

После чего из дальнейшего рассмотрения следует исключить экземпляры  $k$ -го класса, а также те экземпляры остальных классов, которые были включены в новую выборку:

$$X(q) = X(q) \setminus \{x^s \mid s = 1, 2, \dots, S, p = 1, 2, \dots, S, s \neq p, x^s \notin X^*, y^s = q, y^s \neq k, y^p = k, I^s(k) \leq I^p(k)\}, q = 1, 2, \dots, K,$$

$$X(k) = X(k) \setminus \{x^p \mid x^p \in X^*, p = 1, 2, \dots, S\}.$$

В результате выполнения предложенного метода будет сформирована выборка  $X^* \subseteq X$ .

### 3. АНАЛИЗ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СЛОЖНОСТИ МЕТОДА

Предложенный метод не требует хранения в памяти ЭВМ всей исходной выборки. На этапе анализа характеристик классов метод делает один проход по исходной выборке для определения значений ее характеристик. При этом для каждого класса определяются минимальное, максимальное и среднее значения каждого признака. Таким образом, при максимальной экономии оперативной памяти (исходная выборка размещается во внешней памяти) пространственная сложность этих действий составит  $O(3KN)$ , а вычислительная –  $O(3KNS)$  без учета системных затрат на доступ ко внешней памяти.

Определение расстояний до центров классов характеризует пространственной сложностью  $O(KNS + SK + S^2)$  и вычислительной сложностью  $O(2KNS + 2NS^2)$ .

Используя символ Ландау « $O$ » в так называемом «мягком виде», оценим общую сложность данного этапа: пространственную –  $O(3KN + KNS + SK + S^2)$ , вычислительную –  $O(5KNS + 2NS^2)$ .

Этап устранения дуближа не требует существенных затрат оперативной памяти, а его вычислительная сложность в предельном случае составит  $O(KS^2)$ .

На этапе выделения граничных экземпляров метод делает один проход по исходной выборке для расчета значений одномерных индексов. Его вычислительная сложность составит  $O(6NSK)$ , а пространственная –  $O(SK)$ .

Далее метод оперирует только множеством индексов. Его пространственной сложностью можно пренебречь, а вычислительную сложность грубо оценим как  $O(2S^2)$ .

В итоге оценим общую сложность метода: вычислительную –  $O(11KNS + S^2(2N + K + 2))$ , а пространственную –  $O(KN(S + 3) + 2SK + S^2)$ . Полагая из практических соображе-

ний для простоты  $K=2, N \ll S$  (например,  $N \approx 0,01S$ ) и, обозначив размерность исходной выборки  $n = NS$ , получим оценки сложности метода: вычислительную –  $O(0,02S^3 + 4S^2 + 0,22S) \approx O(20n\sqrt{n} + 400n + 2,2\sqrt{n})$ , пространственную –  $O(1,02S^2 + 4,06S)O(102n + 40,6)$ .

### 4. ЭКСПЕРИМЕНТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Для экспериментальной проверки работоспособности предложенного метода была разработана его программная реализация на языке пакета MATLAB, с помощью которой проводились эксперименты по сокращению объема выборки данных для различных практических задач [14–16], характеристики которых приведены в табл. 1.

Результаты проведенных экспериментов подтвердили работоспособность и практическую применимость предложенного метода, а также программного обеспечения, реализующего его. Как видно из таблицы, использование предложенного метода позволяет существенно сократить объем выборки (в 7,7–12,5 раз), не требуя при этом загрузки в память ЭВМ исходной выборки, а также многочисленных проходов по исходной выборке, что существенно снижает требования к ресурсам ЭВМ, обеспечивая при этом сохранение в сформированной подвыборке важнейших для последующего анализа топологических свойств исходной выборки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена актуальная задача формирования и редукции выборок для интеллектуального анализа данных.

*Научная новизна* результатов работы заключается в том, что впервые предложен метод формирования и редукции выборок, который обеспечивает сохранение в сформированной подвыборке важнейших для последующего анализа топологических свойств исходной выборки, не требуя при этом загрузки в память ЭВМ исходной выборки, а также многочисленных проходов по исходной выборке, что позволяет существенно сократить объем выборки, существенно уменьшает требования к ресурсам ЭВМ.

*Практическая значимость* результатов работы состоит в том, что разработано программное обеспечение, реализующее предложенный метод формирования и редукции выборок, а также проведены эксперименты по их исследованию при решении практических задач, результаты которых позволяют рекомендовать разработанный метод для использования на практике при решении задач интеллектуального анализа данных.

Таблица 1. Характеристики исходных и сформированных выборок

| Задача   | $K$ | $N$ | $S$    | $n$      | $S^*$ | $S^*/S$ |
|--|-----|-----|--------|----------|-------|---------|
| Классификация автотранспортных средств по изображению [14] | 2   | 26  | 1062   | 27612    | 139   | 0,13    |
| Диагностирование патологий плода по кардиофонограмме [15]  | 3   | 23  | 2126   | 48898    | 182   | 0,09    |
| Предсказание типа лесного покрова [16]                     | 7   | 54  | 581012 | 31374648 | 49386 | 0,08    |

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Олійник, А. О. Інтелектуальний аналіз даних : навчальний посібник / А. О. Олійник, С. О. Субботін, О. О. Олійник. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2012. – 271 с.
2. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
3. Інтелектуальні інформаційні технології проектування автоматизованих систем діагностики і розпізнавання образів : монографія / [С. А. Субботін, Ан. А. Олейник, Е. А. Гофман, С. А. Зайцев, Ал. А. Олейник ; под ред. С. А. Субботіна]. – Харків : ООО «Компанія Сміт», 2012. – 317 с.
4. Прогресивні технології моделювання, оптимізації і інтелектуальної автоматизації етапів життєвого циклу авіаційних двигателів : монографія / [А. В. Богуслаєв, Ал. А. Олейник, Ан. А. Олейник, Д. В. Павленко, С. А. Субботін ; под ред. Д. В. Павленко, С. А. Субботіна]. – Запоріжжя : ОАО «Мотор Сич», 2009. – 468 с.
5. Субботин, С. А. Формирование выборок и анализ качества моделей на основе нейронных и нейро-нечетких сетей в задачах диагностики и распознавания образов / С. А. Субботин : монография. – Saarbrücken: LAP Lambert academic publishing, 2012. – 232 с.
6. Jensen, R. Computational intelligence and feature selection: rough and fuzzy approaches / R. Jensen, Q. Shen. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. – 339 p.
7. Chaudhuri, A. Survey sampling theory and methods / A. Chaudhuri, H. Stenger. – New York: Chapman & Hall, 2005. – 416 p.
8. Encyclopedia of survey research methods / ed. P. J. Lavrakas. – Thousand Oaks: Sage Publications, 2008. – Vol. 1–2. – 968 p.
9. Кокрен, У. Методы выборочного исследования / У. Кокрен ; пер. с англ. И. М. Сониной ; под ред. А. Г. Волкова, Н. К. Дружинина. – М. : Статистика, 1976. – 440 с.
10. Subbotin, S. A. The training set quality measures for neural network learning / S. A. Subbotin // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2010. – Vol. 19. – № 2. – P. 126–139.
11. Субботин, С. А. Комплекс характеристик и критериев сравнения обучающих выборок для решения задач диагностики и распознавания образов / С. А. Субботин // Математичні машини і системи. – 2010. – № 1. – С. 25–39.
12. Субботин, С. А. Критерии индивидуальной информативности и методы отбора экземпляров для построения диагностических и распознающих моделей / С. А. Субботин // Біоніка інтелекту. – 2010. – № 1. – С. 38–42.
13. Субботин, С. А. Методы формирования выборок для построения диагностических моделей по прецедентам / С. А. Субботин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» : зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 17. – С. 149–156.
14. Субботин, С. А. Синтез нейро-нечетких моделей для выделения и распознавания объектов на сложном фоне по двумерному изображению / С. А. Субботин // Комп'ютерне моделювання та інтелектуальні системи : збірник наукових праць за ред. Д. М. Пізи, С. О. Субботіна. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2007. – С. 68–91.
15. Cardiocography Data Set [Electronic resource]. – Access mode: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Cardiocography>.
16. Covertypе Data Set [Electronic resource]. – Access mode: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Covertypе>.

Стаття надійшла до редакції 03.09.2012.

Субботін С. О.

Канд. техн. наук, доцент, Запорізький національний технічний університет, Україна

#### ФОРМУВАННЯ І РЕДУКЦІЯ ВИБІРОК ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ

Вирішено задачу формування і редукції вибірок для інтелектуального аналізу даних. Запропоновано метод формування і редукції вибірок, що забезпечує збереження у сформованій підвибірці найважливіших топологічних властивостей вихідної вибірки, не вимагаючи при цьому завантаження у пам'ять ЕОМ вихідної вибірки, а також численних проходів вихідної вибірки, що дозволяє скоротити обсяг вибірки і зменшити вимоги до ресурсів ЕОМ.

**Ключові слова:** вибірка, відбір екземплярів, редукція даних, інтелектуальний аналіз даних, скорочення розмірності даних.

Subbotin S. A.

Doctor of philosophy (Cand. Tech. Sc.), associate professor (docent), Zaporizhian National Technical University, Ukraine

#### SAMPLE FORMATION AND REDUCTION FOR DATA MINING

In data mining problem solving it has to operate with a large amount of data samples. This entails a significant amount of time to process the data. Therefore, an urgent task is to reduce the dimensionality of the data samples. The aim of paper is to provide a method for the formation and reduction of samples, allowing to handle a large amount of the original sample.

The problem of sample formation and reduction for data mining was solved.

The scientific novelty of the work lies in the fact that the method of sample formation and reduction is firstly proposed. It provides a saving of the most important topological properties of original sample in the formed sub-sample without the need for downloading the original sample to the computer memory, and without numerous passages of the original sample. It allows to reduce the size of the sample and to reduce the resource requirements of a computer.

The practical significance of the work lies in the development of software, which implements the proposed method of sample formation and reduction, also as conducting of experiments on research of proposed method to solve practical problems, the results of which allows to recommend the developed method for use in practice in solving problems of data mining.

Using the proposed method one can significantly reduce the amount of a sample (in 7,7–12,5 times), without the need to download the original sample into computer memory, providing preservation in the generated sub-sample the most important for analysis of the topological properties of the original sample.

**Keywords:** sample, example selection, data reduction, data mining, data dimensionality reduction.

## REFERENCES

1. Olijnik A. O., Subbotin S. O., Olijnik O. O. Intelktual'nij analiz danih : navchal'nij posibnik. Zaporizhzhja, ZNTU, 2012, 271 p.
2. Rutkovskaja D., Pilin'skij M., Rutkovskij L.; per. s pol'sk. I. D. Rudinskogo. Neironnye seti, geneticheskie algoritmy i nechjotkie sistemy. Moscow, Gorjachaja linija, Telekom, 2004, 452 p.
3. Subbotin S. A., Olejnik An. A., Gofman E. A., Zajcev S. A., Olejnik Al. A.; pod red. S. A. Subbotina Intelktual'nye informacionnye tehnologii proektirovanija avtomatizirovannyh sistem diagnostirovanija i raspoznavanija obrazov : monografija. Har'kov, OOO «Kompanija Smit», 2012, 317 p.
4. Boguslaev A. V., Olejnik Al. A., Olejnik An. A., Pavlenko D. V., Subbotin S. A.; pod red. D. V. Pavlenko, S. A. Subbotina. Progressivnye tehnologii modelirovanija, optimizacii i intellektual'noj avtomatizacii jetapov zhiznennogo cikla aviacionnyh dvigatelej : monografija. Zaporozh'e, OAO «Motor Sich», 2009, 468 p.
5. Subbotin S. A. Formirovanie vyborok i analiz kachestva modelej na osnove neironnyh i nejro-nechjotkih setej v zadachah diagnostiki i raspoznavanija obrazov : monografija. Saarbrücken, LAP Lambert academic publishing, 2012, 232 p.
6. Jensen R., Shen Q. Computational intelligence and feature selection: rough and fuzzy approaches. Hoboken, John Wiley & Sons, 2008, 339 p.
7. Chaudhuri A., Stenger H. Survey sampling theory and methods, New York, Chapman & Hall, 2005, 416 p.
8. Encyclopedia of survey research methods. ed. P. J. Lavrakas, Thousand Oaks, Sage Publications, 2008, Vol. 1–2, 968 p.
9. Kokren U.; per. s angl. I. M. Sonina ; pod red. A. G. Volkova, N. K. Druzhinina. Metody vyborochnogo issledovanija. Moscow, Statistika, 1976, 440 p.
10. Subbotin S. A. The training set quality measures for neural network learning. Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), 2010, Vol. 19, No. 2, pp. 126–139.
11. Subbotin S. A. Kompleks karakteristik i kriteriev sravnenija obuchajuwih vyborok dlja reshenija zadach diagnostiki i raspoznavanija obrazov. *Matematichni mashini i sistemi*, 2010, No. 1, pp. 25–39.
12. Subbotin S. A. Kriterii individual'noj informativnosti i metody otbora jekzempljarov dlja postroenija diagnosticheskikh i raspoznajuwih modelej. *Bionika intelektu*, 2010, No.1, pp. 38–42.
13. Subbotin S. A. Metody formirovanija vyborok dlja postroenija diagnosticheskikh modelej po precedentam. *Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «Harkivs'kij politehničnij institut» : zb. nauk. prac'*, Harkiv, NTU «HPI», 2011, No. 17, pp. 149–156.
14. Subbotin S. A. Sintez nejro-nechetkih modelej dlja vydelenija i raspoznavanija objektov na sloznom fone po dvumernomu izobrazheniju. *Komp'juterne modeljuvannja ta intellektual'ni sistemi : zbirnik naukovih prac'*, za red. D. M. Pizi, S. O. Subbotina, Zaporizhzhja, ZNTU, 2007, pp. 68–91.
15. Cardiotocography Data Set [Electronic resource]. – Access mode: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Cardiotocography>.
16. Coverttype Data Set [Electronic resource]. – Access mode: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Coverttype>.

# ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

## ПРОГРЕССИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### PROGRESSIV INFORMATICS TECHNOLOGIES

УДК 330.4:519.7

Даніч В. М.<sup>1</sup>, Шевченко С. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Д-р економ. наук, декан, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ, Україна

<sup>2</sup>Старший викладач, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ, Україна,  
E-mail: shtychniy@rambler.ru

#### КЛАСИ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В ДИНАМІЦІ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛІНСЬКИХ АРХІТЕКТУР

В статті запропоновано класи елементарних перетворень, які характеризують динаміку інформаційно-управлінських архітектур підприємств, виділено особливості перетворень із застосуванням декількох рівнів ІУА.

**Ключові слова:** інформаційно-управлінська архітектура, елементарні перетворення, класифікаційні ознаки.

##### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Основою динаміки інформаційно-управлінських архітектур (ІУА) є елементарні перетворення. Виділення класифікаційних ознак та об'єднання цих перетворень у класи дозволить побудувати модель динаміки ІУА. Модель динаміки ІУА підприємств є засобом досягнення ефективної архітектури за певних обставин розвитку підприємства та економічної ситуації. Своєчасне перетворення ІУА дає підприємству певні переваги: високу конкурентоздатність, підвищення керованості підрозділів підприємства [5]. Якісні зміни архітектури можна провести за наявності глибоких знань механізмів динаміки.

##### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЯГНЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема перетворень організаційних структур розглядалася в роботах з менеджменту, системного аналізу, економіко-математичного моделювання (Даніч [1–4], Колосов [5], Месарович [6], Уемов [7], Мескон [8], Мінцберг [9], Холл [10] та ін.), однак, до теперішнього часу не існує формалізованої класифікації елементарних перетворень.

**Мета статті:** розробка класів елементарних перетворень в динаміці інформаційно-управлінських архітектур, визначення порядку та особливостей таких перетворень.

##### ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Структура системи управління підприємством є частиною організаційної структури, її необхідним, системо-організуючим компонентом, що має власну будову. Під інформаційно-управлінською архітектурою і будемо розуміти будову системи управління підприємством, що включає узгоджуючі й направляючі елементи в їх взаємозв'язку і взаємодії. Поняття структури (і, відповідно, архітектури) явно чи неявно пов'язують із сукупністю правил, приписів, регламентуючих діяльність організації та її членів [11]. Мілнер Б. З. підкреслює, що «організаційна структура, яка становить собою певну упорядкованість задач, ролей, повноважень і відповідальності, створює умови для здійснення підприємством своєї діяльності й досягнення поставлених цілей» [12]. Ця впорядкована сукупність визначає собою сутність посадових обов'язків чи функцій.

В [1, 4] інформаційно-управлінська архітектура визначена як сукупність взаємопов'язаних і взаємообумовлених управлінської та інформаційної структур. Детально підібрані, узгоджені у своїх характеристиках, вони набувають синергічного ефекту і дозволяють повною мірою реалізувати виробничий, кадровий, фінансовий потенціали організації. Використання інформаційної складової у цьому понятті підкреслює важливість інфор-

маційної структури, інформаційних технологій у сучасних системах управління. Архітектура становить собою сукупність основних елементів та зв'язків системи управління організацією, що визначають цілісність, керуваність і якість її функціонування. Зауважимо, що в контексті конкретних задач, зокрема вибору типових чи перспективних архітектур, обмежуються основними елементами і зв'язками, що визначають якість функціонування організації.

Як інформаційна, так і управлінська складові є багатшаровими. Кожен шар управлінської складової ІУА можна розглядати як сукупність елементів та зв'язків одного типу. Елементи і зв'язки певного типу мають певний набір характеристик, властивостей. Дуже часто елементи різних типів (по суті – різні шари) взаємопов'язані як атрибути чи характеристики сутностей більш високого порядку. Прикладом є пара «посада – підрозділ». В цьому разі назви чи навіть характеристики пов'язаних елементів можуть сприйматися як характеристики вихідних елементів.

Найбільш прості і звичні для сприйняття шари управлінської складової ІУА, які відповідають підрозділам і посадам. Шар посад можна диференціювати на підшари згідно функціональної ознаки. Поряд з поняттям шару, виділяють поняття рівня. Рівень управління характеризує віддаленість ланки керування від верхньої ланки керування організацією.

Певні зміни, які проходить в ІУА, стосуються елементів, зв'язків, характеристик або властивостей. Їх можна деталізувати та представити як впорядковану або неупорядковану сукупність перетворень. Впорядкована сукупність постає послідовністю етапів. Сукупність та етапи перетворення можуть розглядатися на різних рівнях деталізації, аж до найнижчого – рівня елементарних перетворень, тобто таких, які не можуть бути визначені через більш прості перетворення. Зазначимо, що поняття елементарного перетворення не є чітким, великою мірою воно залежить від погляду дослідника, мети і задач дослідження. Найважливішими ознаками елементарності є простота і конструктивність. Комбінацією елементарних перетворень можна і повинно представити будь-які зміни ІУА.

Проблема елементарності перетворень тісно пов'язана з рівнем або шаром архітектури, що розглядається, та залежить від суб'єкта, який здійснює управління архітектурою. Чим вище рівень управління, тим значущими будуть зміни. Тобто, поняття елементарності є рівнезалежним, шарозалежним. Важливо виділити такі перетворення, які будуть актуальними як для всіх рівнів управління, так і окремо для кожного рівня.

Одними з таких перетворень є функціональні. Функція – це одна з найважливіших характеристик посади чи підрозділу. Це певна сукупність дій, направлена на виконання службового обов'язку, реалізації прав або задач посадової особи у відповідності до документів, які регламентують її діяльність [8]. На сьогодні в управлінні широко застосовується процесний підхід, за яким функції менеджерів розглядаються як взаємопов'язані, а самі функції управ-

ління – як процес або серія взаємопов'язаних дій. Зазвичай, виділяють наступні функції [8] – планування, організація, контроль, розпорядження, мотивація, керівництво, координація, контроль, комунікація, дослідження, оцінювання, прийняття рішень, підбір персоналу, представництво, ведення переговорів, укладення угод.

Ключовим документом, що регламентує виробничі повноваження та обов'язки робітника є посадова інструкція. З точки зору керівників підприємства посадова інструкція є інструментом узгодження діяльності посадових осіб і засобом надання їм влади, необхідної для виконання функціональних обов'язків. Посадові інструкції розробляє безпосередній керівник робітника у відповідності до положення про підрозділ та кваліфікаційної характеристики професії («Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників», затверджено Міністерством праці та соціальної політики від 29.12.2004 наказом № 336), таким чином кожна організація сама формує посадові інструкції, тому назви розділів посадових інструкцій різних підприємств можуть бути різними, наприклад, розділ, який регламентує обов'язки спеціаліста, може називатися «посадові обов'язки» або «функціональні обов'язки» або просто «обов'язки», тому будемо вважати ці словосполучення синонімічними.

Розглянемо, для прикладу, посадову інструкцію інженера з охорони праці вугільного підприємства. Вона складається з розділів: загальні положення, кваліфікаційні вимоги, документи, що регламентують діяльність, посадові обов'язки, права, відповідальності, умови роботи, умови оплати. До функціональних обов'язків входить наступне: «Проводить вступні інструктажі з охорони праці з усіма знову прийнятими на роботу, відрядженими, учнями і студентами, що прибули на виробниче навчання чи практику». Виконання цього обов'язку не є періодичним, а проводиться за потребою, кількість осіб, які підлягають інструктажу, заздалегідь невідома. Виконання такого функціонального обов'язку полягає в тому, що виконується операція – проведення вступного інструктажу. Операція ділиться на роботи – проведення інструктажу особи 1, проведення інструктажу особи 2, і т. д. Робота складається з процесів: ознайомлення особи з положеннями техніки безпеки, проведення контролю знань, оформлення проведеного інструктажу в журналі (запис дати, П.І.Б. інструктованої особи, професія, дільниця, П. І. Б. інструктора, підписи обох сторін). Зі зміною нормативних актів, що стосуються порядку проведення інструктажів, можуть змінюватися самі процеси, або їх порядок, при цьому, назва функції і навіть результат її виконання може не змінюватися. Відносити чи не відносити такі зміни до архітектурних змін – залежить від рівня розгляду.

У наведеному випадку функціональний обов'язок інженера з охорони праці: «Проводить вступні інструктажі з охорони праці з усіма знову прийнятими на роботу, відрядженими, учнями і студентами, що прибули на виробниче навчання чи практику» переходить в функцію, назви функціонального обов'язку та функції співзвучні і характеризують посаду.

Функціональний обов'язок може породжувати одну функцію, яка багатократно виконується над різними об'єктами, виконання функції фіксується в одному документі або може перетворитися в декілька функцій, кожна з яких стосується тільки одного об'єкта, під час виконання функції створюється багато його екземплярів, вони і є документами, які фіксують виконання функції.

Фактично, назва функції – це назва інструкції для виконання функціонального обов'язку, реалізування прав посади або вирішення її задач за посадовою інструкцією. Функціональний обов'язок визначає об'єм роботи для виконання та обмеження повноважень посадовця в рамках певного бізнес-процеса підприємства. Структура функції визначає, яким чином пов'язані між собою всі дії, необхідні для отримання результату. Процес реалізації функції представляє логічну послідовність дій виконання.

Сукупність функцій певного посадовця має різний сенс, сутність, які залежать від точки розглядання. Положення точки розглядання змінюється по шарах та рівнях, але значення мають тільки ті, які певним чином стосуються посадової особи. Наприклад, точка зору посадовця іншого підрозділу має значення тільки в тому випадку, коли мають місце горизонтальні, функціональні зв'язки. З точки зору посадовця, який виконує дану сукупність функцій – це послідовність дій, для виконання функціональних обов'язків, яка потребує узгодження за часом як протягом робочого дня, так і протягом тижня, місяця, року, а також побудови алгоритмів виконання кожної конкретної функції.

З точки зору керівника підрозділу сукупність функцій, які виконує його підлеглий – це межі діяльності одного посадовця в рамках підрозділу, точки узгодження дій з іншими працівниками підрозділу, їх взаємодії для виконання бізнес-процесів підрозділу. Для управлінців інших рівнів та шарів обсяг функцій та їх склад конкретного посадовця неважливий. Таким чином, функція є обмежуючим фактором посадової діяльності суб'єкта бізнес-процеса.

Набір функцій суб'єкта для виконання певного кола задач тісно пов'язаний з роллю. Роль – це характеристика поведінки суб'єкта, сама поведінка, що відтворює певний стереотип, відповідає певному статусу та соціальним вимогам.

Визначимо елементарні перетворення архітектури, які стосуються функцій, а саме:

- 1) створення функції;
- 2) видалення функції;
- 3) передавання або перепризначення функції;
- 4) введення засобів інформаційної підтримки виконання функцій або ІТ автоматизованого виконання функції.

Операція створення потребує визначення назви (ідентифікатора), об'єкта функції, прив'язування до певної посади, за наявності – забезпечення ІТ (ЕОМ та програмним забезпеченням), описання, документів, в яких фіксується результат виконання функції, періодичність виконання, наприклад, 2 рази на рік, 3 рази на зміну і т. ін. Деякі функції потребують покрокової деталізації або ал-

горитму виконання. Частина функцій є породжуючим фактором для створення обслуговуючих функцій, наприклад, введення будь-якого обладнання для автоматизації виробництва передбачає, що це обладнання буде проходити профілактичні огляди, перевірки відповідності стандартам безпеки, ремонтні роботи, тощо. Обслуговуючі функції проходять такі самі етапи створення, як і функція, що була причиною їх появи та стають повноцінними характеристиками елемента шару.

Під час створення важливо не тільки визначити посаду, яка виконує цю функцію, характеристики, але й створити необхідні інформаційні, консультативні та інші зв'язки, потрібні для її виконання, визначити місце в порядку виконання інших функцій конкретної посади.

Під час видалення функції необхідно видалити всі характеристики, сама функція видаляється з графа порядку виконання функцій певної посади, видаляються інформаційні та консультативні зв'язки. Крім того, видаляються всі функції, які були породжені нею.

Процес передавання супроводжується декількома діями, а саме: видалення існуючих зв'язків та створення інших, виключення функції з одного переліку функцій посади та включення до іншого переліку функцій для іншої посади. Тобто, таке перетворення доцільно виключити зі списку перетворень функції та представляти перетвореннями зв'язків.

Введення засобів інформаційної підтримки виконання функцій або ІТ автоматизованого виконання функції потребує зміни структури самої функції, процесу реалізації її виконання, зміни самих дій. Такі зміни будемо відносити до корегування обмежень-характеристик функції. Важливим є той факт, що таке перетворення супроводжується встановленням певного програмного забезпечення, тому крім цієї функції вводиться ще, як мінімум одна – для обслуговування ПЗ. Таке перетворення проходить у взаємодії між зазначеним шаром та інформаційною складовою ІУА.

Деякі процеси управління, в тому числі процеси реструктуризації, зміни управлінської архітектури повинні бути впорядкованими за часом, тобто послідовність їх проведення є важливою, однак для багатьох процесів послідовність операцій не є суттєвою і велику роль відіграє лише склад сукупності, перелік дій. Якщо ця сукупність є рознесеною за часом, взаємопов'язаною та має вигляд послідовності певних станів об'єктів та зв'язків, тоді має місце саме та послідовність, яка представлена в табл. 1.

Кожне перетворення функцій по-різному впливає на інформаційну, управлінську складову ІУА та їх взаємодію. Цей вплив залежить як від рівня менеджера (управління) так і від змісту самої функції, над якою проводяться перетворення. Оцінити вплив перетворення можна наступними словесними формулюваннями: незначний, середній, значний, великий. Нечіткі терміни вказано за порядком зростання впливу. В контексті конкретного аналізу їм присвоюється певна характеристична функція, яка визначає кількісні характеристики нечіткості. Поділимо всіх управлінців досліджуваної області на три рівні:

менеджери вищого ланцюга, середнього та нижчого. Менеджери вищого ланцюга представлені заступниками директора шахти, середнього ланцюга – керівниками підрозділів, нижнього – керівниками дільниць, бригадами та іншими. Представимо у вигляді табл. 2 залежність впливу на функціонування складових ІУА перетворень на рівні функцій від рівня менеджера.

Для функцій виділимо наступні класи перетворень: перетворення функцій (додавання, видалення, корегування); перетворення обмежень-характеристик функцій (додавання, видалення, корегування).

Визначимо елементарні перетворення шару посад:

- 1) створення посади;
- 2) видалення посади;
- 3) передавання посади (або перепідпорядкування);
- 4) введення автоматизованого робочого місця, інформаційних технологій підтримки прийняття рішень.

Під час створення нової посади мають місце наступні ситуації: нова посада може не входити до складу підрозділу або входити. В першому випадку потрібно створити всі характеристики посади, зв'язки з керівником (пряме підпорядкування) та підлеглими, посадову інструкцію,

перелік обов'язків та функцій, інформаційні та інші зв'язки; потім виконуються перетворення, вказані вище для створення нової функції – створення порядку виконання функцій, характеристик функцій, різного виду зв'язків. В другому випадку проводяться ті ж самі дії та крім них ще проходить операція прив'язування до певного підрозділу. З цього можна зробити висновок, що створення нової посади – це перетворення, яке стосується трьох шарів – функцій, посад та підрозділів. Спочатку перетворення проходять в шарі посад, а потім – в шарі функцій та підрозділів.

Видалення посади проходить наступним чином: спочатку видаляються або передаються іншому посадовцю всі функції, потім всі підлеглі цієї посади видаляються або передаються в підпорядкування іншим посадовцям, тільки після цього видаляється сама посада в шарі посад як підлегла для свого керівника. Тобто видалення посади проходить із залученням двох шарів – посад та функцій. Крім того, існує закономірність – спочатку перетворення робляться в шарі функцій, а потім – в шарі посад, після цього – в шарі підрозділів, тобто перетворення проходять знизу догори.

