

УДК 331.45

## USING MULTI-AGENT TECHNOLOGIES TO INCREASE THE LEVEL OF SAFETY IN THE ENERGY SECTOR OF FOOD INDUSTRY

A. Siryk, O. Yevtushenko

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Safety of work  
Labor protection  
Intelligent agent  
Power facilities  
Management  
information system  
Multi-agent technology  
Food industry*

---

**Article history:**

Received 20.09.2016

Received in revised form  
13.10.2016

Accepted 27.10.2016

---

**Corresponding author:**

A. Siryk

**E-mail:**

[npuht@ukr.net](mailto:npuht@ukr.net)

---

**ABSTRACT**

This research addresses the actual scientific issue of developing models and methods to increase the level of safety in the energy sector of food industry using multi-agent technologies. The scientific results of the research contribute to the development of theoretical and applied foundations of the development of methods, management systems and control of security operations and state of labor protection, including the use of information systems for supporting and adopting the decisions concerning labor protection and can be used to improve management decisions on providing working conditions safety in the energy sector of food industry.

## ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИАГЕНТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ГОСПОДАРСТВІ ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

А.О. Сірик, О.В. Євтушенко

*Національний університет харчових технологій*

*У статті вирішено актуальне наукове завдання розробки моделей і методів підвищення рівня безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості на основі використання мультиагентних технологій. Наукові результати досліджень є внеском у розвиток теоретичних і прикладних основ розроблення методик, систем управління та контролю за безпекою робіт і станом охорони праці, зокрема із застосуванням інформаційних систем для підтримки й прийняття рішень з охорони праці, та можуть бути використані при вдосконаленні проектів управлінських рішень щодо забезпечення безпечних умов праці працівників енергетичного господарства підприємств харчової промисловості.*

**Ключові слова:** безпека праці, охорона праці, інтелектуальний агент, енергетичне господарство, інформаційно-керуюча система, мультиагентна технологія, харчова промисловість.

**Постановка проблеми.** Аналіз сучасної економічної обстановки на підприємствах харчової промисловості, зокрема енергетичного господарства, дозволяє зробити висновок про наявність кризової ситуації, що обумовлено насамперед наявністю дефіциту інвестицій. Що практично блокує процес оновлення основних фондів. Наслідком цього є різке падіння технологічної, виробничої, трудової дисципліни, а також безвідповідальне ставлення посадових осіб, виробничого персоналу до виконання правил і норм охорони праці на виробництві, що, у свою чергу, значно впливає на рівень безпеки праці.

В Україні створюється, реконструюється і функціонує велика кількість малих, середніх і великих харчових підприємств, які експлуатують промислові енергетичні установки. Серед безлічі тих, що експлуатуються, значний обсяг займають об'єкти, що почали працювати в минулому столітті з урахуванням вимог і технологій того часу [1]. У зв'язку з цим зросла необхідність у переобладнанні та перебудові виробництва, перепрофілюванні технологічного процесу для заміни обладнання новим, більш досконалим, проведенні автоматизації наявних виробничих процесів або запровадженні принципово нових технологій [2; 3].

Незважаючи на досягнуті результати багатьох вчених у галузі охорони праці, рівень виробничого травматизму все ще досить високий, про що свідчать статистичні дані по виробничому травматизму. Тільки за період з 2003 р. по 2015 р. травми отримали 10482 працівників харчової галузі, з яких 694 — зі смертельним наслідком [4; 5]. У харчовій промисловості існують шкідливі і небезпечні виробничі чинники, що призводять до травматизму, запобігання яким значною мірою залежить від своєчасного вибору сукупності заходів реагування та профілактики цього небажаного явища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у вирішення проблеми безпеки виробничих процесів внесли вітчизняні та зарубіжні вчені: О.І. Амоша, Ю.Ф. Булгаков, А.О. Водяник, О.В. Войналович, В.А. Глива, Г.Г. Гогіташвілі, А.О. Гурін, О.І. Запорожець, В.Г. Здановський, Ф.С. Клебанов, В.І. Козлов, О.Є. Кружилко, О.Є. Лапшин, О.Г. Левченко, М.О. Лисюк, М.В. Назаренко, К.Н. Ткачук та ін.

