих структур. Львів : ДНДІ, 2002. 416 с.
18. Ткачук Р. Л., Сікора Л. С. Логіко-когнітивні моделі формування управлінських рішень інтегрованими системами в екстремальних умовах. Львів : Ліга-Прес, 2010. 404 с.
19. Когнітивні моделі формування стратегій оперативного управління інтегрованими ієрархічними структурами в умовах ризиків і конфліктів / Дурняк Б. В., Сікора Л. С., Антоник М. С., Ткачук Р. Л. Львів : Українська академія друкарства, 2013. 449 с.
20. Автоматизовані людино-машинні системи управління інтегрованими ієрархічними організаційними та виробничими структурами в умовах ризику та конфліктів / Дуряк Б. В., Сікора Л. С., Антоник М. С., Ткачук Р. Л. Львів : Українська академія друкарства, 2013. 514 с.
21. Інформаційні та лазерні технології відбору потоків даних та їх когнітивна інтерпретація в автоматизованих системах управління / Дуряк Б. В., Сікора Л. С., Лиса Н. К., Ткачук Р. Л., Яворський Б. І. Львів : Українська академія друкарства, 2017. 644 с.



22. Mesarović M. D., Takahara Y., Macko D. Theory of Hierarchical, Multilevel, Systems. Academic Press, 1972. 294 p.
23. Методологія забезпечення функціональної стійкості ієрархічних організаційних систем управління / Дурняк Б. В., Машков О. А., Сабат В. І., Усаченко Л. М. *Збірник наукових праць*. Київ : ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2008. Вип. 48. С. 3–21.
24. Інформаційні технології забезпечення управлінського процесу в ієрархічних структурах / Сікора Л. С., Антоник М. С., Лиса Н. К., Сабат В. І., Пюрко Л. І., Якимчук Б. Л. *Збірник наукових праць*. Київ : ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2013. Вип. 69. С. 188–199.
25. Категорні моделі представлення структури і динамічного стану ієрархічних систем для виявлення факторів атак і ризиків / Сікора Л. С., Лиса Н. К., Ткачук Р. Л., Сабат В. І., Міюшкович Ю. Г., Марцишин Р. С. *Комп'ютерні технології друкарства*. 2018. № 2 (40). С. 25–45.
26. Сабат В. І. Аналіз ризиків в автоматизованих системах документообігу. *Моделювання та інформаційні технології*. Київ : ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2014. Вип. 73. С. 198–204.
27. Сабат В. І., Драгомірова В. Т. Розроблення системи виявлення вторгнень для захисту поліграфічних підприємств та видавництв. *Наукові записки [Української академії друкарства]*. 2021. № 2 (63). С. 126–133.
28. Глушков В. М. Введение в АСУ. Київ : Техніка, 1974. 317 с.