**Таблиця 1.** Послідовність дій для проведення перетворень функцій

| Створення функції   | Видалення функції   | Введення засобів інформаційної підтримки виконання функцій або ІТ автоматизованого виконання функції   |
|---|---|--|
| 1. Створення характеристик та описання функції.<br>2. Додавання функції до переліку функцій певної посади.<br>3. Визначення місця функції в порядку виконання функцій певної посади, внесення в цей список.<br>4. Створення інформаційних, консультативних та інших зв'язків функції. | 1. Видалення інформаційних, консультативних та інших зв'язків функції.<br>2. Видалення функції з порядку виконання функцій посади.<br>3. Видалення функції з переліку функцій певної посади.<br>4. Видалення характеристик та описання функції. | 1. Визначення технічних та програмних засобів автоматизації виконання функції.<br>2. Корегування структури функції, порядку виконання дій та самих дій.<br>3. Додавання обслуговуючих функцій для технічних та програмних засобів. |

**Таблиця 2.** Вплив перетворень шару функцій на функціонування складових ІУА та їх взаємодію

| Перетворення   | Рівень менеджера       | Вплив                     |                           |                         |
|--|------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
|  |                        | Управлінська складова ІУА | Інформаційна складова ІУА | Взаємодія складових ІУА |
| Створення функції  | Високий (топ-менеджер) | великий                   | незначний                 | незначний               |
|  | Середній               | середній                  | незначний                 | незначний               |
|  | Нижній                 | незначний                 | незначний                 | незначний               |
| Видалення функції  | Високий (топ-менеджер) | великий                   | незначний                 | незначний               |
|  | Середній               | середній                  | незначний                 | незначний               |
|  | Нижній                 | незначний                 | незначний                 | незначний               |
| Передавання функції  | Високий (топ-менеджер) | великий                   | незначний                 | незначний               |
|  | Середній               | середній                  | незначний                 | незначний               |
|  | Нижній                 | незначний                 | незначний                 | незначний               |
| Введення засобів інформаційної підтримки виконання функцій або ІТ автоматизованого виконання функції | Високий (топ-менеджер) | середній                  | середній                  | середній                |
|  | Середній               | середній                  | середній                  | середній                |
|  | Нижній                 | незначний                 | середній                  | середній                |

Передавання посади до іншого підрозділу проводиться тільки в шарі посад, якщо посада передається зі всіма функціями. У випадку, коли посада передається до іншого підрозділу або керівника з видаленням всіх функцій або їх частини, то спочатку на рівні функцій видаляються та/або передаються необхідні функції, а потім ця посада передається до іншого підрозділу. У разі необхідності після передавання додаються нові функції.

Введення автоматизованого робочого місця, інформаційних технологій підтримки прийняття рішень потребує обслуговуючих функцій для технічних та програмних засобів. Забезпечення управління інформаційною підтримкою призведе до збільшення ефективності виконання бізнес-процедур. При цьому одні зв'язки залишаться, інші – зникнуть або будуть перенаправлені, порядок виконання функцій зміниться за рахунок можливості паралельного виконання функцій.

Зміни структури посади – це якісні зміни, до них також відносяться і перетворення функцій. При невеликих, несуттєвих змінах структуру посади можна вважати незмінною. Значні зміни цієї структури – це повна або значна заміна всіх функцій, що приводить до заміни назви посади, а, значить до знищення однієї та появи іншої посади.

Всі етапи перетворень проходять на підприємствах досліджуваної області без певного порядку, їх проведення може бути в різний час або одночасним, але можна скласти певні алгоритми, за якими проводитимуться всі перетворення, представимо їх в табл. 3.

Передавання посади у підпорядкування до іншого керівника будемо трактувати як знищення зв'язку прямого підпорядкування від одного керівника та появу такого ж зв'язку до іншого. Корегування характеристик такого зв'язку або його структури проводитимемо за потребою.

Виділимо класи елементарних перетворень: перетворення об'єктів (створення, видалення та корегування), перетворення зв'язків (створення, видалення, корегуван-

ня), перетворення обмежень-характеристик елементів та зв'язків (додавання, видалення, корегування). Під змінами структури посади вважатимемо ідентифікаційні перетворення – перейменування посади, наприклад, також зміни в характеристиках посади, посадовій інструкції, переліку обов'язків та функцій (табл. 4).

Важливим є той факт, що значення або вплив перетворення посад на функціонування підприємства буде дуже різним в залежності від рівня, який займає ця посада в структурі управління. Видалення посади менеджера нижнього рівня, наприклад, керівника дільниці та видалення заступника директора призведуть до різних наслідків.

Структурний підрозділ підприємства – це виділений орган управління частиною підприємства, який має визначені функції у виробничому процесі, конкретні ресурси для їх виконання, повноваження та відповідальність за виконання цих функцій.

Визначимо перетворення в шарі підрозділів:

- 1) створення;
- 2) видалення;
- 3) об'єднання;
- 4) розділення;
- 4) впровадження інформаційних технологій.

Під час створення нового підрозділу можливі наступні ситуації:

- а) створення підрозділу з створенням нових посад та всіх функцій;
- б) новий підрозділ включає в себе частину посад з інших підрозділів та додаються нові посади;
- с) новий підрозділ створюється повністю з посад, переданих з інших підрозділів.

Кожна ситуація передбачає певну послідовність дій, зведемо їх у табл. 5.

Під час видалення підрозділу можливі наступні ситуації:

- а) підрозділ видаляється повністю зі всіма посадами та їх функціями;

Таблиця 3. Послідовність дій для проведення перетворень в шарі посад

| Створення посади  | Видалення посади   | Передавання посади   | Введення автоматизованого робочого місця, інформаційних технологій підтримки прийняття рішень  |
|---|--|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Створення характеристик посади, назви, посадової інструкції, переліку обов'язків та функцій.</li> <li>2. Створення зв'язків – управлінських (з керівником та підлеглими), інформаційних та інших.</li> <li>3. Прив'язування до підрозділу (за потребою).</li> <li>4. Створення функцій посади.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Видалення або передавання функцій посади.</li> <li>2. Видалення або передавання іншим керівникам посад, які знаходяться у прямому підпорядкуванні даної посади.</li> <li>3. Видалення характеристик посади, назви, посадової інструкції, переліку обов'язків та функцій.</li> <li>4. Корегування характеристик підрозділів.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Видалення або передавання функцій.</li> <li>2. Видалення або передавання іншим керівникам посад, які знаходяться у прямому підпорядкуванні даної посади.</li> <li>3. Заміна зв'язків – управлінських, інформаційних, консультативних та інших.</li> <li>4. Корегування характеристик підрозділів.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Визначення технічних та програмних засобів.</li> <li>2. Створення обслуговуючих функцій для технічних та програмних засобів.</li> <li>3. Корегування зв'язків посади.</li> <li>4. Корегування порядку виконання функцій посади.</li> </ol> |



Таблиця 4. Вплив перетворень шару посад на функціонування складових ІУА та їх взаємодію

| Перетворення  | Рівень менеджера       | Вплив                     |                           |                         |
|---|------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
|   |                        | Управлінська складова ІУА | Інформаційна складова ІУА | Взаємодія складових ІУА |
| Створення посади  | Високий (топ-менеджер) | великий                   | незначний                 | середній                |
|   | Середній               | середній                  | незначний                 | середній                |
|   | Нижній                 | незначний                 | незначний                 | незначний               |
| Видалення посади  | Високий (топ-менеджер) | великий                   | незначний                 | середній                |
|   | Середній               | середній                  | незначний                 | середній                |
|   | Нижній                 | незначний                 | незначний                 | незначний               |
| Передавання посади  | Високий (топ-менеджер) | великий                   | незначний                 | середній                |
|   | Середній               | середній                  | незначний                 | середній                |
|   | Нижній                 | незначний                 | незначний                 | незначний               |
| Введення автоматизованого робочого місця, інформаційних технологій підтримки прийняття рішень | Високий (топ-менеджер) | середній                  | середній                  | високий                 |
|   | Середній               | середній                  | середній                  | значний                 |
|   | Нижній                 | незначний                 | середній                  | середній                |

Таблиця 5. Порядок виконання дій при створенні підрозділу

| Створення підрозділу з створенням нових посад та всіх функцій   | Створення підрозділу з передаванням частини посад з інших підрозділів   | Створення підрозділу з посад, переданих з інших підрозділів  |
|---|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>Створення всіх характеристик підрозділу.</li> <li>Визначення підрозділу, що стоїть вище та нижче зазначеного.</li> <li>Створення нових посад (характеристик та зв'язків).</li> <li>Створення нових функцій для посад.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>Створення всіх характеристик підрозділу.</li> <li>Визначення підрозділу, що стоїть вище та нижче зазначеного.</li> <li>Створення нових посад (характеристик та зв'язків).</li> <li>Створення нових функцій для посад.</li> <li>Передавання посад з інших підрозділів, видалення попередніх зв'язків та створення нових.</li> <li>Корегування характеристик та зв'язків функцій.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>Створення характеристик підрозділу.</li> <li>Визначення підрозділу, що стоїть вище та нижче зазначеного.</li> <li>Передавання/перепризначення посад з інших підрозділів, видалення попередніх зв'язків, створення нових.</li> <li>Корегування характеристик та зв'язків функцій.</li> </ol> |

б) підрозділ видаляється, а частина посад або частина їх функцій передається іншим підрозділам та посадам;

с) підрозділ видаляється, а всі посади передаються іншим підрозділам.

Порядок дій під час виконання кожної операції буде різним, із врахуванням особливостей ситуації (див. табл. 6).

Вплив від перетворення «видалення підрозділу» на функціонування складових ІУА та їх взаємодію дуже різний, залежить від багатьох чинників, а саме: спеціалізації підрозділу, наявності підпорядкованих підрозділів, рівня менеджменту посад підрозділу, який видаляється та інших.

Виділимо елементарні перетворення для створення та видалення підрозділу: створення, видалення, зміни структури та складових підрозділу – це клас елементарних перетворень об'єктів; створення, видалення, перепризначення – це клас елементарних перетворень зв'язків.

Порядок виконання дій для операцій створення та видалення частіше всього рознесений за часом, частина

операцій виконується послідовно, а інша – одночасно. Складемо алгоритми виконання дій для цих операцій. Порядок виконання дій під час проведення перетворень має значення, для створення – проводяться спочатку всі елементарні перетворення на рівні посад, а потім – на рівнях функцій та підрозділів.

Об'єднання підрозділів має свої особливості, врахування яких дасть можливість підвищити адекватність моделі ІУА та моделі її динаміки, тому це елементарне перетворення потребує детального розгляду. Найпростіший випадок – коли об'єднуються два підрозділи з мінімальними змінами – видаляється один керівник, а інший забирає на себе всі його функції, при цьому змін в складі підрозділів, та їх функціональному навантаженні не відбувається. Складніший випадок, коли частина посад видаляється, а функції підлягають перерозподілу. Представимо послідовність дій у вигляді таблиці (див. табл. 7).

Під час об'єднання підрозділів перетворення проходять знизу догори, тобто від шару функцій до шару підрозділів.

Розділення підрозділів має деякі складності, а саме – треба визначити, чи додаються нові посади, чи передаються з інших підрозділів, які функції вони будуть виконувати, які мають обов'язки, чи зберігаються зв'язки як функцій так і посад.

Окремо виділимо ситуацію, коли проходить розділення посад та функцій одна частина яких залишається в цьому підрозділі, а інша передається іншим підрозділам та посадам. Таким чином проходять якісні зміни управлінської архітектури, але кількість підрозділів не змінюється. В даному випадку може змінитися назва підрозділу.

Послідовність дій наведемо в таблиці (див. табл. 8).

Розглянемо зв'язки ІУА. Наприклад, між посадою директора та головного інженера існує зв'язок прямого (лінійного) підпорядкування. Головний інженер має права, повноваження для виконання своїх обов'язків та відпо-

відальність за їх невиконання або неналежне виконання, це є характеристиками даного зв'язку. Таким чином, до складу зв'язку входять елементи, які він з'єднує, та характеристики, головною з яких є тип зв'язку.

Перетворення зв'язків стосуються зміни елементів, які мають відношення до зв'язку, наприклад перенаправлення зв'язку. Зміна типу зв'язку – це видалення одного та додавання іншого зв'язку. Зміни характеристик зв'язку – це корегування обмежень-характеристик елементу, зв'язку.

На кожному зазначеному шарі управлінської складової ІУА існують наступні класи елементарних перетворень: перетворення об'єктів та перетворення зв'язків. До першого класу відносяться такі дії: створення, видалення, зміни структури та характеристик об'єкта, до другого – створення, видалення та перенаправлення. Суперпозицією елементарних перетворень можна представити будь-які зміни ІУА. Порядок проведення елементарних перетворень важливий, тому кожну зміну в ІУА можна представити як упорядковану множину елементарних перетворень.

**Таблиця 6.** Порядок дій при видаленні підрозділу

| Видалення підрозділу з видаленням всіх посад та функцій   | Видалення підрозділу з передаванням частини посад іншим підрозділам   | Видалення підрозділу з передаванням всіх посад іншим підрозділам  |
|---|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Видалення функцій.</li> <li>2. Видалення посад.</li> <li>3. Видалення або перепідпорядкування підлеглих підрозділів.</li> <li>4. Видалення характеристик підрозділу.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Видалення або передавання функцій.</li> <li>2. Видалення або передавання посад.</li> <li>3. Видалення або перепідпорядкування підлеглих підрозділів.</li> <li>4. Видалення характеристик підрозділу.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Передавання посад в інше підпорядкування.</li> <li>2. Видалення або перепідпорядкування підлеглих підрозділів.</li> <li>3. Видалення характеристик підрозділу.</li> </ol> |

**Таблиця 7.** Послідовність дій при об'єднанні підрозділів

| Об'єднання підрозділів з видаленням одного керівника  | Об'єднання підрозділів з перерозподілом посад та функцій   |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Передавання функцій видаляемого керівника другому керівнику.</li> <li>2. Корегування управлінських зв'язків.</li> <li>3. Корегування характеристик підрозділу.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Передавання функцій, які не підлягають видаленню, корегування їх зв'язків.</li> <li>2. Видалення функцій, які підлягають видаленню, видалення зв'язків цих функцій.</li> <li>3. Передавання посад, корегування їх зв'язків.</li> <li>4. Видалення необхідних посад та їх зв'язків.</li> <li>5. Визначення керівника та управлінських зв'язків.</li> <li>6. Корегування характеристик підрозділів.</li> </ol> |

**Таблиця 8.**

| Розділення підрозділів   | Розділення підрозділів з передаванням функцій та посад з інших підрозділів  | Розділення посад та функцій підрозділу з передаванням до інших посад та підрозділів   |
|--|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Створення характеристик першого та другого підрозділів.</li> <li>2. Перерозподіл посад.</li> <li>3. Корегування функцій кожної посади.</li> <li>4. Корегування зв'язків посад та функцій.</li> <li>5. Знищення розформованого підрозділу.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Створення характеристик першого та другого підрозділів.</li> <li>2. Перерозподіл посад.</li> <li>3. Передавання посад з інших підрозділів.</li> <li>4. Передавання функцій інших підрозділів та посад.</li> <li>5. Корегування функцій кожної посади.</li> <li>6. Корегування зв'язків посад та функцій.</li> <li>7. Знищення розформованого підрозділу.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перерозподіл посад та функцій.</li> <li>2. Передавання функцій та посад.</li> <li>3. Корегування їх зв'язків.</li> <li>4. Корегування зв'язків посад та функцій, які залишилися.</li> <li>5. Корегування характеристик підрозділу.</li> </ol> |

Крім вищезазначених, мають місце перетворення з множиною елементів та множиною зв'язків, які мають визначену цільність та якість. Такі множини називаються підсистемами або шарами. Наприклад, під час закриття ВП шахта «имени 50-летия Советской Украины» ДП «Антрацит» першим етапом перетворень стало видалення виробничої підсистеми, яке включало видалення посади заступника директора шахти з виробництва, робітників тих підрозділів, основною функцією яких був видобуток вугілля та видалення самих підрозділів. Важливим є той момент, що видаленню підлягають всі зв'язки елементів шару з елементами інших шарів. Під час видалення шару проводяться такі елементарні перетворення як видалення посади, зв'язку, функції, підрозділу. Під час додавання шару проходять сукупності перетворень додавання таких же елементів.

Впровадження ІТ може привести до зміни якості виконання функцій, зміни рівня виконання та до появи нових функцій, оскільки певні функції можна виконати тільки за наявності ІТ. Також введення комп'ютерної техніки може призвести до зміни кваліфікаційного рівня людських ресурсів, їх чисельності, відношень між ними, зміни системи комунікацій на підприємстві.

В перетвореннях над інформаційною складовою ІУА можна виділити наступні класи:

- 1) зміни програмного забезпечення:
  - встановлення нових версій ПЗ;
  - встановлення нового програмного продукту;
  - видалення програмного продукту;
- 2) зміни комп'ютерного парку:
  - зміна апаратної платформи;
  - модернізація апаратної частини:
    - а) збільшення об'єму оперативної пам'яті;
    - б) збільшення об'єму жорсткого диска;
    - в) заміна відеокарти;
    - г) модернізація процесора;
    - д) модернізація програмної частини;
      - додавання нових комп'ютерів;
      - списання комп'ютерів;

Сучасні комп'ютери побудовані за модульною системою, що дозволяє проводити модернізацію окремих частин та збільшувати продуктивність комп'ютера. Однак, в процесі швидкого розвитку технічних засобів перелік перетворень може змінюватися.

У випадку повної заміни комп'ютерного парку підприємства, наступним кроком стає заміна програмної платформи, а після цього – корегування програмного забезпечення для виконання всіх функцій. Таким чином, перетворення інформаційної складової ІУА переходять в перетворення управлінської структури, змінюючи рівень виконання функцій та додаючи вимог до посадових осіб. Ці вимоги стосуються певних навичок володіння комп'ютерною технікою та навичками користування програмним забезпеченням.

Зміна програмної платформи без модернізації комп'ютерної техніки може проводитися у випадку, коли апаратна частина своїми характеристиками може забезпе-

чити таку заміну. Це стосується випадків заміни версій операційних систем на більш вищі або заміни операційної системи на іншу, наприклад, Windows на Linux. В першому та другому випадку корегування вимог щодо вмінь та навичок певної посади не є суттєвим, так як має місце сумісність програмних продуктів, інтерфейси програмних продуктів різних операційних систем схожі, не значно відрізняються основні операції, які виконуються користувачами в операційних системах. Найбільшою проблемою в такому випадку є психологічна – несприйняття людьми змін, небажання навчатися та небажання мати більше відповідальності.

Використання спеціалізованих або прикладних програм буде суттєво заважати проведенню таких змін, оскільки придбання нового ПЗ – це дорога річ, не тільки за вартістю, а й за потребою навчання співробітників, які будуть ним користуватися.

Під час додавання нових комп'ютерів відшукується оптимальний варіант між виділеними коштами, потребою співробітників та можливістю сумісності з іншими комп'ютерами співробітників, програмами.

**Висновок:** розроблено принципи формування класифікаційних ознак, визначені класифікаційні ознаки, побудована система елементарних перетворень у відповідності до шарів ІУА. Проведена типізація елементарних перетворень, вказано особливості перетворень із застосуванням декількох шарів ІУА, основні відмінності проведення перетворень в залежності від рівня ІУА.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Концепция информационно-управленческой архитектуры и ее использование в управлении предприятием / [Андронов В. И., Данич В. Н., Демин М. К., Танченко С. М.] // Материалы V Международной научной конференции «Экономическое прогнозирование: модели и методы», г. Воронеж, Воронежский государственный университет, 28 апреля 2009 г. : в 2-х ч. – Воронеж : ВГУ, 2009. – Ч. 2. – С. 8–26.
2. Данич, В. Н. Моделирование быстрых социально-экономических процессов : монография / В. Н. Данич. – Луганск : Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2004. – 304 с.
3. Данич, В. Н. Структурно-информационный менеджмент в стратегическом управлении предприятием / В. Н. Данич, С. М. Танченко, И. С. Хрестина // Стратегія економічного розвитку України. – 2005. – № 16. – С. 64–71
4. Данич, В. Н. Динамика развития информационно-управленческих архитектур предприятий торговли / В. Н. Данич, М. К. Демин, Н. В. Клепакова // Вестник ВНУ им. В. Даля. – 2007. – №11 (117), ч. 2. – С. 240–247.
5. Колосов, А. Н. Адаптивная организация деятельности предприятия : монография / А. Н. Колосов. – Луганск : ВНУ им. В. Даля, 2008. – 440 с.
6. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, П. Мако, И. Такахаара. – М. : МИР, 1973. – 344 с.
7. Уемов, А. И. Системный подход и общая теория систем / А. И. Уемов. – М. : Мысль, 1978. – 272 с.
8. Мескон, М. Основы менеджмента / Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. ; пер. с англ. // Общ. ред. и вступ. статья Л. И. Евенко. – М. : Дело, 1998. – 799 с.

9. *Минцберг, Г.* Структура в кулаке : создание эффективной организации / Г. Минцберг ; пер. с англ. под ред. Ю. Н. Каптуревского. – С. Пб. : Питер, 2004. – 512 с.
10. *Холл, Р. Х.* Организации : структуры, процессы, результаты / Р. Х. Холл. – С. Пб. : Питер, 2001. – 512 с.
11. Теория систем и системный анализ в управлении организациями : справочник : учеб. пособие // Под ред. В. Н. Волковой, А. А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 848 с.
12. *Милнер Б. З.* Теория организаций / Б. З. Милнер. – М. : ИНФРА-М, 1998. – 336 с.

Стаття надійшла до редакції 08.09.2012.  
Після доробки 12.12.2012.

Данич В. Н.<sup>1</sup>, Шевченко С. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Д-р економ. наук, декан, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина

<sup>2</sup>Старший преподаватель, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина,

#### КЛАССЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ДИНАМИКЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИХ АРХИТЕКТУР

В статье предложены классы элементарных преобразований, которые характеризуют динамику информационно-управленческих архитектур предприятий, указаны особенности преобразований, выполняемых на нескольких уровнях ИУА.

**Ключевые слова:** информационно-управленческая архитектура, элементарные преобразования, классификационные.

Danich V. M.<sup>1</sup>, Shevchenko S. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doctor of economics sciences, Dean, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University, Lugansk, Ukraine

<sup>2</sup>Head teacher, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University, Lugansk, Ukraine

#### CLASSES OF ELEMENTARY TRANSFORMATION IN THE DYNAMICS OF INFORMATION-ADMINISTRATIVE ARCHITECTURES

The timely conversion information-administrative architecture (IAA) gives the enterprise a certain advantages: high competitiveness, increase of controllability of the divisions of the enterprise. When there are models of the dynamics of IAA, qualitative transformations can be conducted. Division of the elementary transformations, the separation of classification features and merging of these transformations in the classes will allow to build a model of the dynamics of IAA. Certain changes, which take place in IAA, relate to the elements, relations, characteristics or properties. These can be more detailed and submit as an orderly or simply set of transformations. Aggregate stages of conversion can be considered at different levels of detail, down to the lowest-level of elementary transformations, that is such, which cannot be identified through a simple transformation. The notion of elementary transformation to a large extent depends on the point of view of the researcher, the goals and tasks of the research. Essential features of elementary is simplicity and constructive. The concept of elementary depends on the level and depends on the layer. At each layer of the managerial component of IAA there are the following classes of elementary transformation: the transformation of objects and the transformation of connections. Any changes IAA can submit superposition of elementary transformations.

**Keywords:** informatively administrative architectures, elementary transformations, classification features.

#### REFERENCES

- Androsov V. I., Danich V. N., Demin M. K., Tanchenko S. M. Kontseptsiya informatsionno-upravlencheskoy arhitektury i ee ispolzovanie v upravlenii predpriyatim. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Ekonomicheeskoe prognozirovanie: modeli i metodyi»*, g. Voronezh, Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet, Voronezh, Izd. VGU, 2009, Vol. 2. , pp 8–26.
- Danich V. N. Modelirovanie bystrykh sotsialno-ekonomicheskikh protsessov : monografiya. Lugansk, izd-vo VNU im. V. Dalya, 2004, 304 p.
- Danich V. N., Tanchenko S. M., Hrestina I. Strukturno-informatsionnyy menedzhment v strategicheskom upravlenii predpriyatim, *Strategiya ekonomichnogo rozvitku Ukrayini*, 2005, No. 16, pp. 64–71.
- Danich V. N., Demin M. K., Klepakova N. V. Dinamika razvitiya informatsionno-upravlencheskikh arhitektur predpriyatiy torgovli, *Vestnik VNU im. V. Dalya*, 2007, No. 11 (117), pp. 240–247.
- Kolosov A. N. Adaptivnaya organizatsiya deyatelnosti predpriyatiya : monografiya. Lugansk, Izd-vo VNU im. V. Dalya, 2008, 440 p.
- Mesarovich M., Mako P., Takahara I. Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevnykh sistem. Moskow, MIR, 1973, 344 p.
- Uemov A. I. Sistemnyy podhod i obschaya teoriya sistem. Moskow, 1978, 272 p.
- Meskon M., Albert M., Hedouri F. Osnovy menedzhmenta. Moskow, Delo, 1998, 799 p.
- Mintzberg G. Struktura v kulake: sozdanie effektivnoy organizatsii. Sankt-Peterburg, Piter, 2004, 512 p.
- Holl R. H. Organizatsii: struktury, protsessy, rezultaty. Sankt-Peterburg, Piter, 2001, 512 p.
- Teoriya sistem i sistemnyy analiz v upravlenii. Moskow, Finansy i statistika, 2006, 848 p.
- Milner B. Z. Teoriya organizatsiy. Moskow, INFRA-M, 1998, 336 p.

## СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПІДПРИЄМСТВА

Запропоновано процедуру побудови системи підтримки прийняття рішень на основі мережі Байєса, яка надає можливість оцінювати та прогнозувати стан підприємства в умовах впливу збурень довільних типів та різної природи.

**Ключові слова:** система підтримки прийняття рішень, байєсівські мережі, аналіз стану підприємства, стратегічне планування, статистичні дані.

### ВСТУП

Важливою задачею комп'ютеризації бізнесу є впровадження комп'ютерних інформаційних систем (у тому числі аналітичних систем підтримки прийняття рішень – СППР) у всі ланки бізнес-відносин між суб'єктами господарювання. Однією із сфер застосування таких систем є малий бізнес. Відомо, що для малих підприємств характерна швидка зміна поточної інформації – асортименту продукції, балансу попиту і пропозиції, кон'юнктури ринку і загалом спостерігається великий об'єм інформаційних потоків. Відомо, що сьогодні рівень автоматизації діяльності таких підприємств досить низький. Для типового підприємства (наприклад, роздрібною торгівлі) комп'ютеризація у кращому випадку проявляється у документуванні даних з неможливістю їх подальшого використання, а тим більше належної аналітичної обробки. Відсутність інформаційних систем широкого профілю призводить до неможливості застосування будь-яких інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Таким чином, актуальною задачею є створення єдиної інформаційної системи підприємства із самою широкою аналітичною підтримкою діяльності користувачів. Це означає, що необхідно створювати єдину базу знань і даних (БЗД) з уніфікованим форматом представлення даних, проектувати і створювати програмні реалізації інтерфейсів для роботи з БЗД, а також комп'ютерну систему підтримки прийняття рішень (СППР), що використовує інформацію з цієї бази знань і даних. При такому підході автоматично створюються умови для отримання інформації у стандартизованому представленні, що надає можливість застосовувати належну аналітичну обробку. Отже, виникають передумови для впровадження у бізнесову діяльність підприємства формалізованих систем підтримки прийняття рішень (наприклад, таких, що використовують алгоритми розв'язання оптимізаційних задач, прогнозування, планування, аналізу стану ринку, інвестиційної діяльності і т. ін.). Надалі накопичені дані і алгоритмічні процедури можуть стати ос-

новою для бази знань потужнішою інтелектуальною системою – експертною системою з широким колом поставлених задач. Таким чином, повноцінна комп'ютеризація діяльності суб'єкта бізнесу (незалежно від типу системи, що проектується) спирається на ядро інформаційної системи у вигляді бази знань і даних і відповідних чисельних процедур для обробки даних з метою моделювання і прогнозування подальшої діяльності.

Одним із високоефективних сучасних інструментів математичного моделювання, прогнозування, розпізнавання ситуацій та підтримки прийняття рішень є байєсівські мережі (БМ). Вони виникли на стику теорії ймовірностей і математичної статистики і мають ряд переваг перед іншими методами моделювання. Зокрема, можливість врахування в одній моделі категорійних і звичайних числових змінних, кількість змінних може сягати декількох сотень, наявність альтернативних методів формування ймовірнісного висновку та коректне представлення причинно-наслідкових зв'язків. Тому для розв'язання задачі оцінювання стану підприємства у цій роботі буде використано апарат байєсівських мереж.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Необхідно спроектувати інформаційну СППР на основі мережі довіри Байєса для оцінювання і прогнозування стану малого підприємства з використанням сучасних ймовірнісних методів формування статистичного висновку. Для розв'язання основної задачі необхідно створити мережу Байєса на множині зв'язаних подій  $X_i, i = 1, \dots, n$  з відомими апріорними ймовірностями, тобто побудувати ациклічний граф  $G$ , який характеризується множиною ймовірнісних параметрів  $B$ ; дослідити характеристики отриманої мережі з метою її подальшого застосування до аналізу та оцінювання стану малого бізнесу, а також визначення стратегії його подальшого розвитку. При цьому передбачається, що на події  $X_i, i = 1, \dots, n$  впливають невизначеності різного характеру і природи, а також існують дані, що описують відповідні події, які зв'язані з діяльністю малого підприємства.

## ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СППР НА ОСНОВІ МЕРЕЖІ БАЙЄСА

Актуальним напрямком розвитку комп'ютерних систем є інтелектуалізація процесів обробки даних. Процес інтелектуалізації інформаційної СППР означає надання користувачеві принципової можливості не лише отримувати інформацію на основі обробки даних, але й використовувати в процесі роботи цю інформацію, а також накопичені професіоналами досвід і знання. В даній роботі під інформаційною СППР будемо розуміти будь-яку комп'ютерну інформаційну систему, яка надає при прийнятті рішень допомогу різного характеру (обчислення, пошук, формування висновку, зручне представлення результатів і т. п.). Різновидністю СППР є експертні системи (ЕС) [1–3].