Питання комплексної оцінки і методики формування плану заходів щодо запобігання виробничому травматизму розглянуто в працях Б.О. Білінського, В.В. Майстренка, М.М. Мотрича, Н.А. Праховнік, І.М. Подобєда, Н.В. Ступницької, С.В. Шапошникової та ін.

Незважаючи на значну кількість наукових джерел, у яких розглядаються питання організації безпеки праці і запобігання травматизму в різних галузях промисловості України, проблеми автоматизації процесу вибору сукупності заходів щодо підвищення рівня безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств потребують більш глибокого вивчення.

Разом з тим, підвищення рівня безпеки виробництва вимагає значних капіталовкладень на його переоснащення, перенавчання персоналу. У такому

випадку виникає протиріччя, пов'язане, з одного боку, з необхідністю підвищення рівня безпеки праці, що неодмінно призводить до збільшення витрат та здорожчання собівартості продукції, з іншого, — до зменшення виробничих витрат, що може призвести до збільшення виробничого травматизму.

Одним із перспективних наукових напрямків вирішення зазначеного протиріччя є використання мультиагентних технологій в інформаційно-керуючих системах сучасних енергетичних господарств підприємств харчової промисловості, що дозволить керівнику енергетичного господарства ефективно використовувати різні сукупності заходів у рамках загальної множини нормативно-правових документів для підвищення рівня безпеки праці.

На сучасних підприємствах харчової промисловості, зокрема і в енергетичному господарстві таких підприємств, широко використовуються інформаційно-керуючі системи. За допомогою таких систем керівник енергетичного господарства спілкується з диспетчерами, черговими енергетиками, дільничними підрозділами та іншими. Крім того, дані системи можуть бути використані для пошуку рішення щодо вибору сукупності заходів щодо підвищення рівня безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості [6; 7].

Проблема забезпечення стійкості функціонування складних інтелектуальних інформаційно-керуючих систем, до яких можна віднести енергетичне господарство підприємств харчової промисловості, вперше була порушена в дослідженні О.А. Машкова [8]. Ключові положення теорії функціональної стійкості згодом були розвинені в працях О.В. Барабаша [9] та інших. Питання верифікації елементів бази знань інформаційно-керуючих систем розглядалися в [11—13].

**Метою статті** є підвищення рівня безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості на основі використання мультиагентних технологій.

**Викладення основних результатів дослідження.** Завдання підвищення рівня безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості найбільш доцільно вирішити шляхом запровадження в інформаційно-керуючу систему компонентів — інформаційних об'єктів та інтелектуальних агентів [6].

Процес удосконалення функціонування системи управління охороною праці (СУОП) вимагає раціональної організації і чіткої взаємодії керівника енергетичного господарства та керівників усіх структурних підрозділів, а також ефективної взаємодії з галуззю, відповідними державними органами та виконання всіх нормативно-правових актів.

На сьогодні важливим є підвищення рівня інтелектуальності спеціалізованих керуючих систем, що впливає з обмеженості традиційного інформаційного підходу. В рамках загальної концепції побудови інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості сформульовано агентно-орієнтований підхід до інтелектуальної взаємодії компонентів.

Інтелектуальний агент (ІА) — це програмний або апаратний об'єкт, що автономно функціонує для досягнення цілей, поставлених перед ним

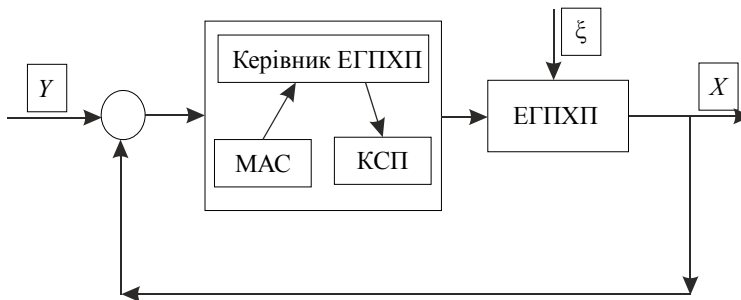
власником або користувачем, володіє певними інтелектуальними здібностями [10]. Однак завдання створення методики проектування інтелектуальних інформаційно-керуючих систем для таких складних об'єктів, як енергетичне господарство, не вирішене. Вимагають подальшого дослідження і розробки такі питання, як: розробка моделі об'єкта інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості; побудова моделі інтелектуального агента для інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості; побудова моделі пошуку рішення щодо вибору сукупності заходів щодо підвищення рівня безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості; розробка методики зберігання і пошуку нормативно-правових документів в інформаційно-керуючій системі енергетичного господарства підприємств харчової промисловості.