#### REFERENCES

1. Ivashchuk, O. T. (2008). Ekonomiko-matematychne modeliuвання / za red. O. T. Ivashchuka. Ternopil : TNEU «Ekonomichna dumka» (in Ukrainian).
2. Pushkar, M. S., & Protsenko, S. M. (2013). Proektuvannya system avtomatyzatsii. Dnipropetrovsk : Natsionalnyi hirnychiy universytet (in Ukrainian).
3. Prokopenko, T. O. (2019). Teoriia system i systemnyi analiz. Cherkasy : ChDTU (in Ukrainian).
4. Skurihin, V. I., Shifrin, V. B., & Dubrovskij, V. V. (1983). Matematicheskoe modelirovanie. Kiev : Tehnika (in Russian).
5. Veres, O. M. (2010). Tekhnolohii pidtrymannia pryiniattia rishen / za zah. red. V. V. Pasichnyka. Lviv : Lvivska Politehnika (in Ukrainian).
6. Zhezhnych, P. I. (2010). Konsolidovani informatsiini resursy baz danykh ta znan / za zah. red. V. V. Pasichnyka. Lviv : Lvivska Politehnika (in Ukrainian).
7. Lytvyn, V. V. (2013). Tekhnolohii menedzhmentu znan / za zah. red. V. V. Pasichnyka. Lviv : Lvivska Politehnika (in Ukrainian).
8. Serhiienko, I. V. (1985). Matematychni modeli i metody vyrishennia problem dyskretnoi optymizatsii. Kyiv : Naukova dumka (in Ukrainian).
9. Stetsenko, I. V. (2010). Modeliuвання system. Cherkasy : ChDTU (in Ukrainian).
10. Ron, S. (2017). Kenett, Galit Shmueli. Information Quality: The Potential of Data and Analytics to Generate Knowledge. United Kingdom. DOI: 10.1002/9781118890622 (in English).
11. Hladun, V. P. (1987). Planyrovanye reshenyi. Kyiv : Nauk. dumka (in Russian).
12. Bachratá, K., & Klimo, M. (2008). Process Analysis. CSc. : University of Žilina (in English).
13. Baltovskiy, O. A. Ismailov, K. Yu., Siforov, O. I., Foros, H. V., & Zaiets, O. M. (2021). Teoriia system i systemnyi analiz. Odesa : RVV ODUVS (in Ukrainian).

14. Berezutskyi, V. V., & Adamenko, M. I. (2016). Nebezpechni vyrobnychi ryzyky ta nadiinist: navchalnyi posibnyk dlia studentiv za napriamkom pidhotovky 6.170202 «Tsyvilna bezpeka». Kharkiv : FOP Panov A. M. (in Ukrainian).
15. Sikora, L. S. (1998). Systemolohiia pryiniattia rishen ta upravlinnia v skladnykh tekhnolohichnykh strukturakh. Lviv : Kameniar (in Ukrainian).
16. Sikora, L. (1999). Informatsiino-resursna kontseptsiiia identyfikatsii i syntezy robustnykh system upravlinnia. Lviv : TsSD (in Ukrainian).
17. Sikora, L. S., Medykovskiy, M. D., & Hrytsky, V. V. (2002). Perspektyvni informatsiini tekhnolohii v systemakh avtomatychnoho upravlinnia enerhoaktyvnymy ob'iektamy vyrobnychych struktur. Lviv : DNDI (in Ukrainian).
18. Tkachuk, R. L., & Sikora, L. S. (2010). Lohiko-kohnityvni modeli formuvannia upravlinskykh rishen intehrovanyimi systemamy v ekstremalnykh umovakh. Lviv : Liha-Pres (in Ukrainian).
19. Durniak, B. V., Sikora, L. S., Antonyk, M. S., & Tkachuk, R. L. (2013). Kohnityvni modeli formuvannia stratehii operatyvnoho upravlinnia intehrovanyimi iierarkhichnymy strukturamy v umovakh ryzykiv i konfliktiv. Lviv : Ukrainska akademiia druzarstva (in Ukrainian).
20. Duriak, B. V., Sikora, L. S., Atonyk, M. S., & Tkachuk, R. L. (2013). Avtomatyzovani liudynomashynni systemy upravlinnia intehrovanyimi iierarkhichnymy orhanizatsiynymy ta vyrobnychymy strukturamy v umovakh ryzyku ta konfliktiv. Lviv : Ukrainska akademiia druzarstva (in Ukrainian).
21. Duriak, B. V., Sikora, L. S., Lysa, N. K., Tkachuk, R. L., & Yavorskyi, B. I. (2017). Informatsiini ta lazerni tekhnolohii vidboru potokiv danykh ta yikh kohnityvna interpretatsiia v avtomatyzovanykh systemakh upravlinnia. Lviv : Ukrainska akademiia druzarstva (in Ukrainian).
22. Mesarović, M. D., Takahara, Y., & Macko, D. (1972). Theory of Hierarchical, Multilevel, Systems. Academic Press (in English).
23. Durniak, B. V., Mashkov, O. A., Sabat, V. I., & Usachenko, L. M. (2008). Metodolohiia zabezpechennia funktsionalnoi stiikosti iierarkhichnykh orhanizatsiynnykh system upravlinnia: Zbirnyk naukovykh prats. Kyiv : IPME im. H. Ye. Pukhova NAN Ukrainy, 48, 3–21 (in Ukrainian).
24. Sikora, L. S., Antonyk, M. S., Lysa, N. K., Sabat, V. I., Pioro, L. I., & Yakymchuk, B. L. (2013). Informatsiini tekhnolohii zabezpechennia upravlinskoho protsesu v iierarkhichnykh strukturakh: Zbirnyk naukovykh prats. Kyiv : IPME im. H. Ye. Pukhova NAN Ukrainy, 69, 188–199 (in Ukrainian).
25. Sikora, L. S., Lysa, N. K., Tkachuk, R. L., Sabat, V. I., Miiushkovych, Yu. H., & Martysyshyn, R. S. (2018). Katehorni modeli predstavlennia struktury i dynamichnoho stanu iierarkhichnykh system dlia vyivlennia faktoriv atak i ryzykiv: Komp'uterni tekhnolohii druzarstva, 2 (40), 25–45 (in Ukrainian).
26. Sabat, V. I. (2014). Analiz ryzykiv v avtomatyzovanykh systemakh dokumentoobihu: Modeliuvannia ta informatsiini tekhnolohii. Kyiv : IPME im. H. Ye. Pukhova NAN Ukrainy, 73, 198–204 (in Ukrainian).
27. Sabat, V. I., & Drahomirova, V. T. (2021). Rozroblennia systemy vyivlennia vtornhen dlia zakhystu polihrafichnykh pidpriemstv ta vydavnytstv: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii druzarstva], 2 (63), 126–133 (in Ukrainian).
28. Hlushkov, V. M. (1974). Vvedenye v ASU. Kyiv : Tekhnika (in Russian).