Експертна система розроблялася за технологією розробки ЕС, що склалася на сьогодні. Ця технологія складається з шести етапів: ідентифікація, концептуалізація, формалізація, реалізація, тестування і дослідно-експериментальна експлуатація (рис. 1) [4].

У зв'язку з тим, що основою будь-якої експертної системи є знання, даний етап є найбільш важливим і найбільш трудомістким етапом розробки ЕС. Процес накопичення знань розділяють на отримання знань від експерта, організацію знань, яка забезпечує ефективну роботу системи, і подання знань у вигляді, зрозумілому ЕС. Розповсюдженими підходами до розробки ЕС є такі: системи на основі правил, системи з використанням нейронних мереж і експертні системи на основі мереж довіри Байєса (МБ). В даній роботі використано підхід на основі МБ. Для реалізації системи обрані Delphi/C++ Builder та система управління базами даних (СУБД) InterBase.

### КОРОТКИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ НА ОСНОВІ МБ

Мережі довіри Байєса, або просто байєсівські мережі, складаються з множини вузлів і сукупності спрямованих ребер, що з'єднують ці вузли між собою (більш детально мережі Байєса розглядаються у наступному підрозділі

цієї роботи). Ребра визначають причинно-наслідкові зв'язки у предметній області, що більшою частиною не є однозначно визначеними. Вірогідність твердження (чи дії) представляється за допомогою ймовірності. Концепція байєсівських мереж полягає у оновленні ймовірностей при надходженні додаткової інформації. Інформацію може отримувати кожен вузол (змінна) мережі, оскільки метод оновлення ймовірностей є інваріантним відносно напрямку розповсюдження інформації по ребрам мережі. Таким чином, байєсівська мережа, як основа експертної системи, значно розширює можливості аналізу і прийняття рішень, оскільки дозволяє робити і прямиї, і зворотний логічний висновок одночасно. Крім того, одночасне введення інформації про стани декількох вузлів не змінює алгоритму обробки мережі, що дає можливість виключити ситуації логічної суперечності, які часто мають місце в подібних випадках для інших методів. Байєсівські мережі в експертних системах мають такі значні переваги, як можливість обчислювального трактування алгоритмів логічного висновку, гнучкість процесу розповсюдження інформації та адаптування до нових даних. З усього цього випливає, що експертну систему для малого бізнесу доцільно побудувати саме на основі мереж Байєса.

Структура мережі часто визначається експертами предметної області, але існують методи структурного навчання МБ на основі статистичних даних. Це дає можливість адаптувати структуру МБ до нових даних. Проте слід підкреслити, що принципово *суб'єктивний* байєсівський підхід не вимагає «об'єктивності» ймовірностей, а тому дозволяє формувати таблиці умовних ймовірностей спираючись на суб'єктивні оцінки експертів. Слід також зазначити, що результати логічного висновку більш чутливі до якісної структури МБ, ніж до кількісних значень ймовірностей [5].

### АДАПТАЦІЯ БАЙЄСІВСЬКОЇ МЕРЕЖІ ДО ДАНИХ

Для побудови структури БМ використано алгоритм на основі статистичного аналізу рядів даних, які характеризують еволюцію змінних мережі [6]. В СППР також реалізовано алгоритм адаптування структури мережі до нових даних, що надходять в реальному часі. Для пояснення процедури адаптації мережі введемо такі позначення:  $Z = \{X_1, \dots, X_n\}$  – множина вузлів БМ, яка визначається числом змінних в базі даних;  $E = \{(X_i, X_j) | X_i, X_j \in Z\}$  – множина дуг мережі;  $X_i$  – вузол БМ, що відповідає спостереженням однієї змінної з бази даних;  $n = |Z|$  – число вузлів БМ;  $r_i$  – число значень, що можуть прийматися вузлом  $X_i$ ;  $v_{ik}$  –  $k$ -е значення змінної  $X_i$ ;  $\Pi_i$  – множина вузлів-предків вузла  $X_i$ ;  $\phi_i$  – множина можливих ініціалізацій  $\Pi_i$ ;  $q_i = |\phi_i|$  – число можливих ініціалізацій  $\Pi_i$ ;  $\phi_{ij}$  –  $j$ -а ініціалізація множини вузлів-предків  $\Pi_i$  вузла  $X_i$ ;  $B_G$  – структура БМ;

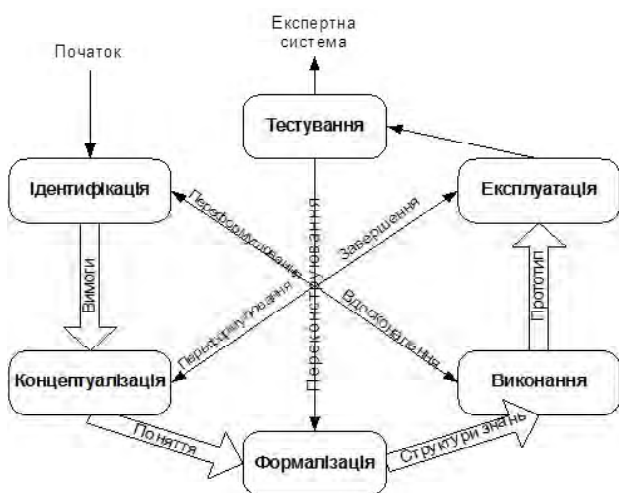


Рис. 1. Технологія розробки ЕС

$B_P$  – імовірнісна специфікація БМ, тобто частина опису моделі, що представляє імовірнісні характеристики БМ;  $\theta_{ijk} = P(X_i = v_{ik} | \phi_{ij}, B_P)$ , при цьому сума ймовірностей  $\sum_k \theta_{ijk} = 1$ ;  $f(\theta_{ij1}, \dots, \theta_{ijr_i})$  – щільність розподілу ймовірностей для вузла  $X_i$  та ініціалізації  $\phi_{ij}$ ;  $D_0$  – вихідна база даних спостережень;  $S_0$  – структура БМ, отримана внаслідок попередньої пакетної обробки бази  $D_0$ ;  $D_1$  – база даних нових спостережень, не використаних при побудові  $S_0$ ;  $S_1$  – структура БМ, отримана після адаптації  $S_0$  до нових даних  $D_1$ . Ставилась задача розробки алгоритму адаптування вихідної байєсівської мережі  $G = \langle Z, E \rangle$  із структурою  $S_0$ , побудовану за вихідною базою спостережень  $D_0$ , до нових спостережень  $D_1$ . Тобто, необхідно сформувати оновлену структуру мережі  $S_1 \Leftrightarrow D_1$ . При цьому експериментальні (статистичні) дані можуть мати довільний розподіл ймовірностей, а процеси, які описуються цими даними, можуть мати нестационарний характер, тобто, математичне сподівання  $M[X_i] \neq \text{const}$  і дисперсія  $M\{X_i - M[X_i]\}^2 \neq \text{const}$ .

Адаптація побудованої мережі до нових даних виконується у такій послідовності: (1) – реалізація процедури корегування структурної частини моделі: процедура видалення дуг, що не відповідають множині даних і додавання нових дуг; (2) – процедура корегування імовірнісної частини моделі. Оскільки на початковому етапі навчання БМ імовірнісну складову моделі представляють таблиці умовних розподілів ймовірностей, отримані безпосередньо на підставі частотного аналізу появи значень змінних в спостереженнях, тому відразу визначимо зміни в процедурі корегування імовірнісної частини моделі. З метою полегшення проведення корегування імовірнісної частини моделі, корисно зберігати не таблиці розподілу умовних ймовірностей, а значення  $N_{ijk}$ . Це дозволить швидше оновлювати дані щодо розподілу умовних ймовірностей, а самі значення умовних ймовірностей можна обчислювати, користуючись формулою Діріхле:

$$P(X_i = v_{ik} | \Pi_i = \phi_{ij}) = \frac{N_{ijk} + 1}{N_{ij} + r_i}.$$

При корегуванні структури БМ порядок обходу вузлів визначаємо за вкладом кожного вузла в значення

$$P(D_1 | D_0, S_0) = \prod_{i=1}^n \frac{\prod_{s=1}^{R_i} \prod_{t=1}^{Q_i} \prod_{u=1}^{m_{its}} (N_{its} + u)}{\prod_{t=1}^{Q_i} \prod_{u=1}^{M_{it}} (N_{it} + r_i - 1 + u)}.$$

Суть аналізу інформаційної важливості дуг полягає у наступному. На етапі перевірки дуг на необхідність видалення для кожного вузла обчислюється значення  $K_{\text{delete}}(S_0)$  для поточної конфігурації множини вузлів-предків, а також значення  $K_{\text{delete}}(S_{-1}^m)$  для конфігурацій, які представляють собою результат видалення однієї з  $M$  ( $1 \leq m \leq M$ ) вхідних дуг з поточного вузла. Якщо виконується умова  $K_{\text{delete}}(S_{-1}^m) \leq K_{\text{delete}}(S_0)$ , то  $m$ -а дуга залишається в структурі мережі, оскільки видалення даної дуги призводить до зменшення значення локального функціоналу якості (тобто для поточного вузла). Інакше дуга заноситься в список дуг, що підлягають подальшій перевірці на необхідність видалення. Список може бути відсортований за збільшенням значення  $K_{\text{delete}}(S_{-1}^m)$ . Список (множина) дуг аналізується послідовно. Подальша перевірка полягає у обчисленні значення локального функціоналу якості при вихідній конфігурації і конфігураціях, які ми отримуємо при видаленні однієї з дуг, що залишилися в списку.

Тактика вилучення і додавання дуг застосована у інкрементному варіанті адаптаційного алгоритму, наведеному нижче. Оскільки результатом реалізації байєсівського підходу є вибір стратегії адаптації у вигляді:

$$P(S_1 | D_1, D_0, S_0) = \arg \max_S \frac{P(S | D_0)P(D_1 | S, D_0)}{P(D_1 | S_0, D_0)},$$

то процедури вилучення і додавання дуг здійснюється таким чином. Якщо врахувати вид розв'язку оптимізаційної задачі адаптації БМ, то тактика вилучення дуг повинна приводити до зменшення першої складової чисельника  $P(S | D_0)$ , оскільки вона досягає максимуму при  $S = S_0$  в результаті формування початкової структури БМ. Таким чином, для отримання позитивного ефекту від адаптації необхідно компенсувати втрати від вилучення дуги ефектом від додавання нової дуги. Оскільки вихідною умовою алгоритму є наявність впорядкованої послідовності вузлів, то пошук дуги-претендента на додавання здійснюється саме в такому порядку. Оцінка дуги виконується шляхом обчислення значення локального функціоналу якості. Відповідно, претендент на додавання повинен визначати конфігурацію вхідних дуг, що має найбільше значення локального функціоналу якості.

### РОЗРОБКА ЕС ДЛЯ МАЛОГО БІЗНЕСУ

Для суб'єктів малого бізнесу існує клас задач, які розв'язуються за допомогою експертів. Створюючи експертну систему для малого підприємства, необхідно виділити такий клас задач цієї множини, який був би практично важливим для підприємства та водночас достатньо якісно вирішувався за допомогою обраного інструментарію [7, 8].

На рис. 2 представлена структура стратегічного аналізу для підприємства малого бізнесу, яка використана у роботі. Логічним виходом цього аналізу є оцінка привабливості стратегічних альтернатив (чи бізнесу в цілому).

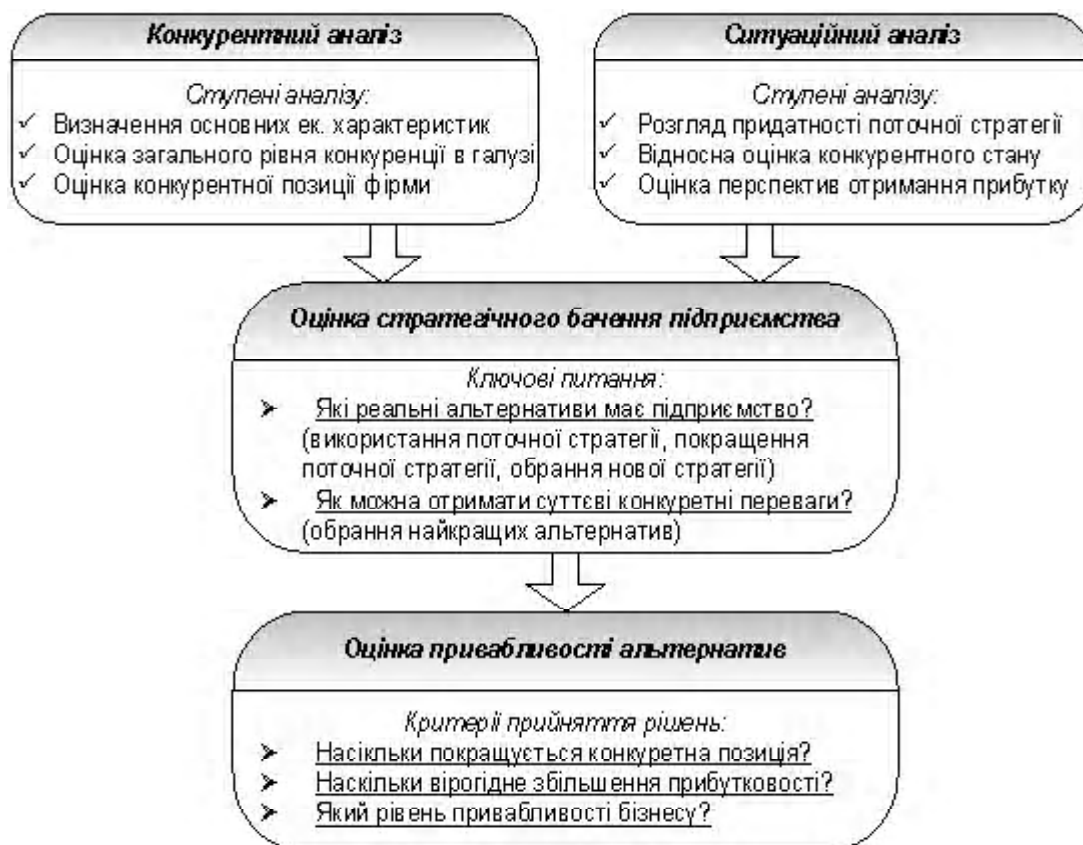


Рис. 2. Оцінка малого бізнесу в рамках стратегічного аналізу

**Призначення ЕС:** експертна система має реалізувати процес стратегічного аналізу у режимі консультації з користувачем, надавши йому на основі акумульованого експертного досвіду свою оцінку привабливості стратегічних альтернатив.

Реалізація цієї системи на основі байєсівських мереж довіри означає, що необхідно побудувати мережу, виділивши у ній вхідні вузли (тобто такі, імовірності станів котрих визначає користувач) і результуючі вузли. Далі, надавши станам вхідних вузлів певні значення, необхідно отримати імовірності станів результуючих вузлів.

#### ПРОЕКТУВАННЯ БАЙЄСІВСЬКОЇ МЕРЕЖИ ДОВІРИ ДЛЯ РОЗРОБКИ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА

Експертна система, в основі якої лежить модель предметної області у вигляді байєсівської мережі довіри, може бути використана також для розв'язку задачі вибору оптимальної стратегії розвитку підприємства. Покажемо, як може здійснюватися таке стратегічне планування діяльності суб'єкта бізнесу на прикладі виробничого підприємства.

Цілями моделювання при розробці стратегії розвитку виробничого підприємства є: (1) оцінка поточної управлінської стратегії; (2) визначення можливих шляхів і засобів керування розвитком підприємства; (3) проведення порівняльного аналізу наслідків впровадження тих чи інших управлінських рішень; (4) обрання найкращої стратегії розвитку.

Для досягнення поставлених цілей необхідно визначити критерії, які визначають ступінь ефективності стратегії, що впроваджується. Крім того, слід визначити фактори, що впливають на кінцевий результат, та їх взаємозв'язок. Основними критеріями, що визначають рівень розвитку конкурентоспроможності та перспективності підприємства, можна назвати такі: цінність кадрів підприємства; рівень розвитку підприємства; фінансовий результат діяльності підприємства. Цінність кадрів підприємства визначає рівень вмотивованості та кваліфікації працюючих. Цей критерій дозволяє оцінити якість трудових ресурсів підприємства.

Рівень розвитку підприємства є показником технологічної структурованості підприємства. Цей критерій визначає ефективність внутрішньої організації підприємства та ступінь довершеності бізнес-процесів, що протікають на підприємстві.

Фінансовий результат – це один з найважливіших інтегральних показників бізнес-діяльності підприємства. Він дозволяє оцінити стан підприємства на основі кількісних фінансових показників діяльності, таких, як доходи і витрати.

В якості *факторів, що впливають на значення критеріїв діяльності підприємства*, можна вибрати такі укрупнені економічні показники: обсяг виробництва; виробничі фонди; невиробничі витрати; собівартість виробництва. Іншими впливовими факторами є також показники, що відносяться до трудових ресурсів підприємства – чисельність працюючих, продуктивність праці і



середня заробітна плата працівників. Ці фактори прямо чи опосередковано впливають на всі критерії розвитку підприємства.

При моделюванні будимо враховувати такі фактори: продуктивність праці на підприємстві, середня заробітна плата працюючих, чисельність персоналу, виробничі фонди підприємства, невиробничі витрати, обсяг виробництва та собівартість виробництва.

Для побудови відповідної байєсівської мережі і подальшої роботи з нею скористаємося графічною оболонкою системи *Hugin Lite 5.1* фірми Hugin Expert A/S.

В термінології байєсівських мереж довіри вищенаведені показники та інтегральні критерії складатимуть вершини мережі, які ми позначимо наступним чином:

1. Продуктивність праці – **ПТ**.
2. Середня заробітна плата – **СЗП**;
3. Чисельність працюючого персоналу – **ЧП**;
4. Виробничі фонди підприємства – **ПФ**;
5. Невиробничі витрати – **НР**;
6. Обсяг виробництва – **ОП**;
7. Собівартість виробництва – **С**;
8. Цінність кадрів – **ЦК**;
9. Узагальнений рівень розвитку підприємства – **УРП**;
10. Фінансовий результат – **ФР**.

Врахувавши причинно-наслідкові зв'язки між наведеними факторами, можемо побудувати байєсівську мережу. Вона представлена на рис. 3.

Далі для кожної вершини, що входить у мережу, необхідно визначити множину можливих станів. Для спрощення приймемо, що кожна з вершин може приймати лише два стани – «збільшується» (позначення **Inc**) чи «зменшується» (позначення **Dec**). Тоді результатом моделювання будуть імовірності  $P(\mathbf{Inc})$  та  $P(\mathbf{Dec})$  для вершин **ЦК**, **УРП** та **ФР**. Наприклад, якщо в результаті моделювання деякої стратегії отримуємо, що для вершини **ЦК**  $P(\mathbf{Inc})=0,7$ , то це означає, що при застосуванні цієї стратегії цінність кадрів збільшиться з імовірністю 0,7.

Останнім і найважливішим кроком при побудові байєсівської мережі є задавання таблиць умовних ймовірностей для кожної вершини мережі. Умовні ймовірності є експертними оцінками, на основі яких будується експертна система, і саме від їх точності залежить адекватність побудованої моделі. Наведемо таблицю умовних ймовірностей для вершини мережі, що відповідає обсягу виробництва. Відповідно до топології мережі, стан для цієї вершини (**ОП**) визначається станом вершин **ЧП** і **ПТ**, тобто на обсяг виробництва впливають чисельність працівників та продуктивність їх праці (рис. 4).

З наведеного вище рис. 4 видно, наприклад, що при зростанні чисельності працюючих і одночасному зростанні продуктивності праці обсяг виробництва буде зростати, і ймовірність цього зростання за думкою експертів складе 0,9. Можна бачити також, що у разі одночасного спадання кількості працюючих і зростанні продуктивності їх праці експертна оцінка ускладнена, і ймовірності зростання та спадання цього показника покладені рівними.

Таблиці умовних ймовірностей, які створені на основі експертної інформації та статистичних даних, повинні забезпечувати виконання логічних взаємозв'язків, що характерні для предметної області. Це означає, зокре-

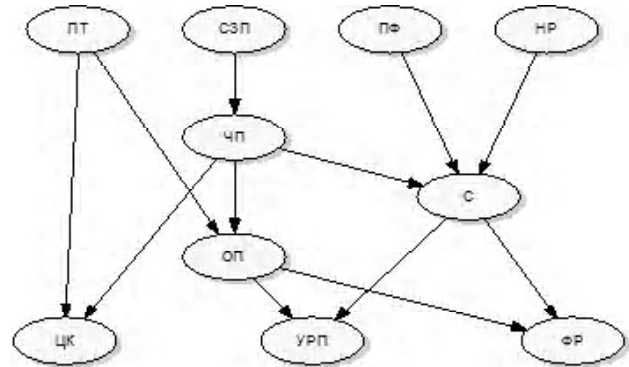


Рис. 3. БМ для моделювання стратегій розвитку підприємства

| ЧП  | Inc |     | Dec |      |
|-----|-----|-----|-----|------|
|     | Inc | Dec | Inc | Dec  |
| ПТ  |     |     |     |      |
| Inc | 0.9 | 0.8 | 0.5 | 0.05 |
| Dec | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.95 |

Рис. 4. Значення умовних ймовірностей для вершини **ОП**

ма, що на отриманій мережі мають виконуватися такі умови (при інших рівних): (1) зменшення середньої заробітної плати збільшує кількість працівників, що звільняються з підприємства; (2) збільшення середньої заробітної плати приводить до збільшення обсягів виробництва; (3) збільшення продуктивності праці приводить до збільшення обсягів виробництва; (4) усі види витрат збільшують собівартість виробництва; (5) збільшення собівартості виробництва зменшує фінансовий результат; (6) збільшення продуктивності праці приводить до збільшення фінансового результату. Врахування цих і інших подібних умов обов'язкове як при побудові мережі, так і при її перевірці на логічну несуперечність.

### ПРИКЛАД МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ БАЙЄСІВСЬКОЇ МЕРЕЖІ

Відповідно до цілей моделювання, першим етапом роботи є аналіз поточної стратегії економічного розвитку підприємства. Оскільки таблиці умовних ймовірностей складені експертами на основі поточного стану підприємства, то оцінка поточної стратегії являє собою результат ініціалізації побудованої байєсівської мережі, тобто результат розповсюдження по мережі апріорних ймовірностей. Апріорні ймовірності у нашому випадку задаються для кореневих вершин дерева **ПТ**, **СЗП**, **ПФ** і **НР**.

Кореневі вершини дерева при моделюванні трактуються як об'єкти керування, тобто показники, зміна значень (ймовірностей станів) яких дозволяє отримати результат аналізу. Листові вершини дерева трактуються як показники результатів моделювання. Отримані в результаті моделювання імовірності станів цих вершин представляють собою результати моделювання стратегії розвитку підприємства. Оскільки в процесі аналізу причинно-наслідкових зв'язків між вершинами мережі експерти враховують поточний стан підприємства як фіксований

в даний момент часу, то логічно вважати, що поточна стратегія моделюється «стаціонарними» станами кореневих вершин. У термінах ймовірностей це означає рівні ймовірності збільшення чи зменшення відповідних економічних показників. Отже, покладемо для кореневих вершин мережі ПТ, СЗП, ПФ і НР, що значення ймовірностей  $P(\text{Inc})=P(\text{Dec})=0,5$ . Тоді ініціалізація мережі, тобто розповсюдження по мережі цих ймовірностей, дає такі значення критеріїв (табл. 1).

Таблиця 1. Поточний стан підприємства

| Вершина:          | ЦК     | УРП    | ФР     |
|-------------------|--------|--------|--------|
| $P(\text{Inc})$ : | 0,5644 | 0,5345 | 0,5223 |

Таким чином, експертна оцінка поточної стратегії дає початкові значення критеріїв розвитку, з якими можна порівнювати результати моделювання інших стратегій.

Наступним етапом аналізу є моделювання впровадження у виробництво інших стратегічних рішень. Відповідно до розробленої моделі виділимо три таких можливих стратегій:

**Стратегія № 1 – інтенсифікація виробництва.** Ця стратегія припускає досягнення бажаних критеріїв розвитку підприємства шляхом підвищення продуктивності праці персоналу. Комплекс заходів по інтенсифікації передбачає впровадження більш прогресивних технологій виробництва, збільшення норми виробітки на одного працюючого, зростання долі наукомістких високотехнологічних операцій у виробничому циклі тощо. Така стратегія є доцільною, якщо у розпорядженні управлінського персоналу підприємства є засоби та кошти на вдосконалення виробничого процесу.

В рамках побудованої моделі запровадження цієї стратегії означає варіювання (підвищення) ймовірності  $P(\text{Inc})$  для вершини ПТ.

**Стратегія № 2 – стимулювання персоналу.** Запровадження цієї стратегії означає, що управлінські рішення керівництва підприємства направлені на заохочення працюючих робітників. Ця стратегія полягає в намаганні покращити якість і збільшити кількість продукції, що випускається, шляхом матеріальних і моральних заохочень працюючих, надання їм соціальних та інших пільг, покращення умов праці і психологічної атмосфери у колективі. Стратегія стимулювання персоналу може бути застосована завжди, в тому числі і в умовах неможливості технологічних зрушень у виробництві. Ця стратегія у побудованій моделі реалізується шляхом збільшення ймовірності  $P(\text{Inc})$  для вершини СЗП, тобто збільшення середньої заробітної плати працюючих.

**Стратегія № 3 – зменшення витрат.** Суть цієї стратегії полягає в намаганні зменшити витрати підприємства при незмінних обсягах виробництва. Така стратегія доцільна, якщо жорсткий контроль за витратами виявляється по суті єдиним шляхом розвитку підприємства – в умовах неможливості вдосконалення існуючих технологій виробництва, сильної конкуренції в галузі, дефіциту трудових ресурсів тощо. У побудованій мережі зменшен-

ня витрат моделюється шляхом зниження рівня невиробничих витрат підприємства, тобто збільшення ймовірності  $P(\text{Dec})$  для вершини НР. Отже, для моделювання стратегії розвитку підприємства по черзі встановимо  $P(\text{Inc})=1$  для вершини ПТ,  $P(\text{Inc})=1$  для вершини СЗП і  $P(\text{Dec})=1$  для вершини НР, залишаючи ймовірності для інших вершин незмінними. Отримуємо такі результати (табл. 2).

Таблиця 2. Результати моделювання на мережі

| Стратегія | Значення $P(\text{Inc})$ для критерію |        |        |
|-----------|---------------------------------------|--------|--------|
|           | ЦК                                    | УРП    | ФР     |
| №1        | 0,5712                                | 0,5801 | 0,5793 |
| №2        | 0,5700                                | 0,5570 | 0,5628 |
| №3        | 0,5644                                | 0,6335 | 0,5975 |

Таким чином, отримані ймовірності збільшення критеріїв розвитку підприємства у разі застосування тієї чи іншої стратегії. Наступним і останнім етапом моделювання є визначення найкращої стратегії, яку слід рекомендувати управлінському персоналу підприємства.

### ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА

Для прийняття управлінського рішення необхідно визначити інтегральний критерій розвитку підприємства для кожної стратегії, краще значення якого і визначить оптимальну стратегію з числа розглянутих. Розрахунок інтегрального критерію пропонується провести на основі таких міркувань.

Нехай при моделюванні розглядаються  $K$  критеріїв і  $S$  стратегій розвитку підприємства. В результаті моделювання кожної стратегії на байесівській мережі отримані значення ймовірностей збільшення критеріїв  $p_{ks}$ ,  $k = 1..K$ ,  $s = 1..S$  і відомі початкові значення  $p_{k0}$  для поточного стану підприємства. Тоді для кожної стратегії розраховується зважений показник збільшення критеріїв розвитку підприємства:

$$p_s = \sum_{k=1}^K w_k p_{ks}, s = 0..S,$$

де  $w_k$  – ваговий коефіцієнт, що визначає важливість збільшення  $k$ -го критерію розвитку для підприємства,  $\sum_{k=1}^K w_k = 1$ . Зважений показник  $p_s$  може розглядатися як ймовірність збільшення деякого інтегрального критерію розвитку підприємства, тобто  $p_s$  – це величина, яка характеризує ймовірність загального поліпшення рівня розвитку, конкурентоспроможності та перспективності підприємства при впровадженні  $s$ -ої стратегії.

Інтегральний критерій розвитку підприємства може бути знайдений як відношення зваженого показника  $p_s$ ,  $s = 1..S$  до показника поточного стану  $p_0$ :

$$I_s = \frac{p_s}{p_0}, s = 1..S,$$

і тоді за оптимальну стратегію  $s^{opt}$  слід приймати таку, для якої інтегральний критерій розвитку має найбільше значення:

$$s^{opt} = \arg \max_{s=1..S} I_s.$$

В нашій моделі  $K = 3, S = 3$ , величини  $p_{ks}, k = 1..K, s = 1..S$  наведені в табл. 1, величини  $p_{k0}$  – в табл. 2. Будемо вважати, що на даному етапі розвитку підприємства цінність кадрів, рівень розвитку виробництва і фінансовий результат однаково важливі для управлінського персоналу; тобто  $w_1 = w_2 = w_3 = \frac{1}{3}$ . Тоді відповідно до вищенаведених формул отримуємо:

$$p_1 = 0,5769; p_2 = 0,5633; p_3 = 0,5985; p_0 = 0,5404;$$

$$I_1 = \frac{0,5769}{0,5404} = 1,07; I_2 = \frac{0,5633}{0,5404} = 1,04;$$

$$I_3 = \frac{0,5985}{0,5404} = 1,11; s^{opt} = \arg \max_{s=1..S} I_s = s_3.$$

Отже, оптимальною стратегією розвитку підприємства є стратегія № 3 – зменшення витрат. При запровадженні цієї стратегії цінність кадрів на підприємстві збільшиться з імовірністю 0,56, рівень розвитку виробництва – з імовірністю 0,63 і фінансовий результат – з імовірністю 0,6.