У загальному випадку модель інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості можна подати у такому вигляді (рис. 1.)

Відповідно до мети дослідження, завдання підвищення рівня безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості на основі використання мультиагентних технологій у формалізованому вигляді можна визначити як:

$$R(\text{БП}) \rightarrow \max,$$

де  $R(\text{БП})$  — рівень безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості при накладенні обмеження на вартість заходів  $C \leq C_{\text{доп}}$ .



**Рис. 1. Загальна модель інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості:**  $Y$  — вектор нормативно правової бази;  $K$  ЕГПХП — керівник енергетичного господарства підприємства харчової промисловості; МАС — мультиагентна система; КСП — керівники службових підрозділів;  $\xi$  — дестабілізуючі фактори;  $X$  — вектор стану безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості

Як метод побудови програмних продуктів для інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості обрано об'єктно-орієнтоване програмування [12]. Необхідним базисом для формалізації інтелектуальних компонентів ІКС є модель інформаційного

об'єкта (ІО), яка повинна будуватися в рамках певної формалізованої системи. Як математичний апарат такої системи доцільно використати логіку першого порядку.

Інформаційний об'єкт пропонується визначити таким чином:

$$O := \langle N_o, \{A\}, \{O\}, \{F\} \rangle, \quad (1)$$

де  $N_o$  — ім'я об'єкта;  $\{A\}$  — множина атрибутів об'єкта ( $A_0, \dots, A_n$ ), де  $A_i$  —  $i$ -й атрибут інформаційного об'єкта;  $\{O\}$  — множина об'єктів, які структурно входять до даного об'єкта, ( $O_{NO_1}, O_{NO_2}, \dots, O_{NO_m}$ ), де  $O_{NO_i}$   $i$ -й підпорядкований об'єкт об'єкту з ім'ям  $N_o$ ;  $\{F\}$  — множина функцій, які виконує даний інформаційний об'єкт.

Введення поняття «множина функцій» дозволяє природним чином розділити інформаційні об'єкти (ІО) на два класи: активні ( $\{F\} \neq \emptyset$ ) і пасивні ( $\{F\} = \emptyset$ ). Взаємодія ІО здійснюється через прийом і передачу пасивних інформаційних об'єктів (ПІО), при цьому в множині функцій активних ІО можуть породжуватися необхідні ПІО і передаватися іншому ІО.

Для опису функціонування об'єктів в об'єктно-орієнтованій системі використовується модель скінченого автомата. Для формалізації функціональної моделі ІО використовується:  $\{R\}$  — множина ПІО, що приймаються даним об'єктом;  $\{T\}$  — множина ПІО, які передаються даним ІО.

Функціональна модель ІО оперує з множинами  $\{A\}$ ,  $\{R\}$  і  $\{T\}$ . Оскільки для кожного атрибута  $A_i$  множина, на якій він визначений, —  $S_{A_i}$ , може мати різну природу, то елементи цієї множини можна інтерпретувати досить широко: як програмні коди, виклики функцій операційної системи, графічні структури тощо.

Виділено 2 типи станів ІО у функціональній моделі:

а) стани, в яких можливий прийом елементів множини  $\{R\}$ , надалі позначених як  $R_i$ ;

б) стани, в яких неможливий прийом  $R_i$ .

Оскільки множина функцій повинна враховувати співвідношення атрибутів і зміст  $R_i$ , то також введено предикати, які утворюватимуть множину допустимих предикатів:  $\{P_r\} = (P_{r_1}, P_{r_2}, \dots, P_{r_\phi})$ . Для аналізу складних умов і співвідношень будуватимемо формули над предикатами в мові числення висловлювань, позначаючи їх  $F(P_r)$ , або  $F$ .