## CATEGORICAL MODELS OF REPRESENTATION OF THE STRUCTURE OF AGGREGATES AND DATA TRANSMISSION CHANNELS IN THE HIERARCHY OF COMPLEX SYSTEMS

B. V. Durnyak<sup>1</sup>, L. S. Sikora<sup>2</sup>, N. K. Lysa<sup>2</sup>, V. I. Sabat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine*

<sup>2</sup>*National University «Lviv Polytechnic»,  
12, Stepan Bandera St., Lviv, 79000, Ukraine  
v\_sabat@ukr.net*

*The article analyzes the state of the problem of structuring complex systems, defines dynamic systems in time on the terminal control cycle, develops a model of the terminal system in the space of states. The reactions of the system when the states change relative to the input and output parameters are analyzed and the state space for the dynamic system is determined. It is substantiated that the classical structure of the representation of the system in the form of a black box does not reflect the active activity of energy transformations, and for the formation of energy-active processes, at least two streams of active resources are needed, accordingly, a model of an energy-active block with an energy transformation operator is proposed.*

*The causative factors of emergency situations are design errors, limited knowledge about the structure of technological systems and energy systems, gaps in the understanding of information about the dynamics of destructive processes that can occur during the operation of energy-active objects and during data transmission in system hierarchy. In the work, categorical models for the representation of the structure of aggregates and data transmission channels are substantiated and developed, the definition of the global system and its states and reactions to disturbances and control are presented, a theoretical-multiple description of the system in spatial-temporal coordinates, dynamic in time, is provided.*

*The identification of the main threats and crisis situations in complex hierarchical structures allows for a detailed analysis of factors of external influence and attacks on the system and, accordingly, to create preventive methods of protection and security of such structures based on the developed model of the scenario of situational management under the conditions of threats to the system in the terminal control cycles and system reactions to changes in states under the influence of external negative factors.*

**Keywords:** *cyber security, risk, threat, attack, technological structure, hierarchical management system, information technology.*

*Стаття надійшла до редакції 27.09.2022.*

*Received 27.09.2022.*