### ОЦІНЮВАННЯ БІЗНЕСУ З ПОЗИЦІЙ СТРАТЕГІЧНОГО АНАЛІЗУ

Для розв’язання цієї задачі природним видається виділити одну основну результуючу вершину мережі, що відображає привабливість стратегії чи бізнесу в цілому («*Business rating*»), і покладемо, що вона може знаходитися у станах *Attractive* та *Unattractive* («привабливий» чи «непривабливий»).

До **вхідних вузлів мережі** віднесено такі економічні характеристики малого бізнесу: очікуваний попит на продукцію малого підприємства; темпи зростання розмірів ринку, диференціація постачальників товару; спеціалізація конкурентів підприємства; наявність у них товарів-замінників; лояльність покупців; обсяги капіталовкладень у бізнес; наявність капіталовкладень у бізнес; наявність капіталовкладень довгострокових контрактів. Ключовими для оцінювання привабливості бізнесу є також такі поняття: прибутковість підприємства; рівень конкуренції в галузі; наявність чи відсутність надлишкового продукту; можливість подолання економічних бар’єрів входу/виходу (стратегічна гнучкість); стабільність позиції підприємства.

Ці економічні характеристики також доцільно виділити в окремі вершини МБ. Сукупність вузлів МБ визначена; їх можливі стани і стратегічне значення наведені у табл. 3.

Таблиця 3. Вершини байєсівської мережі для оцінювання бізнесу

| Вершина                           | Можливі стани   | Стратегічне значення  |
|-----------------------------------|---|---|
| <b>Business rating</b>            | <i>Attractive</i><br><i>Unattractive</i>  | Результуюча вершина; визначає привабливість альтернативи чи бізнесу   |
| <b>Capital inputs</b>             | <i>Considerable expences</i><br><i>Slight expences</i>  | Великі затрати збільшують бар’єри входу/виходу, зменшуючи гнучкість фірми   |
| <b>Competitors specialization</b> | <i>Different products</i><br><i>The same ones</i>   | Конкуренти з такою ж продукцією створюють більшу загрозу цінової війни  |
| <b>Customer loyalty</b>           | <i>Commonly</i><br><i>Winning</i>   | Лояльні клієнти надають можливість безпечніше варіювати стратегії   |
| <b>Economic surplus</b>           | <i>Low</i><br><i>High</i>   | Надлишок продукції знижує рівень цін і, як наслідок, загострює конкуренцію  |
| <b>Expected demand</b>            | <i>Awaiting reduction of demand</i><br><i>Awaiting growth of demand</i>                             | Збільшення попиту веде до зменшення надлишків і потенційного зросту прибутків   |
| <b>Level of rivalry</b>           | <i>High rivalry</i><br><i>Low rivalry</i>   | Висока конкуренція є ознакою менш привабливого бізнесу  |
| <b>Long-run relations</b>         | <i>Yearly/monthly contracts</i><br><i>Monthly/weekly contracts</i><br><i>Weekly/daily contracts</i> | Наявність довгострокових контрактів зменшує гнучкість підприємства, проте дозволяє зміцнити свою позицію на ринку     |
| <b>Position strength</b>          | <i>Low stability</i><br><i>High stability</i>   | Міцна і стабільна позиція є однією з ознак привабливості бізнесу  |
| <b>Profitability</b>              | <i>Small</i><br><i>Medium</i><br><i>High</i>  | Рівень прибутковості багато в чому визначає рішення про привабливість обраної стратегії чи бізнесу в цілому           |
| <b>Strategical flexibility</b>    | <i>Low flexibility</i><br><i>High flexibility</i>   | Стратегічна гнучкість дозволяє варіювати стратегії і зменшувати надлишки продукції                                    |
| <b>Substitutes presence</b>       | <i>Competitors do not have substitutes</i><br><i>Competitors have substitutes</i>                   | Якщо конкуренти мають заміники продукції, покупці можуть легко переключатися на продавців-конкурентів                 |
| <b>Suppliers variety</b>          | <i>Enough</i><br><i>Insufficient</i>  | Недостатня диференціація постачальників збільшує рівень конкуренції   |
| <b>Turnover growth</b>            | <i>Slow</i><br><i>Moderate</i><br><i>High</i>   | Швидкий зріст розмірів сукупного обороту збільшує прибутковість; його уповільнення зменшує привабливість підприємства |

Стратегічне значення розглянутих економічних показників дозволяє визначити причинно-наслідкові зв'язки між вузлами мережі, визначивши тим самим ребра мережі та їх спрямованість. Заповнення таблиць умовних ймовірностей виконується на основі інформації, отриманої від експертів.

*Використання статистичних даних в ЕС.* Розглянемо такі вхідні вершини побудованої мережі, як «**Turnover growth**» (зростання обороту) та «**Expected demand**» (очікуваний попит). Ці вершини, на відміну від інших, є кількісними, а не якісними, та ще й стосуються очікувань у майбутньому періоді часу, а тому навряд чи користувач експертної системи може точно визначити їх стан. Точне визначення ймовірностей станів цих вузлів на перший погляд видається надскладним завданням; однак, ці вершини є вхідними для експертної системи і тому їх стани мають бути визначеними.

У той час, як значення станів інших вхідних вузлів можуть бути визначені в результаті простого вибору користувачем одного із станів вершини (при цьому обраний стан отримує ймовірність 1, а усі інші – 0). Для двох розглянутих вершин така методика визначення ймовірностей принципово неможлива. Виникає питання, як саме знайти значення відповідних ймовірностей.

Для розв'язання цієї задачі запропоновано методику прогнозування значень показників обороту і очікуваного попиту на майбутній період. Маючи ці прогнози значення, можна спробувати визначити стани вершин МБ. Необхідні ряди числових даних, які будуть оброблятися відомими статистичними методами, можуть бути отримані при виконанні відповідних запитів до бази даних.

Нехай існує ряд числових даних  $y_i, i = 1, \dots, n$ , значення якого в наступний  $(n+1)$ -й момент часу необхідно спрогнозувати. Нехай, далі, вершина байєсівської мережі, для визначення якої використовується цей ряд, має  $m$  станів,  $m \geq 2$ .

Розглянемо  $k$  останніх членів ряду. Для них вибіркоче середнє і вибіркоче дисперсія розраховуються за формулами:

$$m = \frac{1}{k} \sum_{i=n-k+1}^n y_i,$$

$$D = \frac{1}{k-1} \sum_{i=n-k+1}^n (y_i - m)^2.$$

Спрогнозуємо значення ряду у момент часу  $(n+1)$  за допомогою деякого статистичного методу. Позначимо отримане прогнозоване значення через  $\hat{y}_{n+1}$ . Це значення можна розглядати як значення випадкової величини, яка до цього приймала значення  $y_{n-k+1}, y_{n-k+2}, \dots, y_n$ . Тоді з похибкою, якою для розв'язку практичних задач можна знехтувати, справедлива рівність  $P(\hat{y}_{n+1} \in [E_{\min}; E_{\max}]) \cong 1$ , де  $E_{\min}$  і  $E_{\max}$  визначаються за правилом «трьох сігм»:  $E_{\min} = m - 3\sqrt{D}$ ,

$E_{\max} = m + 3\sqrt{D}$ . Поставимо у відповідність кожному стану вузла МБ число

$$t_j = E_{\min} + (j-1) \frac{E_{\max} - E_{\min}}{m-1}, \quad j = 1, \dots, m,$$

що можна зробити у тому випадку, якщо вершина мережі зв'язана з кількісним показником, а всі її стани упорядковані за зростанням цього показника. Тоді природно вважати, що вершина прийме стан  $j$ , якщо  $\hat{y}_{n+1} = t_j$ , а у загальному випадку ймовірність кожного стану можна визначити, виходячи з відстані  $\hat{y}_{n+1}$  до кожного  $t_j, j = 1, \dots, m(1)$ :

$$p_j = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \hat{y}_{n+1} \leq t_1 = E_{\min}; \\ \frac{1}{|\hat{y}_{n+1} - t_j|}, & \text{якщо } E_{\min} < \hat{y}_{n+1} < E_{\max}, \quad j = 1, \dots, m; \\ 1, & \text{якщо } \hat{y}_{n+1} \geq t_m = E_{\max}. \end{cases} \quad (1)$$

Наведені співвідношення (1) визначають, яким чином розроблена ЕС інтегрує статистичні дані з БД в інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень.

## ВИСНОВКИ

Розглянуто можливість використання байєсівських мереж довіри при прийнятті управлінських рішень на рівні малого підприємства. Мережа Байєса – потужний ймовірнісний інструмент моделювання процесів різної природи, який надає можливість розробляти стратегії прийняття рішень в умовах наявності невизначеностей різного характеру, що діють на досліджуваний процес. На прикладі виробничого підприємства продемонстровано можливість розв'язання задачі вибору стратегічного плану розвитку суб'єкта бізнесу. Описана концепція моделювання діяльності підприємства і виділення сукупності стратегічних цілей його розвитку; виділено фактори, які впливають на досягнення цих цілей; побудована модель діяльності підприємства у вигляді байєсівської мережі довіри. Запропонована методологія використання байєсівської мережі для моделювання результатів впровадження управлінських рішень і розроблена методика інтерпретації отриманих результатів. Як практичний приклад виділено три стратегії досягнення цілей, виконано моделювання цих стратегій на мережі та обрання оптимальної стратегії згідно із запропонованим інтегральним критерієм розвитку. В результаті комп'ютерного моделювання отримано ймовірнісні характеристики досягнення стратегічних цілей розвитку підприємства та визначена краща управлінська стратегія для конкретних умов його діяльності.

У подальших дослідженнях передбачається створення ефективної в обчислювальному відношенні процедури побудови байєсівських мереж на основі статистичних даних і експертних оцінок та їх застосування до оцінювання стану і прогнозування технічних та фінансово-економічних процесів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бідюк, П. І. Проектування систем підтримки прийняття рішень [Текст] / П. І. Бідюк, Л. О. Коршевніук. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – 340 с.
2. Cooper, G. F. The computational complexity of probabilistic inference using Bayesian belief networks / G. F. Cooper // *Artificial Intelligence*. – 1990. – Vol. 42, No. 2–3. – P. 393–405.
3. Dagum, P. Approximating probabilistic inference in Bayesian belief networks is NP – hard / P. Dagum, M. Luby // *Artificial Intelligence*. – 1993. – Vol. 45, P. 141–153.
4. Jensen, F. V. Paradigms of Expert Systems / F. V. Jensen // *HUGIN Expert Software System: Online Developers Guide* <http://developer.hugin.com>, 2005.
5. Jensen, F. V. Bayesian Networks Basics / F. V. Jensen // *Techn. Report, Department of Mathematics and Computer Science, Aalborg University, Denmark*. – 1996. – 12 p.
6. Zgurovsky, M. Z., Bidiuk P. I., Terentyev O. M. Method of constructing Bayesian networks based on scoring functions / *Cybernetics and System Analysis*. – 2008. – Vol. 44, No. 2. – P. 219–224.
7. Lauritzen, S. L. Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems / S. L. Lauritzen, D. J. Spiegelhalter // *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*. – 1988. – Vol. 50, No. 2. – P. 157–224.
8. Pearl, J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference / J. Pearl. – San Mateo, CA (USA): Morgan Kauffmann Publishers, Inc., 1988. – 550 p.

Стаття надійшла до редакції 29.01.2013

Бідюк П. І.<sup>1</sup>, Кожуховский А. Д.<sup>2</sup>, Кожуховская О. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Д-р техн. наук, професор, Інститут прикладного системного аналізу Національного технічного університету «КПІ», Україна

<sup>2</sup>Д-р техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, Україна

<sup>3</sup>Канд. техн. наук, ст. пр., Черкаський державний технологічний університет, Україна

### СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Предложена процедура проектирования системы поддержки принятия решений на основе сети Байеса, которая предоставляет возможность оценивать и прогнозировать состояние предприятия в условиях влияния возмущений произвольного типа и различной природы.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, байесовские сети, анализ состояния предприятия, стратегическое планирование, статистические данные.

Bidiuk P. I.<sup>1</sup>, Kozhukhivskiy A. D.<sup>2</sup>, Kozhukhivska O. A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor, doctor of technical sciences, professor, Institute of Applied System Analysis of National Technical University «KPI», Ukraine

<sup>2</sup>Professor, doctor of technical sciences, professor, Cherkassy state technological university, Ukraine

<sup>3</sup>Candidate of technical sciences, senior teacher, Cherkassy state technological university, Ukraine

### DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ANALYSIS AND FORECASTING STATE OF ENTERPRISE

Decision support system construction procedure is proposed on the basis of Bayesian network that provides a possibility for estimating and forecasting state of small business in conditions of influence of disturbances of different types and nature. Bayesian network is a powerful probabilistic instrument that is constructed on the basis of experimental data expert estimates. An example of application of the net constructed is provided that touches upon determining strategy of small business.

**Keywords:** decision support system, Bayesian networks, enterprise state estimation, strategic planning, statistical data.

### REFERENCES

1. Bidiuk P. I., Korshevniuk L.O. Proektuvania system pidtrymky pryiniatia rishen. Kyiv, NTUU «KPI», 2010, 340 p.
2. Cooper G. F. The computational complexity of probabilistic inference using Bayesian belief networks, *Artificial Intelligence*, 1990, Vol. 42, No. 2–3, pp. 393–405.
3. Dagum P., Luby M. Approximating probabilistic inference in Bayesian belief networks is NP-hard, *Artificial Intelligence*, 1993, Vol. 45, pp. 141–153.
4. Jensen F. V. Paradigms of Expert Systems, *HUGIN Expert Software System: Online Developers Guide*, <http://developer.hugin.com>, 2005.
5. Jensen F. V. Bayesian Networks Basics, *Techn. Report, Department of Mathematics and Computer Science, Aalborg University, Denmark*, 1996, 12 p.
6. Zgurovsky M. Z., Bidiuk P. I., Terentyev O. M. Method of constructing Bayesian networks based on scoring functions, *Cybernetics and System Analysis*, 2008, Vol. 44, No. 2, pp. 219–224.
7. Lauritzen S. L., Spiegelhalter D. J. Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 1988, Vol. 50, No. 2, pp. 157–224.
8. Pearl J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. San Mateo, CA (USA), Morgan Kauffmann Publishers, Inc., 1988, 550 p.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ ГРУППОВЫХ РЕШЕНИЙ

Разработана информационная технология, которая позволяет выполнять синтез методов принятия групповых решений в зависимости от множества входных данных. Выполнена формализация этапов и предложена структурная схема, описывающая взаимодействие основных элементов данной технологии. Разработанная информационная технология синтеза методов принятия групповых решений, основанная на использовании методов-адаптеров, позволяет объединять методы с различными функциональными возможностями.

**Ключевые слова:** информационная технология, методы-адаптеры, групповая система поддержки принятия решений.

### ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях большинство важных технических, экономических, социальных, политических решений принимается в процессе коллективного обсуждения. Принятие групповых решений (ПГР) предпочтительней индивидуального тем, что с увеличением сложности и объема задач один человек не может быть компетентным во всех вопросах и выполнить всю работу по выработке и реализации решения. Кроме того, отсутствие полной и точной информации, необходимой для принятия решения, приводит к тому, что выбор оптимального решения происходит именно в результате группового обсуждения руководителями, специалистами, экспертами и консультантами.

Важность ПГР, недостатки и ограничения групповой работы, необходимость согласования различных индивидуальных точек зрения привели к разработке, применению программных средств поддержки процесса ПГР.

Для повышения эффективности организации процесса ПГР предназначены групповые системы поддержки принятия решений (ГСППР). ГСППР представляют собой информационные системы, призванные обеспечить поддержку группе экспертов при решении плохо структурированных задач [1–4].

В настоящее время актуальной задачей является усовершенствование и расширение структуры математического обеспечения ГСППР [5–9] за счет использования современных информационных технологий. Это позволит повысить эффективность процесса ПГР и расширить функциональные возможности ГСППР.

Целью работы является разработка информационной технологии синтеза вариантов методов принятия групповых решений для групповых систем поддержки принятия решений.

Задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели: выполнить формализацию этапов и разработать структурную схему информационной технологии синтеза методов принятия групповых решений.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При синтезе методов ПГР [10] реализация задачи объединения различных методов в единый метод с новыми функциональными возможностями в рамках автоматизации процесса ПГР является достаточно сложной проблемой.

При синтезе методов ПГР предложено определять места несовместимости между методами-блоками [10]. Для обеспечения соответствия входных и выходных данных одних методов-блоков другим возникает необходимость разработки методов-адаптеров, которые позволяют объединять методы с различными функциональными возможностями.

Реализация механизма создания новых методов ПГР в виде информационной технологии синтеза вариантов методов ПГР приведена ниже.

### ЭТАПЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ ГРУППОВЫХ РЕШЕНИЙ

Синтез методов ПГР состоит в построении «цепочки» из готовых «строительных блоков», реализующих определенные этапы ПГР [8].

В работе предлагается информационная технология синтеза вариантов методов принятия групповых решений, которая состоит из следующих этапов:

Этап 1. Формирование базы блоков методов ПГР.

Пусть  $B_l = (Bl_1, Bl_2, \dots, Bl_{bl})$  – множество методов-кандидатов, которые сформировали базу блоков методов ПГР, где  $Bl_i$  – блок метода ПГР,  $bl$  – общее количество блоков методов ПГР.

Каждый блок метода  $Bl_i$  имеет свой идентификатор  $ID_i$  и описание (соответствие признаку).

Допустим, существует определенная структура шаблона метода, которая состоит из определенных этапов (некоторые из них могут быть необязательными). Обозначим шаблон структуры метода следующим образом  $Pattern\_method = (PM_1, PM_2, \dots, PM_{pm})$ , где  $PM_i$  – эле-

мент структуры шаблона метода ППР;  $pm$  – количество элементов в структуре шаблона метода ППР.

Этап 2. Определение множества классификационных признаков методов ППР [10]:

$$CL\_P = \{TSP, TH, M, \theta, WPO, \xi, OA\}, \quad (1)$$

где  $TSP$  – тип системы предпочтения экспертов;  $TH$  – тип иерархий;  $M$  – метод формирования матриц попарных сравнений;  $\theta$  – способ измерения предпочтений экспертов (использование различных шкал измерения);  $WPO$  – метод получения вектора приоритета;  $\xi$  – способ оценки и коррекции экспертных суждений;  $OA$  – метод синтеза итогового решения.

Классификационный признак из множества (1) соответствует блоку  $Bl_i$ . Блок  $Bl_i$  заполняет соответствующий элемент  $PM_i$  в структуре шаблоне *Pattern\_method* согласно описанию.

Этап 3. Определение маски синтеза (которая характеризует новый, еще несуществующий метод), формирование правила отбора блоков методов (применение фильтра условий к методам-кандидатам), задание  $VT$  – вектора требований к новому методу.

Этап 4. Заполнение шаблона нового метода *Pattern\_method*, выбор требуемых «строительных блоков»  $Bl_i$  согласно выдвинутым требованиям  $VT$ .

Этап 5. Определение несоответствий входных и выходных данных методов-блоков, мест несовместимости в новом методе. Предоставление рекомендаций по устранению выявленных несовместимостей и необходимости разработке соответствующих методов-адаптеров.

Этап 6. Формирование отчета с предварительным заполненным шаблоном метода с новыми функциональными возможностями.

### СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ВАРИАНТОВ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ ГРУППОВЫХ РЕШЕНИЙ

В разрабатываемой информационной технологии синтеза методов принятия групповых решений выделим такие основные блоки:

- блок формирования вариантов методов принятия групповых решений;
- база блоков методов принятия групповых решений;
- база структур шаблонов методов принятия групповых решений;
- база групповых методов анализа иерархий;
- блок формирования требований к новому методу принятия групповых решений;
- блок выявления и устранения мест несовместимости в новом методе;
- блок формирования отчетов о результатах выявления мест несовместимости в новом методе и предложений по устранению выявленных несовместимостей;
- блок разработки методов-адаптеров (позволяет объединить методы с различными функциональными возможностями).

Структурная схема, описывающая взаимодействие основных блоков разрабатываемой информационной технологии, показана на рис. 1.

### ВЫВОДЫ

В результате работы реализована информационная технология синтеза методов принятия групповых решений для групповых систем поддержки принятия решений.

Научная новизна работы состоит в том, что разработана информационная технология синтеза методов принятия групповых решений, основанная на использовании методов-адаптеров, позволяющих объединять методы с различными функциональными возможностями.

Практическая ценность работы заключается в том, что реализована информационная технология, которая содержит инструмент синтеза методов принятия групповых решений и используется для решения важной функциональной задачи моделирования синтеза нового метода принятия групповых решений для групповых систем поддержки принятия решений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Information Technology to Support Electronic Meetings [Text] / A.R. Dennis, J.F. George, L.M. Jessup, J. F. Nunamaker Jr., D.R. Vogel // MIS Quarterly. – 1988. – № 12(4). – P. 591–624.
2. Systems to Support Group Work Activities: The Past, Present, and Future [Text] / [J. F. Nunamaker Jr., A. R. Dennis, J. F. George, D. R. Vogel] // Systems Prospects. – 1989. – P. 103–108.
3. Ситник, В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень [Текст] / В. Ф. Ситник. – К. : КНЕУ, 2004. – 614 с.
4. Дубровіна, А. В. Моделювання, методи та комп'ютерні засоби підтримки прийняття групових рішень [Текст]: автореф. дис... канд. екон. наук: 08.03.02/ Дубровіна Анна Валеріївна; Київський національний економічний університет. – К. : Б/в, 2004. – 19 с.
5. Автоматизована система підтримки групових рішень [Текст] / [А. М. Петух, В. В. Войтко, С. В. Кузьмін, Н. Ф. Кузьміна] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 1. – С. 76–79.
6. Ситник, В. Ф. Проблеми моделювання рішень у групових СППР [Текст] / В. Ф. Ситник, А. В. Дубровіна // Моделювання та інформаційні системи в економіці : міжвідом. наук. зб. – К. : КНЕУ, 2002. – Вип. 68. – С. 9–14.
7. Миронова, Н. А. Архитектура групповой системы поддержки принятия решений с возможностью синтеза метода принятия групповых решений [Текст] / Н. А. Миронова, А. А. Скрипник // Системи обробки інформації. – Харків : ХУПС, 2012. – № 8 (106). – С. 33–39.
8. Помазун, О. М. Особливості побудови групової системи підтримки прийняття рішень з реінжинірингу бізнес-процесів [Текст] / О. М. Помазун // Вісник Запорізького національного університету. – 2009. – №1 (4). – С. 83–88.
9. Миронова, Н. О. Групова система підтримки прийняття рішень [Текст] / Н. О. Миронова, А. О. Скрипник, В. В. Харченко // Системи обробки інформації. Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії». – Харків : ХУПС, 2012. – № 8 (106). – С. 201–202.

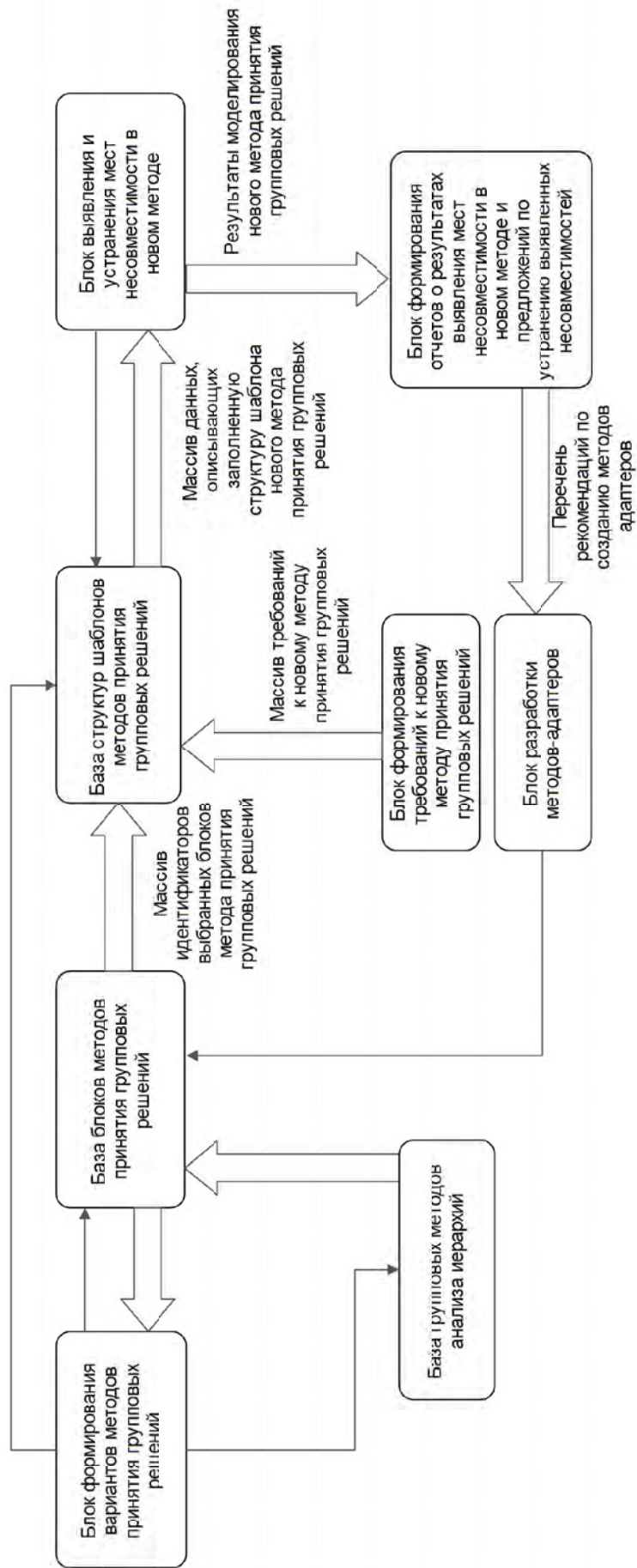


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия основных блоков информационной технологии синтеза вариантов методов ПГР



10. *Миронова, Н. А.* Метод синтеза группового решения для многокритериальных задач большой размерности [Текст] / Н. А. Миронова // *Наукові праці Донецького національ-*

ного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – Донецьк: ДВНЗ «Дон-НТУ». – 2012. – №16 (204). – С. 175–179.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2013.

Миронова Н. О.

Асистент, Запорізький національний технічний університет, Україна,

#### ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ МЕТОДІВ ПРИЙНЯТТЯ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ

Розроблено інформаційну технологію, яка дозволяє виконувати синтез методів прийняття групових рішень в залежності від множини вхідних даних. Виконано формалізацію етапів і запропоновано структурну схему, що описує взаємодію основних елементів даної технології. Розроблена інформаційна технологія синтезу методів прийняття групових рішень, заснована на використанні методів-адаптерів, та дозволяє об'єднувати методи з різними функціональними можливостями.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, методи-адаптери, групова система підтримки прийняття рішень.

Mironova N.

Assistant, Zaporizhian National Technical University, Ukraine

#### INFORMATION TECHNOLOGY FOR SYNTHESIS OF GROUP DECISION MAKING METHODS

In the paper the problem of the mechanism of implementation of new methods for group decision making is solved in the form of information technology for synthesis of group decision-making methods.

The study offers the information technology which allows the synthesis of variants of group decision-making methods depending on a set of input data. Also, formalization of phases is carried out in the study and block diagram describing the interaction of the basic elements of the technology is offered.

In addition, the information technology for synthesis of group decision making methods is developed. It is based on the methods-adapters permitting to combine variety of methods with different functionalities.

The information technology which contains a tool for synthesis of group decision-making methods is implemented and used to solve the important functional problem of simulation of the synthesis of a new group decision making method for group decision supporting systems.

**Keywords:** information technology, methods-adapters, group decision support system.

#### REFERENCES

- Dennis A. R. , George J. F., Jessup L. M., Nunamaker J. F., Jr., Vogel D.R. Information Technology to Support Electronic Meetings, *MIS Quarterly*, 1988, No. 12(4), pp. 591–624.
- Nunamaker J. F., Jr., Dennis A. R., George J. F., Vogel D. R. Systems to Support Group Work Activities: The Past, Present, and Future, *Systems Prospects*, 1989, pp. 103–108.
- Sytnyk V. F. Systemi pidtrymky pryiniattia rishen. Kiev, KNEU, 2004, 614 p.
- Dubrovina A. V. Modeliuvannia, metody ta kompiuterni zasoby pidtrymky pryiniattia hrupovykh rishen: avtoref. dys.... kand. ekon. nauk: 08.03.02, Dubrovina Anna Valeriivna; Kyivskiy natsionalnyi ekonomichnyi universytet. Kiev, B/v, 2004, 19 p.
- Pietukh A. M., Voitko V. V., Kuzmin Ye. V., Kuzmina N. F. Avtomatyzovana systema pidtrymky pryiniattia rishen, *Visnyk Vinnytskogo politekhnichnogo instytutu*, 2009, No. 1, pp. 76–79.
- Sytnyk V. F., Dubrovina A. V. Problemy modeliuvannia rishen u hrupovykh SPPR, Modeliuvannia ta informatsini systemy v ekonomitsi, mizhvidom. Nauk. zb., Kiev, KNEU, 2002, No. 68, pp. 9–14.
- Mironova N. A., Skripnik A. A. Arhitektura gruppovoy sistemy' podderzhki prinyatiya reshenij s vozmozhnost'yu sinteza metoda prinyatiya gruppovix reshenij, *Sistemy' obrabotki informacii*, Хар'ков, XUPS, 2012, No. 8(106), pp. 33–39.
- Pomazun O. M. Osoblyvosti pobudovy grupovoi systemy pidtrymky pryiniattia rishen z reinzhyniryngu biznes-protsesiv, *Visnyk Zaporizkogo natsionalnogo universytetu*, 2009, No. 1 (4), pp. 83–84.
- Myronova N. O., Skripnik A. O., Kharchenko V. V. Grupova systema pidtrymky pryiniattia rishen, Systemy obrobky informatcii, tezy dopovidei IV Mizhnarodnoi nauko-praktychnoi konferencii «Problemy i perspektivy rozvytku IT-industrii», Kharkiv, KHUPS, 2012, No. 8 (106), pp. 201–202.
- Mironova N. A. Metod sinteza gruppovogo resheniya dlya mnogokriterial'ny'x zadach bol'shoj razmernosti, *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Seriya «Informatyka, kibernetyka ta obchysliuvalna tekhnika»*, Donetsk, DVNZ «DonNTU», 2012, No.16(204), pp. 175–179.

## ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В настоящее время поиск путей совершенствования эргатических систем ведется по целому ряду направлений. В данной статье выделяется направление, связанное с переоценкой роли человеческого фактора. Настоятельная необходимость развития именно этого направления связана с тем, что для современных эргатических систем существенно изменились функциональное назначение и роль в них человека-оператора. При экспериментальном исследовании операторской деятельности используется, в большинстве случаев, метод экспериментальных оценок. При этом формирование согласованной группы экспертов является одним из решающих факторов получения достоверных данных. Для формирования такой группы экспертов в настоящей статье предложен алгоритм целенаправленного просмотра и фильтрации экспертной группы. Кроме того, в статье определены этапы экспертной оценки деятельности операторов эргатических систем и задачи, решаемые на каждом из этих этапов.

**Ключевые слова:** эргатическая система, оператор, экспертная оценка, коэффициент конкордации.

В настоящее время проблема совершенствования операторской деятельности приобрела особую остроту в современных системах управления технологическими процессами и сложными подвижными объектами, или, иными словами, в эргатических системах (ЭС). От ее решения зависит дальнейшее повышение эффективности как уже эксплуатируемых систем «человек-техника», так и вновь разрабатываемых производственно-технологических комплексов и подвижных объектов. Оператор таких систем принимает, как правило, наиболее ответственные решения, причем от правильности его действий, умения своевременно найти и реализовать верное в сложной ситуации решение, зависит не только эффективность поставленных перед ним задач, но, в ряде случаев, целостность объекта управления и безопасность людей.

При количественном или качественном описании комплекса внешних взаимосвязей человека-оператора и его внутренних процессов можно выделить следующие группы характеристик операторской деятельности в ЭС [1]:

- аппаратные;
- функциональные;
- индивидуальные;
- внешней среды;
- организационные.

Основными особенностями деятельности человека-оператора в сложных эргатических системах являются:

- человек-оператор управление объектом осуществляет с помощью органов управления, используя информационную модель;
- в процессе управления человеку-оператору приходится решать такие задачи, возникновении которых нельзя предвидеть заранее.

Так как ЭС должна обеспечивать благоприятный исход при любых воздействиях, то отсюда следует необходимость обеспечения высокой надежности оператора, характеризующейся в первую очередь, его высоким профессиональным уровнем подготовки. Под этим уровнем согласно [2] понимается способность человека-оператора выполнять определенную деятельность с определенным качеством, определенных совокупностью специальных знаний, умений и навыков.

При экспериментальном исследовании операторской деятельности используют, как правило, метод экспертных оценок [3].

В самом общем виде деятельность оператора эргатической системы можно представить циклически повторяющейся последовательностью этапов:

- восприятие информации, необходимой для выполнения профессиональных функций в эргатической системе;
- обработка полученной информации и принятие решений по реализации управляющих воздействий;
- контроль и анализ полученных результатов.

Очевидно, что конкретное содержание этих этапов, значимость решаемых оператором задач, особенности взаимодействия с другими элементами системы и внешней средой, наконец, учет индивидуальных характеристик самого оператора, в большинстве случаев, можно получить только экспериментальным путем. В частности, диапазон возможных отклонений параметров объекта управления в разных режимах работы от нормальных (эталонных) для существующей ЭС можно получить из опыта эксплуатации, а для проектируемой ЭС – имитационным моделированием с учетом опытных квалифицированных операторов, т.е. экспертных оценок.

В общем случае, использование метода экспертных оценок при экспериментальном исследовании операторской деятельности позволяет:

- осуществить научно-обоснованный выбор из всего множества функциональных характеристик человека-оператора некоторого подмножества, элементы которого в наибольшей степени информативны с точки зрения достижения целей управления;
- учесть множество факторов, для которых, по каким-либо причинам, не могут быть получены количественные оценки;
- в условиях недостаточного объема априорной информации о процессах функционирования ЭС получить статистически достоверный материал для последующего анализа и оценки состояния компонентов ЭС и, в том числе, эргатического звена;
- решить существующую проблему многозначности, многомерности и качественного различия показателей, используемых при получении обобщенных оценок эффективности операторской деятельности в ЭС.

Принимая во внимание рекомендации, содержащиеся в [4], можно определить следующие этапы проведения исследования операторской деятельности с помощью метода экспертных оценок.

I этап. Постановка задачи и определение целей исследований, формирование совокупности вопросов, которые должны быть решены в ходе исследования.

II этап. Формирование группы подготовки проведения экспертизы для подготовки опросных таблиц, методов опроса и так далее. Организаторами экспертизы решается вопрос выбора уровня детализации при заданном подмножестве оцениваемых экспертами показателей.

III этап. Формирование экспертной группы для проведения опроса. Проведение опроса по специальным анкетам одним из выбранных методов опроса [3].

Формирование группы экспертов с высоким коэффициентом конкордации является одной из наиболее сложных и ответственных задач, стоящих перед организаторами экспертизы и требующих особо тщательного рассмотрения. Это связано с опасностью потери оригинальных суждений эксперта с одной стороны, и с другой – наличием маскирующего эффекта слабых экспертов, что естественно значительно снижает качество экспертизы. Ниже предлагается алгоритм выявления слабых экспертов, основанный на использовании коэффициента конкордации. Он заключается в следующем:

Шаг 1. Формируется опорное множество экспертов  $M_0$ .

Шаг 2. Рассчитывается коэффициент конкордации  $W(M_0)$  для опорного множества экспертов.

Шаг 3. Строится множество экспертов  $M_0(i)$ , получающееся из опорного удалением  $i$ -го эксперта.

Шаг 4. Рассчитывается коэффициент конкордации  $W[M_0(i)]$  для множества  $M_0(i)$ .

Шаг 5. При выполнении неравенства  $|W[M_0(i)] - W(M_0)| \geq \delta$   $i$ -й эксперт исключается из опорного множества  $M_0(i)$ .

Шаг 6. Число  $M'_0$  оставшихся в опорном множестве экспертов сравнивают с критическим  $M_K$  и, при  $M'_0 \leq M_K$ , множество  $M'_0$  становится опорным, а  $i$  принимает новое значение. После этого переход к шагу 3. В противном случае работа алгоритма закончена. Величина  $M_K$  не может быть выбрана формальными методами, ее значение выбирается эвристически в каждом конкретном случае.

Для расчета коэффициента конкордации и оценки его значимости используем алгоритм, предложенный в [4]:

Шаг 1. Производится ранжирование оценок данных экспертами и формируется матрица  $X$ , где  $x_{ij}$  – ранг присвоенный  $j$ -м экспертом  $i$ -й характеристике.

Шаг 2. Определяется сумма рангов по каждой характеристике, полученная от всех  $m$  экспертов

$$s_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} \quad (i = \overline{1, n}). \quad (1)$$

Шаг 3. Вычисляется сумма разностей между членами суммарной ранжировки и членами ряда, составленного из средних значений  $a = 0,5m(n+1)$

$$S = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^m x_{ij} - 0,5m(n+1) \right\}^2. \quad (2)$$

Шаг 4. Если в ранжировках присутствуют совпадающие ранги, коэффициент конкордации вычисляется по формуле

$$W = S / \left[ \frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n (t_i^2 - t_i) \right], \quad (3)$$

где  $t_i$  – число повторений  $i$ -го ранга в  $j$ -м ряду. В противном случае коэффициент конкордации вычисляется по формуле

$$W = 12S / m^2 (n^3 - n). \quad (4)$$

Шаг 5. Определяется число степеней свободы  $\nu = n - 1$ .

Шаг 6. Если в ранжировках присутствуют совпадающие ранги, значение  $\chi^2_{\text{расч.}}$  вычисляется по формуле

$$\chi^2_{\text{расч.}} = S / \left[ \frac{1}{2} mn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n (t_i^3 - t_i) \right], \quad (5)$$

а в противном случае

$$\chi^2_{\text{расч.}} = mW(n-1). \quad (6)$$

Шаг 7. Для данного числа степеней свободы и уровня доверительной вероятности  $p = 1 - \delta$  находим табличное значение  $\chi_{\text{табл}}$ . Если  $\chi_{\text{расч.}}^2 > \chi_{\text{табл.}}^2$ , найденное значение  $W$  считаем значимым.

IV этап. Анализ и обработка информации, полученной от экспертов с целью принятия решения по поставленной задаче.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, становятся ясными проблемы научно обоснованного построения эргатических систем. И эти проблемы, в первую очередь, требуют системного анализа деятельности в них человека-оператора, без которого сам процесс создания эргатических систем становится неуправляемым и, как правило, консервативным, т. е. придерживающимся апробированных ранее решений. В этом смысле экспертная оценка деятельности оператора эргатических систем

является хорошим инструментарием согласования вопросов взаимодействия человека с техникой в эргатических системах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губинский, А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем / А. И. Губинский. – Л. : Наука, 1982. – 270 с.
2. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов ЛА / Под ред. Шукшунова В. Е. – М. : Машиностроение, 1986. – 240 с.
3. Бешелев, С. Л. Математические методы экспертных оценок / С. Л. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.
4. Зайцев, В. С. Системный анализ операторской деятельности / В. С. Зайцев. – М. : Радио и связь, 1990. – 120 с.

Стаття надійшла до редакції 24.01.2013.

Стенін О. А.<sup>1</sup>, Губський А. М.<sup>2</sup>, Польшакова О. М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет України «КПІ», Україна

<sup>2</sup>Аспірант кафедри технічної кібернетики, Національний технічний університет України «КПІ», Україна

<sup>3</sup>Старший викладач кафедри технічної кібернетики, Національний технічний університет України «КПІ», Україна

#### ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРІВ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ

В даний час пошук шляхів вдосконалення ергатичних систем ведеться по цілій низці напрямків. У даній статті виділяється напрямок, пов'язаний з переоцінкою ролі людського фактора. Нагальна необхідність розвитку саме цього напрямку пов'язана з тим, що для сучасних ергатичних систем істотно змінилися функціональне призначення та роль в них людини-оператора. При експериментальному дослідженні операторської діяльності використовується, в більшості випадків, метод експериментальних оцінок. При цьому формування узгодженої групи експертів є одним з вирішальних чинників отримання достовірних даних. Для формування такої групи експертів у цій статті запропоновано алгоритм цілеспрямованого перегляду та фільтрації експертної групи. Крім того, у статті визначено етапи експертної оцінки діяльності операторів ергатичних систем і завдання, які вирішуються на кожному з цих етапів.

**Ключові слова:** ергатична система, оператор, експертна оцінка, коефіцієнт конкордації.

Stenin A. A.<sup>1</sup>, Gubskiy A. N.<sup>2</sup>, Polshakova O. N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dr. Sc. Science, Professor, National Technical University of Ukraine «KPI», Ukraine

<sup>2</sup>Graduate student, National Technical University of Ukraine «KPI», Ukraine

<sup>3</sup>Senior Lecturer, National Technical University of Ukraine «KPI», Ukraine

#### EXPERT EVALUATION OF THE ERGATIC SYSTEMS OPERATORS ACTIVITY

At present time, search for ways of improving ergatic systems is going on several fronts. The article highlights the direction related to the reevaluation of the role of the human factor. The urgent need for the development of this trend is due to the fact that for modern ergatic systems the function and role of human operator in them have changed. In the experimental study of the operators, in most cases, the method of experimental evaluations works. The formation of a coherent group of experts is one of the crucial factors to obtain reliable data. In this paper order to form such a group of experts an algorithm of focused view and filtration of the expert group was proposed. Furthermore, the article defines the stages of the peer review for ergatic system operators and tasks at each of these stages.

**Keywords:** ergatic system operator, expert evaluation, coefficient of concordance.

#### REFERENCES

1. Gubinskij A. I. Nadezhnost' i kachestvo funkcionirovaniya ergaticheskikh sistem. Leningrad, Nauka, 1982, 270 p.
2. Shukshunova V. E. : pod red. Avtomatizirovannye obuchajushhie sistemy professional'noj podgotovki operetorov LA. Moscow, Mashinostroenie, 1986, 240 p.
3. Beshelev S. L., Gurvich F. G. Matematicheskie metody jekspertnyh ocenok. Moscow, Statistika, 1980, 263 p.
4. Zajcev V. S. Sistemnyj analiz operatorskoj dejatel'nosti. Moscow, Radio i svjaz', 1990, 120 p.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ

Получены аналитические зависимости, определяющие минимально необходимое количество чувствительных элементов в избыточном измерителе. Сформированы критерии, выполнение которых обеспечивает функциональную устойчивость при однократном полном отказе одного из чувствительных элементов. Показаны ограничения и преимущества использования функционально устойчивого измерительного блока с минимальной структурной избыточностью.

**Ключевые слова:** спутниковая система стабилизации и ориентации, функциональная устойчивость, измерительный блок, акселерометр, датчик угловых скоростей, отказ.

Высокая точность угловой ориентации и стабилизации спутника может быть обеспечена только в условиях поддержания работоспособного состояния измерителей параметров движения на протяжении всего времени выполнения космической миссии [1]. Для этого необходимо обеспечить измерители параметров движения спутниковых систем стабилизации и ориентации (ССО) функциональной устойчивостью, заключающейся в способности функционального элемента выполнять свои функции с требуемыми показателями качества при наличии нештатных ситуаций, связанных с появлением различного вида дестабилизирующих факторов. Достижение функциональной устойчивости блока, измеряющего состояние объекта, может быть обеспечено путем наделения его способностью самодиагностирования и восстановления [1–3].

В основе такой интеллектуализации лежит системный подход к обеспечению функциональной устойчивости, предложенный в работах [4–8] и использующий принцип самоорганизации и комплексного применения различных средств для сохранения работоспособности при отказах функциональных элементов. Рассматриваемый подход предполагает декомпозировать процесс на два этапа и перейти от пассивной формы обеспечения функциональной устойчивости при появлении нештатных ситуаций к активной, позволяющей парировать появляющиеся отказы, используя при этом все возможные избыточные ресурсы, что не возможно при использовании алгоритмического [9] и структурного [10] подходов.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Так как измерители параметров движения принадлежат к объектам с неизвестным входом, в качестве средства, обеспечивающего выполнение критерия структурной диагностируемости, предлагается введение структурной избыточности. Одним из примеров введения структурной избыточности является мажоритарная схе-

ма включения чувствительных элементов (ЧЭ) – три акселерометра и три датчика угловой скорости по каждой оси системы координат, связанной с малым космическим аппаратом (МКА). Указанная схема обеспечивает полную диагностируемость с глубиной до места отказа, однако, введение чрезмерного количества ЧЭ приводит к увеличению массы, габаритов, энергопотребления и стоимости.

Таким образом, исследования, описанные в данной статье, направлены на формирования минимально избыточных измерительных систем, обеспечивающих выполнение следующих условий:

1) количество измерителей должно обеспечивать выполнение критерия структурной диагностируемости измерительного блока;

2) для решения задач диагностирования и восстановления с целью минимизации погрешностей измерения необходимо использовать информацию, получаемую в диагностируемом измерительном блоке от однотипных датчиков, имеющих одинаковые характеристики по точности, без привлечения внешних измерителей;

3) избыточность не должна влиять на основные функциональные задачи, решаемые диагностируемой измерительной системой;

4) уровень обеспечения функциональной устойчивости измерительной системы избыточной структуры должен быть не ниже уровня мажоритарной схемы.

### АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БЛОКА С МАЖОРИТАРНЫМ ПРИНЦИПОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Рассмотрим измерительную систему, предназначенную для измерения вектора кажущегося ускорения, построенную на акселерометрах. Для определения абсолютного значения этого вектора при пространственном движении необходимо измерение трех проекций на соответствующие оси выбранной системы координат. Если

подходить к вопросу решения задачи обеспечения отказоустойчивости выбранной измерительной системы с позиции теории надежности, то для выполнения гипотезы работы системы при однократном отказе необходимо трехкратное резервирование датчиков по соответствующим осям базовой системы координат. Для более жестких гипотез, связанных с обеспечением работоспособности при двукратных отказах, подобный подход приводит к увеличению соответствующих измерителей, количество которых определяется следующей зависимостью:

$$N = 1 + 2v,$$

где  $N$  – необходимое количество измерителей в мажоритарной схеме для реализуемости выполнения гипотезы  $v$ -кратного возникновения отказа.

На рис. 1. представлена компоновочная схема акселерометров для случая однократного парирования отказов.

Предложенная компоновка представляет собой избыточный измеритель векторной величины, в данном случае вектора ускорения. Под *избыточным векторным измерителем* понимается измеритель, состоящий из одностепенных измерителей, количество которых превышает минимальное число измерителей, необходимых для измерения вектора. Одной из основных характеристик такого измерителя является избыточность, определяемая следующей зависимостью:

$$m = N - N_0,$$

где  $N$  – общее число измерителей;  $N_0$  – минимальное число измерителей для измерения векторной величины (для рассматриваемого случая  $N_0=3$ ).

В общем случае минимальное число векторов, образующих измерительный базис в трехмерном пространстве, равно трем. Таким образом, для измерения векторной величины в не избыточном варианте, необходимо реализовать измерительный базис, образуемый системой трех векторов, связанных с осями чувствительности измерителей. Три одностепенных измерителя, оси чувствительности которых неколлинеарные и не имеют трех компланарных осей чувствительности, образуют вектор-

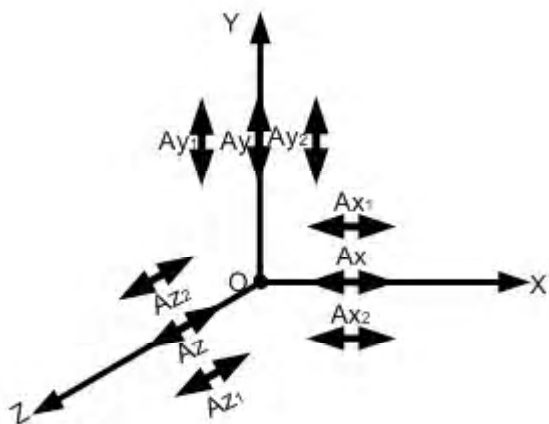


Рис. 1. Компоновочная схема акселерометров при трехкратном резервировании измерителей параметров движения

ный измеритель. При резервировании измерителей (рис. 1) отдельные группы измерителей имеют коллинеарное направление осей чувствительности, поэтому векторы, связанные с этими осями чувствительности, являются линейно зависимыми. Таким образом, несколько резервированных в одном направлении измерителей не могут входить в избыточный векторный измеритель. Число избыточных векторных измерителей, которые можно сформировать в этом случае, определяется сле-

дующей зависимостью:  $N_p = \prod_{i=1}^{N_0} P_i$ , где  $P_i$  – число резер-

вированных измерителей в одном направлении.

Так как для рассматриваемого случая (рис. 1) кратность резервирования в каждом направлении одинакова, то число избыточных векторных измерителей можно опреде-

лить из следующей зависимости:  $N_p = N_0^{N/N_0} = 3^{9/3} = 27$ .

При условии, что все оси чувствительности  $N$  датчиков ориентированы таким образом, что совпадающие с этими осями единичные векторы неколлинеарные, то число избыточных векторных измерителей, которые можно сформировать в этом случае, определяется по следующей зави-

симости:  $N_{II} = C_N^{N_0} = \frac{N!}{N_0!(N - N_0)!} = \frac{9!}{3!(9 - 3)!} = 84$ .

Таким образом, исследования показывают, что наиболее эффективно избыточность может быть использована, если обеспечивается линейная независимость всех единичных векторов, связанных с ориентацией осей чувствительности одностепенных измерителей. В этом случае имеется наибольшая возможность замены отказавшего избыточного векторного измерителя исправным, либо возможностью формирования наибольшего числа избыточных векторных измерителей:  $N_{II} > N_p$ .

Различные варианты расположения одноосных измерителей показывают, что применяемые мажоритарные схемы не позволяют рационально использовать введенные виды избыточностей для парирования более одного отказа по соответствующей измерительной оси. Выполнение условия неколлинеарного расположения осей чувствительности позволяет обеспечить количество измерительных базисов, соответствующее четырехкрат-

ному резервированию ( $N_p = N_0^{N/N_0} = 3^{12/3} = 81$ ) при том же количестве измерителей.

Анализ результатов определения измерительных базисов так же указывает на тот факт, что увеличение числа измерительных базисов приводит к увеличению обрабатываемой информации, что, в свою очередь, приводит к не всегда оправданной дополнительной нагрузке вычислителя, а в некоторых случаях такая загрузка вообще не допустима. Таким образом, необходимо сформировать условия, обеспечивающие выполнение предлагаемых критериев.

**ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО  
УСТОЙЧИВОГО БЛОКА ИЗМЕРИТЕЛЕЙ  
ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ С МИНИМАЛЬНОЙ  
СТРУКТУРНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ**

Рассмотрим случай трехмерного движения объекта. Несложно показать, что минимально необходимое количество измерителей должно определяться следующим тождеством:

$$N = n + 2, \tag{1}$$

где  $n$  – количество степеней свободы по измеряемому параметру;  $N$  – минимально необходимое количество измерителей, обеспечивающих глубокое диагностирование при  $n$  степенях свободы.

Из условия (1) следует, что минимально необходимое количество акселерометров  $N = 5$ . В серии статей [11–13] показано, что не выполнение условия (1) позволяет формировать компоновки, позволяющие помимо выполнения основных функций решать задачи определения момента времени возникновения отказа, а также частично снимать неопределенность, связанную с местом, классом и видом отказа.

Для обеспечения полной диагностируемости отказов необходимо выполнение условия по количеству измерителей, а также необходимо для дополнительных и основных измерителей сформировать требования по их расположению.

Рассмотрим вариант произвольной компоновки пяти акселерометров. Для случая пяти датчиков линейных ускорений, пренебрегая произведениями  $\omega_x \omega_y$ ,  $\omega_x \omega_z$ ,  $\omega_y \omega_z$ , получена система уравнений, описывающая значения напряжений на выходе соответствующих измерителей:

$$\begin{aligned} \tilde{U}_1(t) = & a_x(t) \cos \alpha_1 + a_y(t) \cos \beta_1 + a_z(t) \cos \gamma_1 - \\ & - R_1 \left[ \left\{ \omega_x^2(t) \sin^2 \alpha_1 + \omega_y^2(t) \sin^2 \beta_1 + \omega_z^2(t) \sin^2 \gamma_1 \right\} \right]; \tag{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{U}_2(t) = & a_x(t) \cos \alpha_2 + a_y(t) \cos \beta_2 + a_z(t) \cos \gamma_2 - \\ & - R_2 \left[ \left\{ \omega_x^2(t) \sin^2 \alpha_2 + \omega_y^2(t) \sin^2 \beta_2 + \omega_z^2(t) \sin^2 \gamma_2 \right\} \right]; \tag{3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{U}_3(t) = & a_x(t) \cos \alpha_3 + a_y(t) \cos \beta_3 + a_z(t) \cos \gamma_3 - \\ & - R_3 \left[ \left\{ \omega_x^2(t) \sin^2 \alpha_3 + \omega_y^2(t) \sin^2 \beta_3 + \omega_z^2(t) \sin^2 \gamma_3 \right\} \right]; \tag{4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{U}_4(t) = & a_x(t) \cos \alpha_4 + a_y(t) \cos \beta_4 + a_z(t) \cos \gamma_4 - \\ & - R_4 \left[ \left\{ \omega_x^2(t) \sin^2 \alpha_4 + \omega_y^2(t) \sin^2 \beta_4 + \omega_z^2(t) \sin^2 \gamma_4 \right\} \right]; \tag{5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{U}_5(t) = & a_x(t) \cos \alpha_5 + a_y(t) \cos \beta_5 + a_z(t) \cos \gamma_5 - \\ & - R_5 \left[ \left\{ \omega_x^2(t) \sin^2 \alpha_5 + \omega_y^2(t) \sin^2 \beta_5 + \omega_z^2(t) \sin^2 \gamma_5 \right\} \right]; \tag{6} \end{aligned}$$

где  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, i = \overline{1,5}$  – углы, определяющие расположения оси чувствительности соответствующего акселерометра относительно осей измерительной системы координат;  $R_i, i = \overline{1,5}$  – расстояние от начала координат до соответствующего акселерометра  $a_x(t), a_y(t), a_z(t)$  – проекции кажущихся ускорений на оси чувствительности акселерометров;  $\omega_x(t), \omega_y(t), \omega_z(t)$  – проекции вектора угловой скорости вращения на соответствующие оси измерительной системы координат.

В векторно-матричном виде полученная система уравнений (2)–(6), примет вид:

$$U(t) = C\bar{A}(t) - R\Omega(t), \tag{7}$$

где  $U(t) = [U_1(t) \ U_2(t) \ U_3(t) \ U_4(t) \ U_5(t)]^T$  – вектор напряжений на выходах акселерометров;

$$C = \begin{bmatrix} \cos \alpha_1 & \cos \beta_1 & \cos \gamma_1 \\ \cos \alpha_2 & \cos \beta_2 & \cos \gamma_2 \\ \cos \alpha_3 & \cos \beta_3 & \cos \gamma_3 \\ \cos \alpha_4 & \cos \beta_4 & \cos \gamma_4 \\ \cos \alpha_5 & \cos \beta_5 & \cos \gamma_5 \end{bmatrix} - \text{матрица направляющих}$$

косинусов, определяющих положения осей чувствительности соответствующих акселерометров;

$\bar{A}(t) = [a_x(t) \ a_y(t) \ a_z(t)]^T$  – вектор измеряемого ус-

$$\text{корения; } R = \begin{bmatrix} R_1 \sin^2 \alpha_1 & R_1 \sin^2 \beta_1 & R_1 \sin^2 \gamma_1 \\ R_2 \sin^2 \alpha_2 & R_2 \sin^2 \beta_2 & R_2 \sin^2 \gamma_2 \\ R_3 \sin^2 \alpha_3 & R_3 \sin^2 \beta_3 & R_3 \sin^2 \gamma_3 \\ R_4 \sin^2 \alpha_4 & R_4 \sin^2 \beta_4 & R_4 \sin^2 \gamma_4 \\ R_5 \sin^2 \alpha_5 & R_5 \sin^2 \beta_5 & R_5 \sin^2 \gamma_5 \end{bmatrix} -$$

матрица, характеризующая расположение акселерометра относительно начала координат базовой системы коор-

динат;  $\Omega(t) = [\omega_x^2(t) \ \omega_y^2(t) \ \omega_z^2(t)]^T$  – вектор-столбец, характеризующий влияние угловых скоростей на показания акселерометров.

Выполним декомпозицию системы уравнений (7) на две подсистемы:

$$U'(t) = C'A(t) - R'\Omega(t); U'(t) = [U_1(t) \ U_2(t) \ U_3(t)]^T; \tag{8}$$

$$U''(t) = C''A(t) - R''\Omega(t); U''(t) = [U_4(t) \ U_5(t)]^T, \tag{9}$$

где

$$C' = \begin{bmatrix} \cos \alpha_1 & \cos \beta_1 & \cos \gamma_1 \\ \cos \alpha_2 & \cos \beta_2 & \cos \gamma_2 \\ \cos \alpha_3 & \cos \beta_3 & \cos \gamma_3 \end{bmatrix}; C'' = \begin{bmatrix} \cos \alpha_4 & \cos \beta_4 & \cos \gamma_4 \\ \cos \alpha_5 & \cos \beta_5 & \cos \gamma_5 \end{bmatrix} -$$

матрицы направляющих косинусов усеченных систем;

$$R' = \begin{bmatrix} R_1 \sin^2 \alpha_1 & R_1 \sin^2 \beta_1 & R_1 \sin^2 \gamma_1 \\ R_2 \sin^2 \alpha_2 & R_2 \sin^2 \beta_2 & R_2 \sin^2 \gamma_2 \\ R_3 \sin^2 \alpha_3 & R_3 \sin^2 \beta_3 & R_3 \sin^2 \gamma_3 \end{bmatrix};$$

$$R'' = \begin{bmatrix} R_4 \sin^2 \alpha_4 & R_4 \sin^2 \beta_4 & R_4 \sin^2 \gamma_4 \\ R_5 \sin^2 \alpha_5 & R_5 \sin^2 \beta_5 & R_5 \sin^2 \gamma_5 \end{bmatrix} - \text{матри-$$

цы, характеризующие расположение акселерометров относительно начала координат базовой системы координат.

Выполнив ряд преобразований с (7), получим:

$$A_i(t) = U_i(t) + R_i \left[ \omega_x^2(t) \sin^2 \alpha_i + \omega_y^2(t) \sin^2 \beta_i + \omega_z^2(t) \sin^2 \gamma_i \right], \quad (10)$$

где  $A_i(t) = a_x(t) \cos \alpha_i + a_y(t) \cos \beta_i + a_z(t) \cos \gamma_i; i = \overline{1,5}$ .

В результате преобразования системы (9), получено:

$$\begin{aligned} \tilde{U}_4(t) = & \frac{1}{D} (D_x(t) \cos \alpha_4 + D_y(t) \cos \beta_4 + D_z(t) \cos \gamma_4) - \\ & - R_4 \left[ \omega_x^2(t) \sin^2 \alpha_4 + \omega_y^2(t) \sin^2 \beta_4 + \omega_z^2(t) \sin^2 \gamma_4 \right], \quad (11) \end{aligned}$$

где

$$D = \begin{vmatrix} \cos \alpha_1 & \cos \beta_1 & \cos \gamma_1 \\ \cos \alpha_2 & \cos \beta_2 & \cos \gamma_2 \\ \cos \alpha_3 & \cos \beta_3 & \cos \gamma_3 \end{vmatrix};$$

$$D_x(t) = \begin{vmatrix} A_1(t) & \cos \beta_1 & \cos \gamma_1 \\ A_2(t) & \cos \beta_2 & \cos \gamma_2 \\ A_3(t) & \cos \beta_3 & \cos \gamma_3 \end{vmatrix};$$

$$D_y = \begin{vmatrix} \cos \alpha_1 & A_1(t) & \cos \gamma_1 \\ \cos \alpha_2 & A_2(t) & \cos \gamma_2 \\ \cos \alpha_3 & A_3(t) & \cos \gamma_3 \end{vmatrix};$$

$$D_z = \begin{vmatrix} \cos \alpha_1 & \cos \beta_1 & A_1(t) \\ \cos \alpha_2 & \cos \beta_2 & A_2(t) \\ \cos \alpha_3 & \cos \beta_3 & A_3(t) \end{vmatrix}.$$

Первое слагаемое уравнения (11) представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} D_x(t) \cos \alpha_4 + D_y(t) \cos \beta_4 + D_z(t) \cos \gamma_4 = \\ = A_1(t) B_1 + A_2(t) B_2 + A_3(t) B_3, \quad (12) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} B_1 = & \cos \alpha_4 (\cos \beta_2 \cos \gamma_3 - \cos \beta_3 \cos \gamma_2) + \cos \beta_4 \times \\ & \times (\cos \alpha_3 \cos \gamma_2 - \cos \alpha_2 \cos \gamma_3) + \\ & + \cos \gamma_4 (\cos \alpha_2 \cos \beta_3 - \cos \beta_2 \cos \alpha_3); \quad (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_2 = & \cos \alpha_4 (\cos \gamma_1 \cos \beta_3 - \cos \beta_1 \cos \gamma_3) + \cos \beta_4 \times \\ & \times (\cos \alpha_1 \cos \gamma_3 - \cos \gamma_1 \cos \alpha_3) + \\ & + \cos \gamma_4 (\cos \alpha_2 \cos \beta_3 - \cos \beta_2 \cos \alpha_3); \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_3 = & \cos \alpha_4 (\cos \beta_1 \cos \gamma_2 - \cos \beta_2 \cos \gamma_1) + \cos \beta_4 \times \\ & \times (\cos \alpha_2 \cos \gamma_1 - \cos \alpha_1 \cos \gamma_2) + \\ & + \cos \gamma_4 (\cos \alpha_1 \cos \beta_2 - \cos \beta_1 \cos \alpha_2). \quad (15) \end{aligned}$$

С использованием выражения (13)–(15) уравнение (11) примет вид:

$$\tilde{U}_4(t) = \frac{1}{D} \{ U_1(t) B_1 + U_2(t) B_2 + U_3(t) B_3 +$$

$$\begin{aligned} & + \omega_x^2(t) [R_1 B_1 \sin^2 \alpha_1 + B_2 R_2 \sin^2 \alpha_2 + B_3 R_3 \sin^2 \alpha_3] + \\ & + \omega_y^2(t) [B_1 R_1 \sin^2 \beta_1 + B_2 R_2 \sin^2 \beta_2 + B_3 R_3 \sin^2 \beta_3] + \\ & + \omega_z^2(t) [B_1 R_1 \sin^2 \gamma_1 + B_2 R_2 \sin^2 \gamma_2 + B_3 R_3 \sin^2 \gamma_3] \} + \\ & + R_4 \left[ \omega_x^2(t) \sin^2 \alpha_4 - \omega_y^2(t) \sin^2 \beta_4 - \omega_z^2(t) \sin^2 \gamma_4 \right]. \quad (16) \end{aligned}$$

$$\tilde{U}_4(t) = \frac{B_1}{D} U_1(t) + \frac{B_2}{D} U_2(t) + \frac{B_3}{D} U_3(t) +$$

$$\begin{aligned} & + \frac{\omega_x^2(t)}{D} [R_1 B_1 \sin^2 \alpha_1 + R_2 B_2 \sin^2 \alpha_2 + B_3 R_3 \sin^2 \alpha_3 - D R_4 \sin^2 \alpha_4] + \\ & + \frac{\omega_y^2(t)}{D} [B_1 R_1 \sin^2 \beta_1 + B_2 R_2 \sin^2 \beta_2 + B_3 R_3 \sin^2 \beta_3 - D R_4 \sin^2 \beta_4] + \\ & + \frac{\omega_z^2(t)}{D} [B_1 R_1 \sin^2 \gamma_1 + B_2 R_2 \sin^2 \gamma_2 + B_3 R_3 \sin^2 \gamma_3 - D R_4 \sin^2 \gamma_4]. \quad (17) \end{aligned}$$

$$\tilde{U}_5(t) = \frac{C_1}{D} U_1(t) + \frac{C_2}{D} U_2(t) + \frac{C_3}{D} U_3(t) +$$

$$\begin{aligned} & + \frac{\omega_x^2(t)}{D} [C_1 R_1 \sin^2 \alpha_1 + C_2 R_2 \sin^2 \alpha_2 + C_3 R_3 \sin^2 \alpha_3 - D R_5 \sin^2 \alpha_5] + \\ & + \frac{\omega_y^2(t)}{D} [C_1 R_1 \sin^2 \beta_1 + C_2 R_2 \sin^2 \beta_2 + C_3 R_3 \sin^2 \beta_3 - D R_5 \sin^2 \beta_5] + \\ & + \frac{\omega_z^2(t)}{D} [C_1 R_1 \sin^2 \gamma_1 + C_2 R_2 \sin^2 \gamma_2 + C_3 R_3 \sin^2 \gamma_3 - D R_5 \sin^2 \gamma_5]. \quad (18) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} C_1 = & \cos \alpha_5 (\cos \beta_2 \cos \gamma_3 - \cos \beta_3 \cos \gamma_2) + \cos \beta_5 (\cos \alpha_3 \times \\ & \times \cos \gamma_2 - \cos \alpha_2 \cos \gamma_3) + \cos \gamma_5 (\cos \alpha_2 \cos \beta_3 - \cos \beta_2 \cos \alpha_3); \\ C_2 = & \cos \alpha_5 (\cos \gamma_1 \cos \beta_3 - \cos \beta_1 \cos \gamma_3) + \cos \beta_5 (\cos \alpha_1 \times \\ & \times \cos \gamma_3 - \cos \gamma_1 \cos \alpha_3) + \cos \gamma_5 (\cos \beta_1 \cos \alpha_3 - \cos \alpha_1 \cos \beta_3); \\ C_3 = & \cos \alpha_5 (\cos \beta_1 \cos \gamma_2 - \cos \beta_2 \cos \gamma_1) + \cos \beta_5 (\cos \alpha_2 \times \\ & \times \cos \gamma_1 - \cos \alpha_1 \cos \gamma_2) + \cos \gamma_5 (\cos \alpha_1 \cos \beta_2 - \cos \beta_1 \cos \alpha_2). \end{aligned}$$



Полученные аналитические зависимости позволяют сформировать условия полной структурной диагностируемости блока акселерометров без привлечения дополнительных внешних датчиков:

$$\begin{aligned} B_1 R_1 \sin^2 \alpha_1 + B_2 R_2 \sin^2 \alpha_2 + B_3 R_3 \sin^2 \alpha_3 &= DR_4 \sin^2 \alpha_4; \\ B_1 R_1 \sin^2 \beta_1 + B_2 R_2 \sin^2 \beta_2 + B_3 R_3 \sin^2 \beta_3 &= DR_4 \sin^2 \beta_4; \\ B_1 R_1 \sin^2 \gamma_1 + B_2 R_2 \sin^2 \gamma_2 + B_3 R_3 \sin^2 \gamma_3 &= DR_4 \sin^2 \gamma_4; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} C_1 R_1 \sin^2 \alpha_1 + C_2 R_2 \sin^2 \alpha_2 + C_3 R_3 \sin^2 \alpha_3 &= DR_5 \sin^2 \alpha_5; \\ C_1 R_1 \sin^2 \beta_1 + C_2 R_2 \sin^2 \beta_2 + C_3 R_3 \sin^2 \beta_3 &= DR_5 \sin^2 \beta_5; \\ C_1 R_1 \sin^2 \gamma_1 + C_2 R_2 \sin^2 \gamma_2 + C_3 R_3 \sin^2 \gamma_3 &= DR_5 \sin^2 \gamma_5; \end{aligned} \quad (20)$$

Результаты проведенных исследований позволяют сформулировать требования к формированию измерительного блока, позволяющего обеспечить его диагностирование с глубиной до вида отказа:

1. Минимально необходимое количество измерителей должно определяться следующим тождеством:  $N = n + 2$ , где  $n$  – количество степеней свободы по измеряемому параметру;  $N$  – минимально необходимое количество измерителей, обеспечивающих глубокое диагностирование при  $n$  степенях свободы.

2. Измерители необходимо компоновать относительно осей измерительной системы координат таким образом, чтобы выполнялось равенство:  $L = N$  и

$\Delta_i \neq 0, \forall i = 1, C_N^n$ , где  $L$  – количество линейно независимых строк матрицы (матрица направляющих косинусов).

3. Располагать  $i$ -е дополнительные датчики необходимо таким образом, чтобы выполнялись условия (19)–(20).

Выполнение полученных условий позволяет сформировать множество вариантов расположения акселерометров, обеспечивающих полную диагностируемость блока измерителей с глубиной до вида отказа. Выбор варианта из сформированного множества определяется удобством применения того или иного способа или другими дополнительными ограничениями.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили определить аналитическую зависимость, определяющую минимально необходимое количество чувствительных элементов в избыточном измерителе. Кроме того, были определены критерии, выполнение которых обеспечивает функциональную устойчивость при однократном полном отказе одного из чувствительных элементов избыточного измерителя на уровне классической мажоритарной схемы. Отметим, что относительно одной оси мажоритарная схема позволяет парировать только однократный отказ, причем не осуществляется классификация возникшего отказа на отказы и дефекты (в некоторой литературе дефекты называют частичными отказами), что не позволяет в полной мере использовать заложенную структурную избыточность мажоритарной схемы. Недостаток использования функционально устойчивого измерительного блока с минимальной структурной избыточностью заключается в том, что в таком измерителе осуществля-

ется парирование одного полного отказа независимо от отказавшего, а неоспоримым преимуществом такого измерителя является тот факт, что применением определенных алгоритмических схем обеспечивается компенсация многократных частичных отказов чувствительных элементов, при условии, что эти отказы возникают не более, чем в двух чувствительных элементах. Для устранения недостатка парирования только одного полного отказа в избыточном измерителе, необходимо введение дополнительной структурной избыточности. Для выполнения условия парирования многократных отказов зависимость, определяющая необходимое количество чувствительных элементов, примет следующий вид:

$$N = n + 2k, \quad (21)$$

где  $k$  – кратность возникающих полных отказов чувствительных элементов.

Для мажоритарной схемы зависимость (21) будет иметь следующий вид:

$$N = n + 6k. \quad (22)$$

Для случая возникновения только внезапных отказов зависимость (21) преобразуется в следующее равенство:

$$N = n + k. \quad (23)$$

Второе условие не зависит от количества измерителей в измерительном базисе, а его выполнение определяется только расположением осей чувствительности измерителей в блоке. Нетрудно показать, например, для случая трехкратного возникновения отказов для избыточного измерителя ускорения без учета влияния на показания акселерометров вращения, один из вариантов приемлемого расположения чувствительных элементов – это вариант расположения акселерометров по поверхности конуса. Если условия расположения акселерометров таковы, что необходимо учитывать влияние вращения, то исходя из второго условия и требований к обеспечению функциональной устойчивости к определенной кратности полных отказов, определяется такое расположение избыточного числа измерителей в блоке, которое обеспечивает выполнение необходимого условия обеспечения функциональной устойчивости.

Таким образом, в результате проведенного исследования предложены аналитические средства для определения количества избыточных измерителей и описания их расположения в блоке. Применение этих средств позволило сформировать избыточные конструкции измерителей, удовлетворяющие критериям сигнальной и структурной диагностируемости и позволяющие восстанавливать измерения в реальном масштабе времени в нештатных ситуациях, вызванных видами отказов измерителей.

Также определены критерии, выполнение которых обеспечивает функциональную устойчивость при однократном полном отказе одного из чувствительных элементов избыточного измерителя на уровне классической мажоритарной схемы.

Сформулированы условия, выполнение которых обеспечивает парирование многократных полных и частичных отказов в измерительном блоке.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Пчелинцев, Л. А.* Метод контроля измерительных трактов систем управления движением космических летательных аппаратов [Текст] / Л. А. Пчелинцев, И. И. Кузнецов, А. С. Ершов // Двойн. технол. – 2005. – № 1. – С. 13–15.
2. *Лебедев, Д. В.* Навигация и управление ориентацией малых космических аппаратов [Текст] / Д. В. Лебедев, А. Н. Ткаченко. – К. : Наукова думка, 2006. – 298 с.
3. Проектирование и экспериментальная отработка систем управления объектов ракетно-космической техники. Т. 2. Проектирование систем управления космических аппаратов и модулей орбитальных станций [Текст]: учебник в 3 т / Ю. С. Алексеев, Е. В. Белоус, Г. В. Беляев и др. / под общей ред. Ю. С. Алексеева, Ю. М. Златкина, В. С. Кривцова, А. С. Кулика, В. И. Чумаченко. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», НПП Хартрон-Аркос, 2012. – 680 с.
4. *Фирсов, С. Н.* Аналитический метод определения параметров управления системы ориентации космического аппарата [Текст] / С. Н. Фирсов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 4 (91). – С. 55–59.
5. *Firsov, S.* Fail-активне pneumatic servo driver of unmanned aircraft [Text] / S. Firsov, O. Pischuchina // Proceedings east west fuzzy colloquium 2006 13<sup>th</sup> Zittau Fuzzy colloquium. – IP : RAM, 2006. – P. 362–369.
6. *Дыбская, И. Ю.* Робастное управление дозирующим элементом газотурбинного двигателя ЛА на основе динамического компенсатора возмущения / И. Ю. Дыбская, С. Н. Фирсов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – Вып. 2 (38). – С. 20–24.
7. *Кулик, А. С.* Применение нечеткой логики в управлении беспилотными летательными аппаратами [Текст] / А. С. Кулик, С. Н. Фирсов, О. Э. Копысов // Матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. «Перспективні комп'ютерні системи управління та телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України». – Харків : ХАЖД. – 2010 – С. 52–53.
8. *Фирсов, С. М.* Особенности конструкции та системи автоматичного керування безпілотного літального апарату нетрадиційної аеродинамічної схеми вертикального зльоту та посадки [Текст] / С. М. Фирсов, Туан Куок До, Р. М. Гуш, О. В. Данченко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК». – Х. : ХНТУСГ, 2009. – Вип. 87. – С. 123–125.
9. *Васильев, В. И.* Алгоритмы обеспечения отказоустойчивости САУ ГТД [Текст] / В. И. Васильев, И. И. Идрисов // Проблемы машиноведения, процессов управления и критических технологий : сб. науч. тр. – Уфа : Гилем, 2008. – С. 185–190.
10. *Ефанов, В. Н.* Параметрический синтез отказоустойчивых алгоритмов управления в условиях неопределенности [Текст] / В. Н. Ефанов, Т. Р. Суяргулов // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 2. – С. 118–135.
11. *Кулик, А. С.* Восстановление измерений навигационной системы в режиме реального времени [Текст] / А. С. Кулик, С. Н. Фирсов, До Куок Туан, О. Ю. Златкин // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-тет, 2008. – Вып. 5 (59). – С. 28–33.
12. *Фирсов, С. Н.* Обеспечение глубокого диагностирования блока акселерометров при плоскостном движении летательного аппарата [Текст] / С. Н. Фирсов, Туан Куок До // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – Вып. 3 (60). – С. 33–38.
13. *Фирсов, С. Н.* Диагностируемость блока акселерометров при пространственном движении летательного аппарата [Текст] / С. Н. Фирсов, До Куок Туан // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – Вып. 4 (61). – С. 14–20.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2013.

Фирсов С. М.

Канд. техн. наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна

#### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ВИМІРЮВАЧІВ ПАРАМЕТРІВ РУХУ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОРІЄНТАЦІЇ

Отримано аналітичні залежності, що визначають мінімально необхідну кількість чутливих елементів у надмірному вимірювачі. Сформовані критерії, виконання яких забезпечує функціональну стійкість при однократній повній відмові одного з чутливих елементів. Показані обмеження та переваги використання функціонально стійкого вимірювального блоку з мінімальною структурною надмірністю.

**Ключові слова:** супутникова система стабілізації та орієнтації, функціональна стійкість; вимірювальний блок, акселерометр, датчик кутових швидкостей, відмова.

Firsov S. N.

Phd, associated, professor, National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute», Ukraine

#### PROVIDING OF FUNCTIONAL STABILITY OF MEASURING UNIT OF STABILIZATION AND ORIENTATION SATELLITE SYSTEM MOVEMENT PARAMETERS

The analytical tools for the number of the redundant measurers and their layout in the unit definition are suggested as a result of the research. The criteria, execution of which provides the functional stability in situation of a measurer's single complete failure at the classical majority circuit level, are defined. Relatively to a single axis the majority circuit allows to counteract a single failure only. The failure is not classified as a fault or a defect. This fact does not enable to use the designed-in structure redundancy of the majority circuit in full measure. The disadvantage of the functionally stable measuring unit with a minimal structural redundancy usage is that such type of the device enables to counteract only a single complete failure, no matter which one of its measurers has failed. Its irrefutable advantage is that the usage of certain algorithms provides the counteraction of the sensitive elements' multiple partial failures if the failures appear in no more than two sensitive elements. It is necessary to insert the additional structural redundancy in order to dispose the disadvantage of a single complete failure counteraction in the redundant measurer. The application of these tools makes possible to form the measurers' redundant constructions, satisfying the signal and structural diagnosability criteria and enabling the opportunity to revitalize the measurements in contingency, caused by the kinds of the failures, in real time. The criteria, satisfaction of which provides the functional

stability in conditions of the redundant measuring unit's sensitive element single complete failure at the classical majority circuit level, are formed. The conditions providing the counteraction of the multiple partial and complete failures are formulated.

**Keywords:** stabilization and orientation satellite system, functional stability, measuring unit, an accelerometer, angular rate sensor, failure.

## REFERENCES

1. Pchelincev L.A., Kuznecov I. I., Ershov A. S. Metod kontrolja izmeritel'nyh traktov sistem upravljenja dvizheniem kosmicheskikh letatel'nyh apparatov [Tekst], *Dvojn. teh-nol.*, 2005, No. 1, pp. 13–15.
2. Lebedev D. V., Tkachenko A. N. Navigacija i upravljenje orientaciej malyh kosmicheskikh apparatov [Tekst]. Kiev, Naukova dumka, 2006, 298 p.
3. Alekseev Ju. S., Belous E. V., Beljaev G. V., Bojko V. P., Guslistaja E. P., Demidov E. N., Emel'janov V. I., Zlatkin O. Ju., Zlatkin Ju. M., Ivanov V. I., Kozuhov V. D., Kovalev S. A., Korshunov N. A., Kravec L. P., Krivcov V. S., Kuznecov Ju. A., Kulik A. S., Labazov O. A., Luk'janovich A. E., Lysenko A. A., Mangushina L. V., Mehovskoj N. F., Okunev V. V., Olejnik V. V., Olejnik S. V., Ostapenko V. M., Poltavskaja V. N., Serbin A. V., Sereda E. P., Stoljar A. A., Strap'jan L. N., Sumcov A. A., Fotin V. I., Hristij A. V., Chumachenko A. V., Chumachenko V. I., Jurchenko Ju. B., pod obshej red. Alekseeva Ju. S., Zlatkina Ju. M., Krivcova V. S., Kulika A. S., Chumachenko V. I. Proektirovanie i jeksperimental'naja otrabotka sistem upravljenja ob'ektov raketno-kosmicheskoi tehniki. T. 2. Proektirovanie sistem upravljenja kosmicheskikh apparatov i modulej orbital'nyh stancij [Tekst]: uchebnik v 3 t. Harkiv, Nac. ajerokosm. un-t im. N.E. Zhukovskogo «Har'k. aviac. in-t», NPP Hartron-Arkos, 2012, 680 p.
4. Firsov S.N. Analiticheskij metod opredelenija parametrov upravljenja sistemy orientacii kosmicheskogo apparata [Tekst], *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*, 2012, No. 4 (91), pp. 55–59.
5. Firsov S., Pischuchina O. Fail-aktivne pneumatic servo driver of unmanned aircraft [Text]. *Proceedings east west fuzzy colloquium 2006 13<sup>th</sup> Zittau Fuzzy colloquium*, IP: PAM, 2006, pp. 362–369.
6. Dybskaja I. Ju., Firsov S. N. Robastnoe upravljenje dozirujushhim jelementom gazoturbinogo dvigatelja LA na osnove dinamicheskogo kompensatora vozmushhenija, *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*, 2007, Vyp. 2 (38), pp. 20–24.
7. Kulik A. S., Firsov S. N., Kopysov O. Je. Primenenie nechetkoj logiki v upravljenii bespilotnymi letatel'nymi apparatami [Tekst], *Materiali Mizhnar. nauk.-tehn. konf. «Perspektivnye komp'juternye upravljajushhie i telekommunikacionnye sistemy dlja zheleznodorozhnogo transporta Ukrainy»*. Harkiv, HAZhD, 2010, pp. 52–53.
8. Firsov S. M., Tuan Kuok Do, Gush R. M., Danchenko O. V. Osoblivosti konstrukcii ta sistemi avtomatichnogo keruvannja bezpilotnogo lital'nogo aparatu netradicijnoi aerodinamichnoi shemi vertikal'nogo zl'otu ta posadki [Tekst], *Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka «Problemi energozabespechennja ta energozberezhennja v APK»*, Harkiv, HNTUSG, 2009, Vip. 87, pp. 123–125.
9. Vasil'ev V. I., Idrisov I. I. Algoritmy obespechenija otkazoustojchivosti SAU GTD [Tekst], *Problemy mashinovedenija, processov upravljenja i kriticheskikh tehnologij: sb. nauch. tr.*, Ufa, Gilem, 2008, pp. 185–190.
10. Efanov V. N., Sujargulov T. R. Parametricheskij sintez otkazoustojchivyh algoritmov upravljenja v uslovijah neopredelennosti [Tekst], *Avtomatika i telemehanika*, 2000, No. 2, pp. 118–135.
11. Kulik A.S., Firsov S. N., Tuan Kuok Do, Zlatkin O. Ju. Vosstanovlenie izmerenij navigacionnoj sistemy v rezhime real'nogo vremeni [Tekst], *Radioelektronni i komp'juterni sistemi*, Har'kov, Nac. ajerokosm. un-tet, 2008, Vyp. 5 (59), pp. 28–33.
12. Firsov S. N., Tuan Kuok Do. Obespechenie glubokogo diagnostirovanija bloka akselerometrov pri ploskostnom dvizhenii letatel'nogo apparata [Tekst], *Radioelektronni i komp'juterni sistemi*, 2009, Vyp. 3 (60), pp. 33–38.
13. Firsov S. N. Tuan Kuok Do. Diagnostiruemost' bloka akselerometrov pri prostranstvennom dvizhenii letatel'nogo apparata [Tekst], *Radioelektronni i komp'juterni sistemi*, 2009, Vyp. 4 (61), pp. 14–20.

УДК 658.512.011:681.326:519.713

Хаханов В. И.<sup>1</sup>, Чумаченко С. В.<sup>2</sup>, Литвинова Е. И.<sup>3</sup>, Мищенко А. С.<sup>4</sup><sup>1-3</sup>Д-р техн. наук, профессор, Харьковський національний університет радіоелектроніки  
<sup>4</sup>Аспірант, Харьковський національний університет радіоелектроніки, e-mail alex@simplesolutions.com.ua

## РАЗВИТИЕ КИБЕРПРОСТРАНСТВА И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Предложена модель и метрика кибернетического пространства, где субъектами выступают взаимодействующие процессы или явления с физическим носителем в виде компьютерных систем и сетей. Описаны инфраструктуры сервисного обслуживания программного продукта для защиты от вредоносных программ и верификации проектов цифровых систем. Предложена структурная модель распознавания деструктивных образов на основе отношений входного образа, эталонов и критериев сходства.

**Ключевые слова:** кибернетическое пространство, информационная безопасность, инфраструктура сервисного обслуживания.

### ВВЕДЕНИЕ

Чтобы идея материализовалась и завоевала весь мир, она должна быть как кирпич, простой и понятной каждому. Виртуальный персональный компьютер – Virtual Personal Computer (VPC). Такого рода идея подняла на вершину успеха компании Microsoft, Google, Kaspersky lab, Intel, IBM. Рождается новая персональная или индивидуальная модель киберпространства, родителями которой можно считать с одной стороны реальные нанотехнологии и цифровые системы на кристаллах, а с другой стороны виртуальные сервисы по хранению, обработке и приему-передаче информации. Мотивация появления данной модели на рынке определяется:

1) необходимостью создания «индивидуального или личного виртуального компьютера или пространства», которое нельзя потерять или украсть;

2) нежеланием пользователя и высокой стоимостью дублирования информации и сервисов при наличии у него нескольких гаджетов (планшет, смартфон, ноутбук);

3) высоким уровнем надежности и информационной безопасности хранения личных данных и сервисов в течение всей жизни пользователя. Перечисленные условия может обеспечить только индивидуальная ячейка в «швейцарском банке», которая должна и будет создаваться в ближайшие три года для каждого человека планеты как Personal Cyberspace Cell (PCC). Две точки зрения в своем развитии сходятся к одному понятию, PCC = VPC, первая исходит со стороны киберпространства (компьютерных наук), вторая – со стороны персонального компьютера (компьютерной инженерии). Практически при полном отсутствии недостатков PCC имеет следующие преимущества:

– инвариантность функционирования по отношению к любому аппаратному интерфейсу, соединяющему пользователя с киберпространством;

– дружелюбность и интеллектуальная адаптивность к «хозяину» по формату 24/7 на протяжении всей жизни;

– аутентификация пользователя и PCC по отношению к облачным и другим сервисам киберпространства, которая сегодня завязана на конкретную аппаратуру;

– надежность и доступность, сохраняемость и безопасность PCC, переносимость и физическая неуязвимость, благодаря своей виртуальности;

– эффективная реляционная структуризация данных и сервисов с признаками интеллекта для поиска распознавания и принятия решений;

– высокая рыночная привлекательность создания кибербанков и PCC-форматов (шаблонов, стандартов), которые ориентированы и необходимы каждому человеку планеты, в денежном эквиваленте составляет сотни миллиардов долларов;

– возможность создания прототипа виртуального персонального киберкомпьютера ограниченными силами нескольких раскрученных компаний, имеющих выход на World Market, и двумя-тремя университетами;

– ориентировочная стоимость таких работ с созданием начальной инфраструктуры банков киберпространства – 0,5–1,5 млрд. долларов.

Киберпространство – совокупность взаимодействующих по метрике информационных процессов и явлений, использующих в качестве носителя компьютерные системы и сети.

Рыночная привлекательность киберпространства. Тенденция последних лет в части создания новых коммуникационных, вычислительных и информационных сервисов, полезных для человека, обращает внимание на создание все более специализированных гаджетов (gadget), обладающих существенными преимуществами перед персональными компьютерами и ноутбуками: энергопотребление, компактность, вес, стоимость, функциональные возможности, дружелюбность интерфейса [1, 2]. Практически вся десятка лучших за 2010 год специализированных изделий (Apple iPad, Samsung Galaxy S, Apple MacBook Air, Logitech Revue, Google Nexus One (HTC Desire), Apple iPhone 4, Apple TV, Toshiba

Libretto W100, Microsoft Kinect, Nook Color) реалізована в формі цифрових систем на кристалах. К 2012 року ринок мобільної і безпроводної зв'язі і перейде на 20 нм (ітоги январського Самміта 2011 альянса Common Platform). Дальніше розвиток технологій по роках: 2014 – 14 нм, 2016 – 11 нм. В 2015 році 55 % сотових телефонів стануть смартфонами, планшетні комп'ютери замінять ноутбуки і нетбуки. Суперфони (Nexus-1, Google) стануть той з'єднательною тканиною, яка зв'яже всі інші пристрої і сервіси. Перехід від чисельних платформ до мобільним пристроям з малим форм-фактором приведе до суттєвого зменшенню енергопотреблення по всьому світу. Надходить наступна хвиля комп'ютеризації під назвою «інтернет речей», яка приведе до широкого розповсюдженню датчикових мереж, включаючи їх інтеграцію в людське тіло. Світовий ринок перерахованих вище пристроїв і гаджетів налічує сьогодні порядку 3 мільярдів одиниць [3].

З урахуванням викладеного вище можна зробити наступні висновки стосовно еволюціонування кіберпростору:

1. Особистий комп'ютер, зникаючи з ринку, трансформуватиметься в широкий спектр гаджетів доступу в кіберпростір, які будуть мати функціональність особистих комп'ютерів, компактність і низьку ціну.

2. Як інтерфейс зв'язі між людиною і кіберпростором гаджет в меншій ступені потребує захисту.

3. Кіберпростір має ієрархію від індивідуального дружественного простору користувача до глобального, де фігурують «хмара», дані і мережі за інтересами.

4. Для підвищення інформаційної безпеки предметного (цільового) кіберпростору можливо робити його брудним, що ускладнить визначення його точної адреси.

5. Народжується нова структура в формі кіберпростору як частини загальної екосистеми планети, для якої необхідно створювати інфраструктуру інформаційної безпеки як засіб сервісного обслуговування.

6. Стремительно розвивається потужний сегмент ринку планшетних комп'ютерів, які не мають входів і виходів, крім Internet. Така ситуація підштовпує користувача до створення індивідуального кіберпростору, незалежного від типу гаджета, який повинен бути надійно захищений.

7. Сьогодні ще висока ціна програмних рішень на комп'ютері економічно виправдовує застосування антивірусних захистів. Але завтра, для дешевих пристроїв типу, iPad і iPhone, з низькою потужністю програмних додатків антивірусний захист стане економічно нецелесообразним. Одночасно виникає новий суб'єкт захисту – індивідуальне кіберпростір (дані і додатки), який отримує сервіси від технологічних «хмар» і мереж за інтересами.

8. Одним з можливих рішень для захисту простору може бути його вакцинація в формі введення певної надлишковості, яка дає можливість здійснювати моніторинг і екстренну зв'язь з хмарою антивірусних сервісів з метою усунювання функціональних порушень.

9. Вакцинація даних і програм на особистому комп'ютері також може бути цікавим рішенням. Вона дозволяє більш оперативно здійснювати моніторинг даних, використовуючи інформацію від вбудованих в пакети і програми агентів в формі асерційних операторів.

Один з можливих кроків в даному напрямку представлений нижче в формі структури публікації як технології тестування і діагностування шкідливих компонентів (ВК – malware)  $T^v$ :  $M^t$  – метрика і модель процесу тестування,  $H^c$  – корисна функціональність (програма),  $G^t$  – граф транзакцій програмних блоків,  $\{M^f, M^s\}$  – дві моделі тестування програми (таблиця шкідливих і матриця активізації програмних блоків),  $\{D^c, D^f, D^m\}$  – три методи (аналіз рядків, стовпців таблиці і матриці в цілому) діагностування ВК, які використовують механізм асерцій (асерція – логічне висловлювання, що визначає функціональні помилки програмного коду),  $P^m$  – створення архітектури мультиматричного процесора для паралельного і швидкого аналізу табличних даних,  $R$  – імплементация моделей методів і засобів в систему – інфраструктуру інформаційної безпеки кіберпростору (І-ІБК):

$$T^v = M^t \rightarrow H^c \rightarrow G^t \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} M^f \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} D^c \\ D^f \end{array} \right\} \\ M^s \rightarrow D^m \end{array} \right\} \rightarrow P^m \rightarrow R.$$

Суть дослідження – суттєве зменшення часу діагностування ВК і підвищення якості сервісів кіберпростору за рахунок розробки асерційно-орієнтованої інфраструктури, моделей і методів тестування і діагностування програмних продуктів і даних. Інформація, необхідна для пошуку блоків з ВК, визначається в процесі моделювання (емуляції) програмного коду. Ефективність предметного кіберпростору (програмного продукту) визначається нормованим в інтервалі  $[0, 1]$  інтегральним критерієм:

$$E = F(L, T, H) = \min\left[\frac{1}{3}(L + T + H)\right], Y = (1 - P)^n;$$

$$L = 1 - Y^{(1-k)} = 1 - (1 - P)^{n(1-k)};$$

$$T = [(1 - k) \times H^s] / (H^s + H^a); H = H^a / (H^s + H^a).$$

Тут представлені: рівень зараження шкідливими компонентами  $L$ , час тестування  $T$ , програмно-апаратна надлишковість, що визначається механізмами асерцій і засобами сервісного обслуговування

Н. Параметр L, как дополнение к параметру Y, характеризующему выход годной продукции, зависит от тестопригодности проекта k, вероятности P существования ВК и числа необнаруженных вредоносных n. Время тестирования определяется тестопригодностью проекта k, умноженной на структурную сложность аппаратно-программной функциональности, отнесенной к общей сложности продукта в строках кода. Программно-аппаратная избыточность находится в функциональной зависимости от сложности ассерционного кода и других избыточностей, отнесенных к общей сложности продукта. При этом программная или аппаратная, избыточность должна обеспечивать заданную глубину диагностирования деструктивных функциональностей за время выхода изделия на рынок, определенное заказчиком.

Векторно-логическая интерпретация критерия эффективности E определяется треугольным хог-взаимодействием или расстояниями между тремя противоречивыми компонентами (Q – качество, T – время, M – деньги), заданными векторами параметров оценивания проекта. При этом хог-сумма расстояний между компонентами эффективности равна нуль-вектору согласно аксиоме транзитивного замыкания [3]:

$$E = \{Q, T, M\} \rightarrow (q = T \oplus M, t = Q \oplus M,$$

$$m = Q \oplus T) \rightarrow q \oplus t \oplus m = 0.$$

$$q = T \oplus M, t = Q \oplus M, m = Q \oplus T \rightarrow q \oplus t \oplus$$

$$\oplus m = T \oplus M \oplus Q \oplus M \oplus Q \oplus T = 0.$$

$$q = t \oplus m, t = q \oplus m, m = q \oplus t \rightarrow q = 000001, t = 110010, m = 110011.$$

$$Q \uparrow \rightarrow T \uparrow M \uparrow; T \downarrow \rightarrow Q \downarrow M \uparrow; M \downarrow \rightarrow Q \downarrow T \uparrow; \leftrightarrow A = \{0, 1, x, \emptyset\} \rightarrow$$

$$q = \emptyset, t = 1, m = 1; q = x, t = 1, m = 0;$$

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| Δ | 0 | 1 | x | ∅ |
| 0 | ∅ | x | 1 | 0 |
| 1 | x | ∅ | 0 | 1 |
| x | 1 | 0 | ∅ | x |
| ∅ | 0 | 1 | x | ∅ |

Здесь треугольное замыкание, равное нулю, свидетельствует о невозможности получения абсолютного выигрыша без каких-либо затрат. С другой стороны, каждое расстояние показывает затраты на достижение желаемого эффекта в виде экономии времени (повышения качества, уменьшения стоимости) за счет двух других компонентов.

Цель публикации – существенное повышение качества сервисов, доставляемых со стороны программных, аппаратных изделий, сетевых структур киберпространства и уменьшение стоимости эксплуатационных расходов за счет создания инфраструктур сервисного обслуживания и безопасности, обеспечивающих дружественную эксплуатацию, тестирование и устранение нефункциональных деструктивных компонентов.

Задачи:

1. Разработка модели кибернетического пространства.

2. Математический аппарат и двигатель для анализа и сервисного обслуживания киберпространства.

3. Процесс-модели и критерии взаимодействия вредоносных компонентов с программными кодами полезных функциональностей.

4. Инфраструктура киберпространства и реализация ее компонентов.

Источники:

1. Актуальные проблемы анализа киберпространства [1, 2].

2. Метрика киберпространства [3].

3. Аппаратура и матричные процессоры для поиска информации [4–14].

4. Распознавание деструктивных образов при защите киберпространства [2].

## 2. КИБЕРПРОСТРАНСТВО ИЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ЭКОСИСТЕМА

Инфраструктура кибернетического пространства, метрика его измерения и процесс-модели анализа и синтеза субъектов дают возможность создавать эффективные решения компьютерных средств и технологий, ориентированных на быстрый поиск, распознавание, диагностирование не только позитивных, но и негативных субъектов [3]. Конкретно, предложенная инфраструктура может решать задачи:

1. Описание многообразия деструктивных компонентов кибернетического пространства.

2. Формализация процессов взаимодействия триады компонентов <программа, деструктивности, тесты>.

3. Диагностирование и устранение деструктивных компонентов.

4. Создание и эффективное использование базы деструктивных данных [4–8].

5. Создание быстродействующих интеллектуальных саморазвивающихся средств сервисного обслуживания и защиты кибернетического пространства.

Сегодня чрезвычайно важно обозначить возможные пути для решения проблемы создания саморазвивающейся компьютерной экосистемы. Эволюция ИКЭС основывается на использовании трех наиболее важных компонентов: фантазия, математика и технология, где субъектом экосистемы выступает саморазвивающийся компьютер (СРК). При этом дефицит в мире фантазеров или фантастов, связанный с шаблонами обучения и постепенным закрепощением будущего инженера по мере получения им образовательных услуг в школе и университете, существенно тормозит эволюцию СРК. Основное отличие СРК от современного компьютера заключается в концепции жизненного цикла. Стратегия настоящего компьютера есть обучение или повторение уже пройденного пути. Принципиальная позиция СРК – постоянный поиск новых путей для самосовершенствования (эволюционирования) на основе мирового опыта, скрытого в информационном пространстве. Согласно запрету Геделя, адаптированному для информационного пространства, нельзя создать компьютер, который способен решать любые задачи, формально представленные

спецификацией. Тем не менее, принцип Геделя предоставляет методологическую основу эволюции (саморазвития) ИКЭС, которую можно интерпретировать следующим образом. Для информационного пространства всегда можно придумать такую полезную спецификацию, которая не покрывается существующими у человечества решениями, что обуславливает создание нового функционального или технологического компонента для его последующего включения в планетарную библиотеку. ИКЭС имеет возможность повторить эволюцию человечества, только в тысячи раз более быстрыми темпами. На рис. 1 представлен замкнутый цикл эволюции ИКЭС, который фактически изоморфен спирали развития человечества, накрученной на временную ось.

Здесь заложены основные принципы эволюции, явно выраженные уже в современной компьютерной индустрии:

1) стандартизация – самое главное для эволюции и жизненного цикла СРК – рынок не принимает и не понимает нестандартных по интерфейсу решений;

2) специализация есть повышение эффективности предоставляемых (персонально ориентированных) сервисов изделия, связанных с быстродействием, качеством, затратами, энергосбережением путем оптимизации структуры и функциональных компонентов, покрывающих спецификацию;

3) повсеместное использование векторно-логического критерия качества решения в задачах генерирования идей, синтеза и анализа. Генерирование – процесс создания новой функциональности. При этом синтез оперирует существующими в информационном пространстве компонентами для создания структуры. Анализ – оценивание полученного решения;

4) диаграмма Хассе используется для выработки стратегии оптимизации покрытия функциональностей спецификации библиотечными компонентами или их сочетаниями, принадлежащими информационному пространству. Она согласуется с современной Y-технологией, входящей в состав ESL Design, суть которой – использовать библиотечные компоненты на всех уровнях проектирования изделия для покрытия специфицируемой функциональности в процессе синтеза [4–6].

Человек окружен природой, состоящей из многих полезных для него субъектов: флора, фауна, которые эволюционируют по своим законам. Никто не пытается сделать, например, из лошади или дельфина человека. Но в части развития компьютеров мы горим желанием сделать его мыслящим, наделить органами чувств – сотворить его подобным, в конце концов, человеку. Нужно ли это человеку? Вопрос – спорный. Не лучше ли будет взять на вооружение другой тезис – компьютер, как реальная часть природы, имеет право занимать в ней собственную нишу для самостоятельного эволюционирования и самосовершенствования. Насколько он будет подобен человеку в будущем? Трудно судить. Но он есть и будет более совершенным в одних задачах, менее – в других, также как и природные субъекты по отдельным параметрам превосходят человека. Не обижается же он на рыб, которые могут нырять и обходиться без воздуха,

или на птиц, наделенных возможностью летать. Но, заимствуя у субъектов природы отдельные функциональности, человек создает изделия, расширяющие его возможности. Поэтому не следует сталкивать лбами человека и компьютер, которые и в будущем будут жить в мире и согласии, как субъекты природы, использующие друг друга для решения общественно полезных задач. Не следует также пытаться копировать живой мозг человека, по сути, в неживом кремниевом кристалле. Копия всегда будет хуже оригинала! Но инкапсулировать функциональности мозга в кристалл – значит расширить мощность сервисов, полезных для решения практических задач в информационном пространстве. Идея самостоятельного развития компьютера по собственному пути немного подрезает крылья у фантазии – сделать его неотличимым от человека. Но при этом она окрыляет практических исследователей и IT-индустрию. Становится возможным уже в ближайшее десятилетие сотворить саморазвивающуюся информационно-компьютерную экосистему! Кроме того, от взаимодействия Software и Hardware, освященного оригинальной идеей, действительно появляются полезные функциональности: специализированные изделия, мобильные телефоны, RFID, планшеты, серверы, сети, формирующие в совокупности информационное пространство планеты [9–14]. Рынок, как и природа, осуществляет селекцию или естественный отбор практически ориентированных разработок, среди которых нет места слабым субъектам или проектам, а выживают сильнейшие представители в своем экологическом слое.

Относительно интеллекта. Википедия дает краткое и достаточно полное определение: «Интеллект – способность системы создавать в ходе самообучения программы для решения задач». Это относится к естественному и искусственному интеллекту. Как следствие можно предположить, что есть нечто выше интеллекта, поскольку в приведенном определении нет места для креативной эволюции субъекта. Здесь есть чистое повторение пройденного кем-то пути с использованием обучения или самообучения. Получается, человек – только повторитель? Где же место в интеллекте для создателей новой культуры, математической и технологической, машин, строений? Определение также противоречит принципу Геделя и не оставляет места для человека как творца. Все отдается Богу, который создал этот мир, а человеку оставил только функциональность познавать его. Но ведь вселенная не стоит на месте – она развивается, можно предположить, что саморазвивается. То же самое относится и к человеку. В определении интеллекта заложен процесс познания мира. Но Творец не создавал компьютер, машины, здания, мосты. Кто же это сделал? Человек, наделенный интеллектом, что не есть только обучение для познания мира. Маленькая корректировка может существенно поправить понятие интеллекта, если в нем появятся два вида деятельности: повторение (познание) и созидание. Идея оригинальности может быть представлена как булева производная от функции-спецификации

f по всем переменным-компонентам, которые должны покрыть спецификацию:

$$E = \frac{df}{dx_i} = 1 \rightarrow f(x_1, x_2, \dots, x_1, \dots, x_n) \oplus f(x_1, x_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, x_n) = 1.$$

Если существует компонент  $x_i$ , которого нет в библиотеке решений, то производная укажет на него, что означает – необходимо создание новой, еще не известной функциональности. Формально уравнение булевой производной определяет существенность компонента  $x_i$  для реализации спецификации при его наличии или отсутствии. Естественно, если критерий качества покрытия спецификации или идеи существующим опытом человечества равен нулю, то данный факт следует понимать как повторение уже пройденного кем-то пути, если при этом не создается новая структура, которая может быть представлена одной из переменных. В противном случае фиксируется создание нового компонента или структуры, которые включаются в библиотеку новых и полезных для человека функциональностей.

Интеллект – способность субъекта природы к познанию и созиданию для формулирования и решения проблем, связанных с повышением качества жизненного цикла при ограниченных ресурсах времени и средств. Здесь можно не упоминать примитивизмы: самообучение и самосовершенствование, которые направлены только на себя любимого.

Интересно уже сейчас ответить на вопрос, каким будет кибернетическое пространство, компьютер и сервисы через 10 лет, или представить новые перспективные направления развития компьютера и Internet как единой информационно-компьютерной экосистемы, ориентированной на повышение качества жизни путем ее непрерывного использования для поиска, распознавания и принятия решений. При этом продукция от Intel и Microsoft рассматривается как всем доступный инструмент, применяемый для построения стандартизованных и специализированных под каждого пользователя мозгоподобных и дружественных для каждого человека планеты персональных серверов. Сколько людей – столько и компьютеров, индивидуально настроенных на каждого конкретного человека. Опасности – выход из-под кон-

троля человека саморазвивающейся информационно-компьютерной экосистемы планеты.

Что можно сделать?

1. Убрать из компьютера тяжеловесную арифметику для повышения быстродействия мозгоподобных (ассоциативно-логических) задач на несколько порядков.
2. Создать стандартизованные структуры данных – иерархия таблиц – для ИКЭС.
3. Разработать параллельный логический ассоциативный мультипроцессор без использования арифметических операций.
4. Создать простые, эффективные метрики и критерии оценивания получаемых решений в векторно-логическом информационном пространстве.
5. Разработать процесс-модели, реализующие рыночно привлекательные функциональности, ориентированные на поиск, распознавание и принятие решений в ассоциативном векторно-логическом пространстве.
6. Создать инфраструктуру, ориентированную на автоматическое генерирование процесс-моделей поиска, распознавания и принятия решений в кибернетическом пространстве планеты.

### 3. ЭВОЛЮЦИЯ CYBER SPACE И INTERNET

Для создания схемы, реализующей полезную функциональность, следует генерировать примитивы  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n\}$  самого нижнего уровня. Для этого необходимо создавать фильтры  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_j, \dots, F_m\}$ , формирующие таблицы примитивных отношений, взятых из информационного пространства планеты (рис. 2), где представлены следующие блоки: Hu – пользователь;  $P = \{Da, Ho, Bu, Tr, So, Sh, Em, Sk, In, Ps, Mo, Pi, He, Ed, Co, Ba\}$  – Data, Home, Business, Traveling, Social, Shopping, E-mail, Skype, Infrastructure, Program services, Movie, Pictures, Health, Education, Conferences, Banking;  $G = \{Sm, An, Iph, Ipa\}$  – Smartphone, Android, Iphone, Ipad.

Имея стандартизованные структуры данных для отдельных порталов и браузеров, доставляющих новые сервисы с более высоким быстродействием, следует ожидать постепенного качественного улучшения всех компонентов Cyber Space. Конечная цель такого взаимного и положительного влияния элементов инфраструктуры ки-

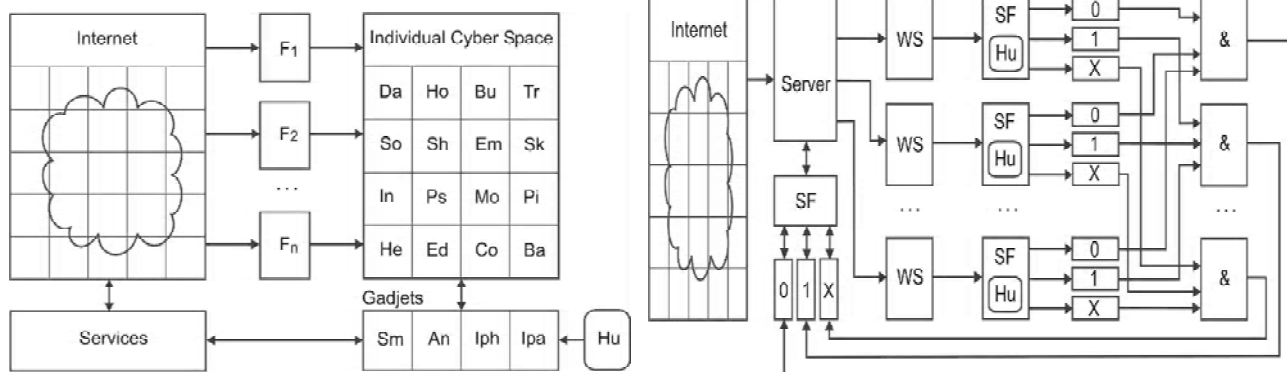


Рис. 2. Эволюция Cyber Space и Internet



бернетического пространства – выработка единых стандартов по интерфейсам и его превращение в саморазвивающуюся интеллектуальную информационно-компьютерную экосистему. Существенное значение будут иметь первичные фильтры или преобразователи для создания новых стандартизованных примитивов, создающих технологичную инфраструктуру для скоростного драйва по Cyber Space с использованием специализированного неарифметического двигателя (I-Computer). Со временем аморфная или «мусорная» часть Internet будет уменьшаться, а стандартизованная инфраструктура – увеличиваться. К 2020 году информационное пространство планеты должно принять цивилизованные форматы структур данных со стандартизованными интерфейсами, подобно тому, как это происходило с развитием планетарной инфраструктуры транспортных сообщений с терминалами, отелями, заправками, ориентированными на сервисы, удовлетворяющие любые запросы пользователя.

В настоящее время отсутствуют стандарты формирования и хранения структур однотиповых данных на сайтах и порталах Internet, хотя в сетях базы данных имеют высокий уровень локальной стандартизации. Аморфность глобальной сети затрудняет понимание информации поисковыми системами для распознавания и принятия правильных решений. Трудно ожидать, что информационное пространство в одночасье перейдет на рельсы принятых всеми форматов и интерфейсов. Единственным выходом может служить эволюционирование структур данных. Для этого необходимо разрабатывать преобразователи (фильтры) форматов данных. Наличие первичных фильтров позволяет автоматизировать времязатратные процессы создания библиотек базовых примитивов. Имея спецификацию, рис. 3, представленную после обработки вербального описания в форме вектора входных и выходных переменных, нетрудно записать стратегию создания новой функциональности как задачу поиска покрытия библиотечными элементами обобщенного вектора  $\langle X, Y \rangle$ .

Общее решение задачи похоже на синтез автоматной модели, определяющей взаимодействие компонентов во времени и в пространстве. Однако многообразие примитивов, заранее не заданных, исключает такую возможность, что означает – необходим переход из строгого детерминизма цифровых автоматов в область эволюционных, но детерминированных решений.

Интеллект  $f$  формулируется в виде двух функций ( $g$  – созидание и  $h$  – повторение), где  $C, R$  – процессы созидания и повторения;  $N, L$  – примитивы (новый и существующие в библиотеках):

$$I = f(C, R) = C \oplus R; 1) C = g(R, N) = R \oplus N; 2) R = h(C, L) = C \oplus L.$$

1. Генерирование оригинальной функциональности в форме вектора спецификации новых полезных для человека или компьютера сервисов.

2. Синтез функциональной структуры путем покрытия существенных переменных вектора спецификации минимальным множеством примитивов из доступных

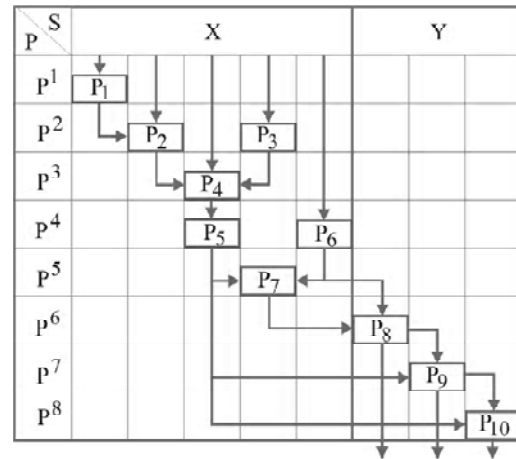


Рис. 3. Синтез покрытия спецификации примитивами

библиотек планеты для формирования выходного вектора полезных свойств. Повторение двух упомянутых выше пунктов для создания новой примитивной функциональности, необходимой при решении задачи покрытия. Здесь прослеживаются две спирали развития субъекта киберпространства. Одна идет вверх, по пути создания новых структурных спецификаций. Вторая – вниз, по пути создания новых примитивов, обозначающих появление оригинальных технологий.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модель эволюционирующего кибернетического пространства, где субъектами выступают взаимодействующие процессы или явления с физическим носителем в виде компьютерных систем и сетей. Стандартизация пространства и всех взаимодействующих субъектов, включая негативные, возможна на основе предложенной бета метрики, которая структурировано и адекватно оценивает меру взаимодействия отношений в киберпространстве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Babulak, E. Future Global Office / E. Babulak // 12 th International Conference «Computer Modelling and Simulation». – 2010. – P. 352–356.
2. Qishi, Wu. Visualization of security events using an efficient correlation technique / Wu Qishi, D. Ferebee, Lin Yunyue, D. Dasgupta // Computational Intelligence in Cyber Security, CICS '09. – 2009. – P. 61–68.
3. Infrastructure for brain-like computing / [Bondaryenko M. F., Guz O. A., Hahanov V. I., Shabanov-Kushnaryenko Yu. P.]. – Kharkov : Novoye Slovo. – 2010. – 160 p.
4. IEEE Standard for Reduced-Pin and Enhanced-Functionality Test Access Port and Boundary-Scan Architecture IEEE Std 1149.7-2009. – 985 p.
5. Da Silva, F. The Core Test Wrapper Handbook. Rationale and Application of IEEE Std. 1500™ / F. Da Silva, T. McLaurin, T. Waayers // Springer. – 2006. – XXIX. – 276 p.
6. Marinissen, E. J. Guest Editors' Introduction: The Status of IEEE Std 1500 / E. J. Marinissen, Yervant Zorian // IEEE Design & Test of Computers. – 2009. – No 26(1). – P. 6–7.
7. Ubar, R. Embedded diagnosis in digital systems / R. Ubar, S. Kostin, J. Raik // 26th International Conference «Microelectronics», MIEL 2008. – 2008. – P. 421–424.

8. Digital System-on-Chip Design and Verification / [Hahanov V. I., Hahanova I. V., Litvinova E. I., Guz O. A.]. – Kharkov : Novoye Slovo, 2010. – 528 p.
9. Shibata, T. Implementing brain-like systems using nano functional devices / T. Shibata // *Ultimate Integration of Silicon, ULIS 2009*. – 2009. – P. 131–134.
10. A High-Performance Memory-Efficient Parallel Hardware for Matrix Computation in Signal Processing Applications / [Ardavan Pedram, Masoud Daneshtalab, Nasser Sedaghati-Mokhtari, Sied Mehdi Fakhraie] // *International Symposium Communications and Information Technologies. ISCIT '06*. – 2006. – P. 473–478.
11. Chenlong, Hu. Hardware design and realization of matrix converter based on DSP & CPLD / Hu Chenlong, Yang Ping, Xiao Ying, Zhou Shaoxiong // *3rd International Conference Power Electronics Systems and Applications*. – 2009. – P. 1–5.
12. Dave, N. Hardware Acceleration of Matrix Multiplication on a Xilinx FPGA / [Dave N., Fleming K., Myron King and other] // *5th IEEE/ACM International Conference Formal Methods and Models for Codesign*. – 2007. – P. 97–100.
13. Loucks, W. M. A Vector Processor Based on One-Bit Microprocessors / W. M. Loucks, M. Snelgrove, S. G. Zaky // *IEEE Micro*. – 1982. – Volume 2, Issue 1. – P. 53–62.
14. Hilewitz, Y. Bit matrix multiplication in commodity processors / Y. Hilewitz, C. Lauradoux, R. B. Lee // *International Conference Application-Specific Systems, Architectures and Processors*. – 2008. – P. 7–12.

Стаття надійшла до редакції 24.07.2011.

Після доробки 29.01.2013.

Хаханов В. І.<sup>1</sup>, Чумаченко С. В.<sup>2</sup>, Литвинова Є. І.<sup>3</sup>, Міщенко О. С.<sup>4</sup><sup>1-3</sup>Д-р техн наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ), Україна<sup>4</sup>Аспірант, Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ), Україна**РОЗВИТОК КІБЕРПРОСТОРУ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА**

Запропоновано модель еволюціонуючого кібернетичного простору, де суб'єктами є взаємодіючі процеси або явища з фізичним носієм у вигляді комп'ютерних систем і мереж. Розроблено універсальну неарифметичну модель структурної оцінки відношення двох об'єктів у кіберпросторі, що призначена для розпізнавання будь-яких типів теоретико-множинної або векторної взаємодії об'єктів. Створено архітектуру мультиматричного процесора, орієнтованого на підвищення швидкодії процедур убудованого діагностування функціональних порушень в програмному або апаратному виробі.

**Ключові слова:** кібернетичний простір, інформаційна безпека, інфраструктура сервісного обслуговування.

Hahanov V. I.<sup>1</sup>, Chumachenko S. V.<sup>2</sup>, Litvinova E. I.<sup>3</sup>, Mishchenko A. S.<sup>4</sup><sup>1-3</sup>DrSc, prof, Kharkov National University of Radioelectronics, Ukraine<sup>4</sup>PhD student, Kharkov National University of Radioelectronics, Ukraine**CYBERSPACE DEVELOPMENT AND INFORMATION SECURITY**

Aim of this article is significant improving the quality of services delivered by the software, hardware, and cyberspace networks, as well as reducing the operation cost through the creation of infrastructures IP, providing user-friendly operation, testing and removal of non-functional destructive components. A model of evolving cyberspace is proposed, where the subjects are interacting processes or phenomena with physical carrier in the form of computer systems and networks. The universal nonarithmetic model for structural estimating the relation of two objects in cyberspace is developed. It is designed for recognition the set-theoretic or vector interaction of objects. The architecture of multimatrix processor is created, focused on increasing the performance of embedded functional failure diagnosis in software or hardware. Infrastructures IP for protecting software against malicious code and verification of digital systems are described. The structural model for recognizing the destructive patterns based on the relationships of the input pattern, standards and similarity criteria.

**Keywords:** cyberspace, information security, infrastructure IP.

**REFERENCES**

1. Babulak E. Future Global Office, *12th International Conference «Computer Modelling and Simulation»*, 2010, pp. 352–356.
2. Qishi Wu., Ferebee D., Yunyue Lin, Dasgupta D. Visualization of security events using an efficient correlation technique, *Computational Intelligence in Cyber Security, CICS '09*, 2009, pp. 61–68.
3. Bondarenko M. F., Guz O. A., Hahanov V. I., Shabanov-Kushnaryenko Yu. P. Infrastructure for brain-like computing. Kharkov, Novoye Slovo, 2010, 160 p.
4. IEEE Standard for Reduced-Pin and Enhanced-Functionality Test Access Port and Boundary-Scan Architecture IEEE Std 1149.7-2009, 985 p.
5. Da Silva F. McLaurin T., Waayers T. The Core Test Wrapper Handbook. Rationale and Application of IEEE Std. 1500™, Springer, 2006, XXIX, 276 p.
6. Marinissen E. J., Zorian Yervant Guest Editors' Introduction: The Status of IEEE Std 1500 / E. J. Marinissen, *IEEE Design & Test of Computers*, 2009, No 26(1), P. 6–7.
7. Ubar R., Kostin S., Raik J. Embedded diagnosis in digital systems, *26th International Conference «Microelectronics»*, MIEL 2008, 2008, pp. 421–424.
8. Hahanov V. I., Hahanova I. V., Litvinova E. I., Guz O. A. Digital System-on-Chip Design and Verification. Kharkov, Novoye Slovo, 2010, 528 p.
9. Shibata T. Implementing brain-like systems using nano functional devices, *Ultimate Integration of Silicon, ULIS 2009*, 2009, pp. 131–134.
10. Ardavan Pedram, Masoud Daneshtalab, Nasser Sedaghati-Mokhtari, Sied Mehdi Fakhraie A High-Performance Memory-Efficient Parallel Hardware for Matrix Computation in Signal Processing Applications, *International Symposium Communications and Information Technologies. ISCIT '06*, 2006, pp. 473–478.
11. Chenlong Hu., Ping Yang, Ying Xiao, Shaoxiong Zhou Hardware design and realization of matrix converter based on DSP & CPLD, *3rd International Conference Power Electronics Systems and Applications*, 2009, pp. 1–5.
12. Dave N., Fleming K., Myron King, Pellauer M., Vijayaraghavan M. Hardware Acceleration of Matrix Multiplication on a Xilinx FPGA, *5th IEEE/ACM International Conference Formal Methods and Models for Codesign*, 2007, pp. 97–100.
13. Loucks W. M., Snelgrove M., Zaky S. G. A Vector Processor Based on One-Bit Microprocessors, *IEEE Micro*, 1982, Volume 2, Issue 1, pp. 53–62.
14. Hilewitz Y., Lauradoux C., Lee R. B. Bit matrix multiplication in commodity processors, *International Conference Application-Specific Systems, Architectures and Processors*, 2008, pp. 7–12.

# УПРАВЛІННЯ У ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

## УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

### CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS

УДК 62-526

Кудин В. Ф.<sup>1</sup>, Торопов А. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Д-р техн. наук, профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина

<sup>2</sup> Канд. техн. наук, старший преподаватель, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина, E-mail: askpify@ukr.net

#### СУБОПТИМАЛЬНОЕ НЕЛИНЕЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ УПАКОВОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ

В статье рассматривается задача синтеза нелинейного регулятора положения электропривода «питателя» упаковочного механизма. Для нахождения субоптимального закона управления, использован метод динамического программирования с использованием концепции метода инвариантного «погружения». Осуществлено моделирование и произведен сравнительный анализ электропривода со стандартными линейными регуляторами положения, а также с синтезированным нелинейным регулятором.

**Ключевые слова:** электропривод «питателя», субоптимальное нелинейное управление, контур регулирования положения, метод инвариантного «погружения», метод динамического программирования, упаковочный механизм.

#### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время существенно повысились требования к производительности и качеству работы электро-механических систем упаковочного оборудования. При этом качество упаковывания продукции в пакеты определяется согласованной работой электропривода подачи, работающего в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками, и электропривода «вращателя», обеспечивающего подвод теплонагревателей механизма запайки в заданную точку [1–3].

Для пакетов, в которых длина значительно превышает диаметр в месте пайки, в значительной степени производительность определяется быстродействием механизма подачи, или так называемого «питателя», обеспечивающего заданную точность позиционирования при максимальном количестве циклов в минуту. При этом цикл включает разгон, перемещение с заданной скоростью и торможение в точке, определяемой программно или дискретным датчиком «маркером», срабатывающим по метке, нанесенной на упаковочной пленке. При

использовании электроприводов переменного тока с асинхронными двигателями и датчиками обратной связи по скорости достигается производительность до 70 циклов в минуту. В случае применения электроприводов с синхронными двигателями и обратной связью по положению производительность механизма подачи может достигать 140 циклов в минуту. При этом система управления такими электроприводами строится по принципу подчиненного регулирования со стандартными линейными законами управления во внутреннем и внешнем контуре регулирования [4].

Дальнейшее увеличение производительности при необходимом качестве регулирования положения вала привода «питателя» ограничено влиянием таких факторов, как наличие нелинейностей системы управления, нестационарность параметров привода и т. д. Для исключения этого влияния целесообразно применение нелинейных оптимальных и субоптимальных регуляторов, обеспечивающих минимальную длительность переходных процессов в системе при наличии ограниче-

ния на управляющее воздействие. Одним из наиболее перспективных направлений остается синтез систем управления методом Беллмана-Ляпунова для нелинейных объектов с использованием инвариантного вложения [5, 6].

**Целью статьи** является разработка субоптимального нелинейного управления электроприводом «питателя», обеспечивающего повышение производительности упаковочных механизмов.

**СИНТЕЗ НЕЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА ПОЛОЖЕНИЯ**

Структурная схема электропривода механизма подачи упаковочного оборудования имеет вид, изображенный на рис. 1.

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $\varphi$  – угол положения вала двигателя,  $\omega$  – угловая скорость вала двигателя,  $K_c$  – коэффициент обратной связи по скорости,  $T_v$  – постоянная времени контура регулирования скорости,  $u$  – напряжение на выходе регулятора положения,  $u_{max}$  – максимальное напряжение на выходе регулятора положения,  $\sigma = f(\varphi)$  – функция, описывающая выходной сигнал регулятора без учета ограничения на управление,  $\sigma_0$  – значение выходного сигнала регулятора на входе в зону ограничения,  $\varphi_3$  – задание угла по положению, ПЛК – программируемый логический контроллер, КРС – контур регулирования скорости, реализованный на основе сервопривода с синхронным двигателем.

Система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих динамику позиционного электропривода, имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= x_3, \\ \dot{x}_3 &= -a_1x_2 - a_2x_3 + bsat(\sigma), \end{aligned} \tag{1}$$

где  $x_1 = \varphi$ ,  $x_2 = \omega$ ,  $x_3 = \dot{\omega} = \varepsilon$ ,  $\varepsilon$  – ускорение электропривода.

Наличие нелинейности в математической модели управляемого объекта делает процедуру синтеза достаточно сложной с вычислительной точки зрения для системы третьего порядка. В этом случае целесообразно использовать метод Беллмана-Ляпунова с использованием концепции метода инвариантного погружения, при

котором исходная нелинейная задача распадается на семейство линейных задач аналитического конструирования регуляторов.

Для получения системы линейных дифференциальных уравнений осуществим процедуру «мгновенной» линеаризации нелинейности типа «насыщение»

$$sat(\sigma) = q(\sigma)\sigma, \tag{2}$$

где  $q(\sigma)$  – коэффициент «мгновенной» линеаризации, меняющийся для различных областей фазового пространства.

Тогда система дифференциальных уравнений, получаемая из (1), запишется в виде

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= x_3, \\ \dot{x}_3 &= -a_1x_2 - a_2x_3 + bq(\sigma)\sigma. \end{aligned} \tag{3}$$

Функционал качества, определяющий максимальное быстродействие системы, имеет вид [7]

$$\min_{\sigma} J = \int_0^{\infty} 1 dt. \tag{4}$$

Введем в функционал качества (4) дополнительную составляющую, определяющую ограничение на управление с целью минимизации используемых энергетических ресурсов. Тогда функционал (4) преобразуется к виду

$$\min_{\sigma} J = \int_0^{\infty} (1 + c\sigma^2) dt, \tag{5}$$

где  $c$  – коэффициент, определяющий ограничение на управляющее воздействие.

Представим подынтегральное выражение функционала качества  $W(x) = 1$  в виде квадратичной функции  $W(x) = \alpha(x_1)x_1^2$ , где  $\alpha(x_1) = x_1^{-2}$  – весовой коэффициент, определяющие ограничение на динамическую составляющую [8].

Тогда функционал качества, определяющий максимальное быстродействие системы, при условии мини-

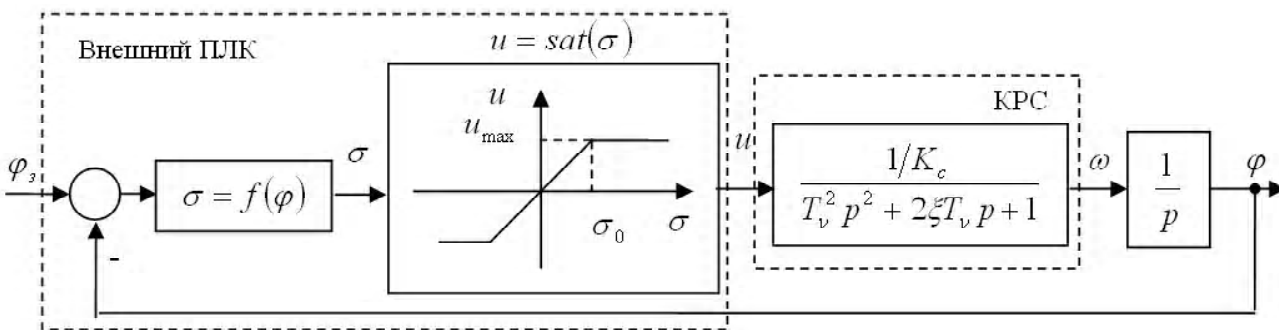


Рис. 1. Структурная схема позиционного электропривода механизма подачи

мизации энергетических затрат на обработку начальных условий принимает вид

$$\min_{\sigma} J = \int_0^{\infty} (\alpha(x_1)x_1^2 + c\sigma^2) dt. \quad (6)$$

Таким образом, задача отыскания минимума функционала качества сводится к классической задаче решения задачи Летова-Каллмана о нахождении минимума квадратичного функционала качества [9].

Функциональное уравнение Беллмана принимает вид

$$\alpha(x_1)x_1^2 + c\sigma^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1}x_2 + \frac{\partial V}{\partial x_2}x_3 + \frac{\partial V}{\partial x_3}(-a_1x_2 - a_2x_3 + bq(\sigma)\sigma) = 0. \quad (7)$$

После осуществления процедуры нахождения экстремума, получаем закон управления в явном виде

$$\sigma = -\frac{bq(\sigma)}{2c} \frac{\partial V}{\partial x_3}. \quad (8)$$

Тогда уравнение Гамильтона-Якоби-Беллмана для замкнутой системы имеет вид

$$\alpha(x_1)x_1^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1}x_2 + \frac{\partial V}{\partial x_2}x_3 + \frac{\partial V}{\partial x_3} \times (-a_1x_2 - a_2x_3) = \frac{b^2q^2(\sigma)}{4c} \left( \frac{\partial V}{\partial x_3} \right)^2. \quad (9)$$

В соответствии с методикой, изложенной в [4, 5], процедуру синтеза с использованием метода инвариантного вложения проведем в виде следующей последовательности этапов.

Первый этап. Осуществляется решение задачи АК для линеаризованной системы (3) и квадратичного функционала «в малом», то есть при  $q(\sigma) = q_1$ ,  $\alpha(x_1) = \alpha_1$ . При этом приходим к решению уравнения Риккати вида

$$\alpha_1x_1^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1}x_2 + \frac{\partial V}{\partial x_2}x_3 + \frac{\partial V}{\partial x_3}(-a_1x_2 - a_2x_3) = \frac{b^2q_1^2}{4c} \left( \frac{\partial V}{\partial x_3} \right)^2. \quad (10)$$

При  $q_1$  и  $\alpha_1$  находим коэффициенты функции Беллмана. Тогда уравнение регулятора при решении задачи «в малом» запишется так:  $U_M = -k_1x_1 - k_2x_2 - k_3x_3$ .

Второй этап. Осуществляется решение задачи АК для линеаризованной системы (3) и квадратичного функци-

онала «в большом», то есть при  $q(\sigma) = q_2$ ,  $\alpha(x_1) = \alpha_2$ . При этом приходим к решению уравнения Риккати вида

$$\alpha_2x_1^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1}x_2 + \frac{\partial V}{\partial x_2}x_3 + \frac{\partial V}{\partial x_3}(-a_1x_2 - a_2x_3) = \frac{b^2q_2^2}{4c} \left( \frac{\partial V}{\partial x_3} \right)^2. \quad (11)$$

При  $q_2$  и  $\alpha_2$  находим коэффициенты функции Беллмана. Тогда уравнение регулятора при решении задачи «в большом» запишется так:  $U_B = -k'_1x_1 - k'_2x_2 - k'_3x_3$ .

Третий этап. Определяются новые допустимые управления и осуществляется сшивание «мгновенных значений» управляющих воздействий  $u_M$  и  $u_B$ , справедливых для различных областей фазового пространства. Коэффициенты регулятора  $k_1, k_2, k_3$  являются функциями переменных состояния и весовой константы функционала качества, поэтому управляющими воздействиями полагаем вариации параметров  $\Delta k_1, \Delta k_2, \Delta k_3$  [5, 6]. Тогда управление «в большом» принимает вид

$$u_B = -\left( \sum_{i=1}^3 k_i x_i + \sum_{j=1}^3 \Delta k_j x_j \right) = -(u_M + \sum_{j=1}^3 \Delta k_j x_j). \quad (12)$$

Минимизируемый неклассический функционал (критерий обобщенной работы Красовского А. А.) [10], отвечающий требованиям динамической точности и минимума затрат на управление, имеет вид

$$\min_{\Delta k_1, \Delta k_2, \Delta k_3} J_3 = \int_0^{\infty} \left[ \alpha_2x_1^2 + \sum_{j=1}^5 c_j \Delta k_j^2 + \sum_{j=1}^5 \frac{x_j^2}{4c_j} \cdot \left( bq_2 \frac{\partial V}{\partial x_3} \right)^2 \right] dt. \quad (13)$$

Подставляя (3) в (2), получим

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= x_3, \\ \dot{x}_3 &= -a_1x_2 - a_2x_3 - \\ &- b \cdot q_2 \cdot \left( \sum_{i=1}^5 k_i x_i + \sum_{j=1}^5 \Delta k_j x_j \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Для системы уравнений (14) и минимизируемого функционала (13) составим функциональное уравнение Беллмана

$$\begin{aligned} \min_{\Delta k_1, \Delta k_2, \Delta k_3} & \alpha_2 x_1^2 + \sum_{j=1}^3 c_j \Delta k_j^2 + \\ & + \sum_{j=1}^3 \frac{x_j^2}{4c_j} \cdot \left( bq_2 \frac{\partial V}{\partial x_3} \right)^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1} \cdot x_2 + \\ & + \frac{\partial V}{\partial x_2} \cdot x_3 + \frac{\partial V}{\partial x_3} \cdot (-a_1 x_2 - a_2 x_3 - \\ & - bq_2 \cdot \sum_{i=1}^5 k_i x_i - bq_2 \cdot \sum_{j=1}^3 \Delta k_j x_j) = 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Реализуя процедуру минимизации, получаем

$$\Delta k_i = \frac{bq_2}{2c_i} \cdot \frac{\partial V}{\partial x_3} \cdot x_i, \quad i = \overline{1,3}. \quad (16)$$

Подставляем уравнения (16) в (15) и получаем модификацию уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана в замкнутой форме

$$\begin{aligned} \alpha_2 x_1^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1} \cdot x_2 + \frac{\partial V}{\partial x_2} \cdot x_3 + \frac{\partial V}{\partial x_3} \times \\ \times (-a_1 x_2 - a_2 x_3 - bq_2 \cdot \sum_{i=1}^3 k_i x_i) = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

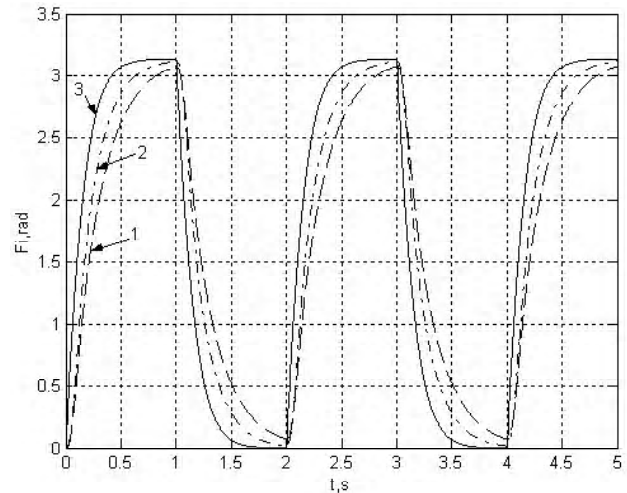
Решение уравнения (17) будем искать в виде квадратичной формы

$$V(x_1, x_2, x_3) = \sum_{ij=1}^3 k_{ij} x_i x_j. \quad (18)$$

Подставляем (18) в (17), находим коэффициенты квадратичной формы и подставляем их в уравнение регулятора, получаем

$$\begin{aligned} \sigma = \sum_{i=1}^3 k_i x_i + \sum_{i=1}^3 \left( \frac{bq_2}{c_1} x_1^2 + \frac{bq_2}{c_2} x_2^2 + \right. \\ \left. + \frac{bq_2}{c_3} x_3^2 \right) \sum_{j=1}^3 k_{j3} x_j. \end{aligned} \quad (19)$$

С целью исследования динамики замкнутой системы было проведено цифровое моделирование. Переходные процессы по положению вала двигателя при использовании в контуре классического ПИД-регулятора, регулятора с упреждающей связью и синтезированного нелинейного регулятора отображены на рис. 2.



**Рис. 2.** Графики переходных процессов по углу поворота вала двигателя при использовании стандартного ПИД-регулятора положения (кривая 1), регулятора положения с упреждающей связью (кривая 2) и синтезированного нелинейного субоптимального регулятора (кривая 3)

## ВЫВОДЫ

Анализ графиков показывает, что качество переходного процесса в системе с нелинейным регулятором существенно выше, чем с традиционным ПИД-регулятором. Использование предложенного регулятора позволяет значительно сократить время переходного процесса. Это позволяет либо увеличить производительность упаковочной установки за счет изменения сигнала задания с внешнего контроллера, либо обеспечить более качественную запайку пакета с помощью термонагревателя. Дальнейшее улучшение качества регулирования возможно за счет решения задачи аналитического конструирования при классическом функционале. Однако, это приведет к необходимости отыскания функции Беллмана в виде последовательности степенных форм, что существенно усложнит процедуру синтеза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Торопов, А. В.* Особенности построения систем позиционирования в упаковочных автоматических установках на базе серийных преобразователей частоты Lenze / А. В. Торопов, Д. А. Абдураманов // *Електромеханічні та енергозберігаючі системи*, Випуск 3/2012 (19). – С. 158–160.
2. Производство упаковочного оборудования / ООО «НПП ИНТА», Киев, 2012. – <http://inta.org.ua/> – режим доступа: свободный. – Заглавие с экрана.
3. Производство упаковочного оборудования / ООО «НПП Интермаш», Киев, 2012 – <http://www.intermash.kiev.ua/> – режим доступа: свободный. – Заглавие с экрана.
4. *Абдураманов, Д. А.* Регулируемый электропривод механизмов подачи упаковочного оборудования / Д. А. Абдураманов, А. В. Торопов // *Упаковка*. – 2008. – № 6. – С. 40–42.

5. Кудин, В. Ф. Аналитическое конструирование нелинейных регуляторов с помощью метода гармонической линеаризации / В. Ф. Кудин, А. В. Кудин // Известия высших учебных заведений. – Электромеханика. – 1989. – № 9. – С. 60–67.
6. Кудин, В. Ф. К вопросу построения нелинейного регулятора методом динамического программирования / В. Ф. Кудин // Автоматика, АН УССР. – 1968. – № 1. – С. 32–38.
7. Александров, А. Г. Оптимальные и адаптивные системы / А. Г. Александров. – М. : Высшая школа, 1989. – 263 с.
8. Kudin, V. F. Suboptimal control of crane moving mechanism considering damping of load / V. F. Kudin, M. V. Pechenik, S. P. Kolesnichenko // 16 International Conference on Soft Computing MENDEL 2010, Brno, Czech Republic, June 23–25. – P. 381–386.
9. Летов, А. М. Динамика полета и управление / А. М. Летов. – М. : Наука, 1969. – 359 с.
10. Справочник по теории автоматического управления. Под редакцией А. А. Красовского. – М. : Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 712 с.

Стаття надійшла до редакції 02.12.2012.

Після доробки 24.01.2013.

Кудин В. Ф.<sup>1</sup>, Торопов А. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна

<sup>2</sup>Канд. техн. наук, старший викладач, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна

### СУБОПТИМАЛЬНЕ НЕЛІНІЙНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПАКУВАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

У статті розглядається задача синтезу нелінійного регулятора положення електропривода «живильника» пакувального механізму. Для знаходження субоптимального закону керування використаний метод динамічного програмування з використанням концепції методу інваріантного «занурення». Здійснено моделювання та зроблений порівняльний аналіз електропривода зі стандартними лінійними регуляторами положення, а також з синтезованим нелінійним регулятором.

**Ключові слова:** електропривод «живильника»; субоптимальне нелінійне керування; контур регулювання положення; метод інваріантного «занурення»; метод динамічного програмування; пакувальний механізм.

Kudin V. F.<sup>1</sup>, Toropov A. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doctor of Science, professor, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

<sup>2</sup>Ph.D., Senior Lecturer, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

### SUBOPTIMAL NONLINEAR CONTROL OF PACKAGING MACHINERY DRIVE

This paper deals with the procedure of synthesis of a nonlinear position controller for the «feeder» of packaging mechanism. The mathematical model of «feeder» drive with regard to the restriction on the control output of external PLC. Linearization of nonlinear characteristic by the «secants» method is implemented and selected functional quality that defines the minimal time of transients is selected. Quality functional in the form of a quadratic functional with a variable weighting factor is presented. To find the suboptimal control law, the method of dynamic programming method using the concept of an invariant «immersion» is used. In this case, the original nonlinear problem is decomposed into several linear optimal control problems. The problem of synthesis of the position controller «in the small» and «in the large» is solved; the analytical expressions for the control actions are obtained. As a result of the synthesis of the nonlinear control law, containing linear and cubic components of the state variables is obtained. The dynamic characteristics of the «feeder» drive with the standard linear position control, as well as synthetic nonlinear control method of digital simulation are presented.

**Keywords:** «feeder» drive; suboptimal nonlinear control, position control loop, invariant «immersion» method, dynamic programming method, packaging machinery.

### REFERENCES

1. Toropov A. V., Abduramanov D. A. Osobennosti postroeniya sistem pozicionirovaniya v upakovochnykh avtomaticheskikh ustanovkakh na baze serijnykh preobrazovatelej chastoty Lenze, *Elektromehanični ta energozberigajuchi sistemi*, Vypusk 3, 2012 (19), pp. 158–160.
2. Proizvodstvo upakovochного oborudovanija/ ООО «NPP INTA», Kiev, 2012, <http://inta.org.ua/> – rezhim dostupa: svobodnyj, Zaglavie s ekrana.
3. Proizvodstvo upakovochного oborudovanija/ ООО «NPP Intermash», Kiev, 2012, <http://www.intermash.kiev.ua/> – rezhim dostupa: svobodnyj, Zaglavie s ekrana.
4. Abduramanov D. A., Toropov A. V. Reguliruemij elektroprivod mehanizmov podachi upakovochного oborudovanija, *Upakovka*, 2008, No. 6, pp. 40–42.
5. Kudin V. F., Kudin A. V. Analiticheskoe konstruirovanie nelinejnykh reguljatorov s pomoshh'ju metoda garmonicheskoy linearizacii, *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij, Elektromehanični ta energozberigajuchi sistemi*, 1989, No. 9, pp. 60–67.
6. Kudin V. F. K voprosu postroeniya nelinejnogo reguljatora metodom dinamicheskogo programmirovaniya. *Avtomatika, AN USSR*, 1968, No. 1, pp. 32–38.
7. Aleksandrov A. G. Optimal'nye i adaptivnye sistemy. Moscow, Vysshaja shkola, 1989, 263 p.
8. Kudin V. F., Pechenik M. V., Kolesnichenko S. P. Suboptimal control of crane moving mechanism considering damping of load, *16 International Conference on Soft Computing MENDEL 2010, Brno, Czech Republic, June 23–25*, pp. 381–386.
9. Letov A. M. Dinamika poleta i upravlenie. Moscow, Nauka, 1969, 359 p.
10. Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravlenija. Pod redakciej A. A. Krasovskogo. Moscow, Nauka. Gl. red. fiz.-mat. Lit., 1987, 712 p.

## ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Журнал «Радіоелектроніка, інформатика, управління» (PIU) призначений для публікації найбільш значимих наукових і практичних результатів досліджень учених вищих навчальних закладів і наукових організацій.

Журнал включений у перелік наукових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття вчених ступенів доктора і кандидата технічних наук і фізико-математичних наук (радіофізика).

Статті, що опубліковано в журналі, реферуються в реферативних журналах і базах даних ВІНІПІ (Росія) і «Джерело» (Україна). Журнал міститься у міжнародній базі наукових видань Index Copernicus (<http://journals.indexcopernicus.com/index.php>). Інтернет-сторінка журналу: <http://journal.zntu.edu.ua/ric/index.php?page=index>.

Журнал видається двічі на рік і розповсюджується за Каталогом періодичних видань України (передплатний індекс – 22914).

Для розгляду питання про публікацію статті до редакції журналу необхідно вислати поштою або представити особисто наступне:

- 1) рукопис (роздруковку) статті, підписаний на останній сторінці всіма авторами, в двох примірниках;
- 2) відомості про авторів;
- 3) оригінал експертного висновку про можливість відкритого опублікування статті;
- 4) супровідний лист-клопотання з організації, де була виконана робота (або лист автора);
- 5) рецензію від фахівця в даній галузі з вченим ступенем доктора наук. Підпис рецензента обов'язково мусить бути завіреним.
- 6) диск з наступними файлами:
  - електронна версія статті, повністю ідентична роздруковці;
  - відомості про авторів;
  - рисунки у графічному форматі .tif.

Файли з матеріалами статті можна надіслати електронною поштою або передати особисто на оптичному диску або USB-накопичувачі.

**Вимоги до оформлення статті.** Приймаються статті, набрані в редакторі Microsoft Word.

Параметри сторінки:

- розмір паперу – А4 (210x297);
- орієнтація – книжкова;
- шрифт – Times New Roman, розмір – 12 pt;
- міжрядковий інтервал – полуторний;
- верхнє поле – 20 мм, нижнє – 20 мм, лівє – 25 мм, правє – 15 мм.

Сторінки рукопису повинні бути пронумеровані. Не допускаються розбіжності рукопису з електронною версією статті. Текст рукопису не повинен мати рукописних виправлень та позначок.

**Послідовність розміщення матеріалу статті:**

- 1) індекс УДК;
- 2) прізвища й ініціали авторів, назва статті, анотація й ключові слова мовою статті;
- 3) текст статті;
- 4) список літератури;
- 5) прізвища й ініціали авторів, назва статті, анотація й ключові слова російською мовою (якщо мова статті – українська) або українською (якщо мова статті – російська);
- 6) прізвища й ініціали авторів, назва статті, анотація й ключові слова англійською мовою;
- 7) транслітерований список літератури.

**Анотації** повинні бути інформативними, змістовними (відбивати основний зміст статті та результати досліджень) та структурованими (відбивати логіку опису результатів у статті). **Рекомендований обсяг україномовної та російськомовної анотації приблизно 50 слів, англійськомовної – 100–150 слів (вимоги науково-метричної бази SCOPUS).**

**Ключові слова** наводяться в називному відмінку у кількості до десяти слів.

**Текст статті.** Приймаються статті російською, українською та англійською мовами. Розмір статті до 0,5 авторського аркуша. У статті слід уникати зайвої деталізації, проміжних формул і висновків; не слід наводити відомі факти, повторювати зміст таблиць і ілюстрацій у тексті. Стаття не повинна мати граматичних або інших помилок, а також повинна відповідати тематиці журналу й вимогам щодо фахових видань.

**Структура** тексту статті мусить містити такі необхідні елементи: постановка проблеми в загальному виді і її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких розпочато розв'язання даної проблеми, і на які опирається автор; виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів, висновки по даному дослідженню й перспективи подальших досліджень у даному напрямку. Матеріал публікації мусить бути розбитий на підрозділи не більше двох рівнів.

**Рисунки** розміщуються в тексті й додатково додаються в окремих файлах (формат .tif з роздільною здатністю 150–300 dpi, чорно-білі або у градаціях сірого). Розмір рисунків не повинен перевищувати ширини сторінки (17 см) або ширини колонки (8 см). Написи на рисунках бажано виконувати шрифтом Times New Roman, розмір 10. Рисунки нумерують і підписують унизу.

**Формули** виконуються за допомогою вбудованого в Word редактора Microsoft Equation. Формули нумерують у круглих дужках праворуч. Формули великого розміру записуються в кілька рядків.

**Нумерація** рисунків, формул і таблиць наскрізна однорівнева.

**Список літератури** наприкінці статті подається мовою оригіналу і складається в порядку згадування посилань у тексті й відповідно до діючого стандарту на бібліографічний опис. Посилання на літературу в тексті нумеруються послідовно й позначаються цифрою у квадратних дужках.

**Транслітерований список літератури**, відповідно до вимог науково-метричної бази SCOPUS, є повним аналогом списку літератури і виконується на основі транслітерації мови оригіналу латиницею.

Посилання на англійські джерела не транслітеруються. Транслітерація української мови латиницею виконується на основі Постанови КМУ №55 від 27 січня 2010 р., російської – на основі ГОСТ 7.79-2000 (ISO 9-95). Приклади транслітерації розміщені на сайті журналу.

**У відомостях про авторів** необхідно навести:

- 1) прізвище, ім'я, по батькові (повністю);
- 2) учений ступінь;
- 3) посаду;
- 4) місце роботи;
- 5) електронну адресу;
- 6) робочий, домашній, мобільний телефони.

Статті, які не відповідають зазначеним вимогам, не приймаються до розгляду.

Всі статті проходять закриті рецензування і в разі потреби можуть бути повернуті автору на доробку. Редакція залишає за собою право на літературну редакцію тексту статті без повідомлення автору.

Рукописи й диски не вертаються, коректура та відбитки статей авторам не надсилаються.

**Адреса редакції:** 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, ЗНТУ, редакція журналу «PIU».

Тел. (061) 7-698-2-96 – редакційно-видавничий відділ.

Тел./факс: (061) 7-644-6-62 – головний редактор.

E-mail: [rvv@zntu.edu.ua](mailto:rvv@zntu.edu.ua)



*Наукове видання*

**Радіоелектроніка,  
інформатика,  
управління**

**№ 1/2013**

**Науковий журнал**

Головний редактор – д-р фіз.-мат. наук Погосов В. В.

Заст. головного редактора – канд. техн. наук Дубровін В. І.

Комп'ютерне моделювання та верстання  
Редактор англійських текстів

Зуб С. В.  
Сіренко О. С.

Оригінал-макет підготовлено у редакційно-видавничому відділі ЗНТУ

*Підписано до друку 25.06.2013. Формат 60×84/8.*

*Папір офс.Різогр. друк Ум. друк. арк. 19,07.*

*Тираж 300 прим. Зам. № 845.*

*69063, м. Запоріжжя, ЗНТУ, друкарня, вул. Жуковського, 64*