Алфавіт числення для  $K_{\text{ФМ}}$ :  $A = (\{R\}, \{T\}, \{A\}, \{S\}, \{P_r\}, \&, \vee, (, ), \neg, \rightarrow, \xi, \nabla, \emptyset)$ , де  $\{S\}$  — множина станів ІО;  $\xi$  — символ порожнього слова. До нього включаємо символи мови ІО для побудови формул  $F$ . Алфавіт змінних включатиме змінні  $P = (p, q, f, hA)$ , де  $p$  — послідовність вхідних ПІО;  $q$  — послідовність вихідних ПІО;  $f$  — послідовність формул з предикатами  $P_r$  в ІО;  $hA$  — список атрибутів ІО, для якого будується функціональна модель.

Аксиому числення задамо як  $A = (\emptyset \xi S_0 \xi hA(0) \xi \emptyset \xi \emptyset)$ , де  $\emptyset$  означає порожній стан змінної, а під  $hA(0)$  розуміється список вигляду  $hA(0) = \langle\langle N_{A1}, S_{A1}, V_{A1}(0)\rangle; \langle N_{A2}, S_{A2}, V_{A2}(0)\rangle; \dots \langle N_{An}, S_{An}, V_{An}(0)\rangle\rangle$ , де  $V_{Ai}(0)$  позначає значення  $i$ -го атрибуту у момент часу  $t = 0$ , тобто у момент початку функціонування ІО.

Правила виводу для числення  $K_{\text{ФМ}}$  будуватимемо як схеми правил, оскільки в конкретній функціональній моделі виходитиме різна кількість правил виводу, які мають вигляд, що відповідає запропонованим схемам:

$$\text{Схема 1: } R_i p \xi S_0 \xi hA(0) \xi q \xi f \Rightarrow p \xi S_i \xi hA(R_i) \xi q, T_i \xi f, F_i;$$

$$\text{Схема 2: } R_i p \xi S_0 \xi hA(0) \xi q \xi f \Rightarrow \nabla p \xi S_i \xi hA(R_i) \xi q, T_i \xi f, F_i.$$

Схеми 1 і 2 задають правила, що виводять зі стану  $S_0$  в стани типу а) і б) відповідно. Для позначення неможливості обробки вхідної послідовності  $R_i$  використовується службовий символ  $\nabla$ . У цих схемах породжується вихідний ПІО  $T_i$ , і формула  $F_i$ , при цьому допускаємо можливість завдання  $T_i = \emptyset$  і  $F_i = \emptyset$ , що дозволяє уникнути зайвих схем виводу.

$$\text{Схема 3: } R_i p \xi S_i \xi hA \xi q \xi f \Rightarrow p \xi S_j \xi hA(R_i) \xi q, T_j \xi f, F_j;$$

$$\text{Схема 4: } R_i p \xi S_i \xi hA \xi q \xi f, F_i \Rightarrow p \xi S_j \xi hA(R_i) \xi q, T_j \xi f.$$

Схеми 3 і 4 визначають переходи із станів типу а) в стани типу а), з аналізом істинності  $F_i$  або без аналізу. Допускаємо також, що в  $F_i$  може бути задана формула  $(\neg F_i)$ , тобто перевіряється істинність заперечення певної формули. Таке розширення допустиме, оскільки у численні висловлювань істинність або помилковість будь-якого вислову може бути точно встановлена. Оброблена формула  $F_i$  виключається з подальшого процесу виводу. При циклічній поведінці ІО необхідна формула може знову породжуватися схемами 3.

$$\text{Схема 5: } R_i p \xi S_i \xi hA \xi q \xi f \Rightarrow \nabla p \xi S_j \xi hA(R_i) \xi q, T_j \xi f, F_j;$$

$$\text{Схема 6: } R_i p \xi S_i \xi hA \xi q \xi f, F_i \Rightarrow \nabla p \xi S_j \xi hA(R_i) \xi q \xi f.$$

Схема 5 задає перехід із стану типу а) в стан типу б) без аналізу  $F$ , а схема 6 — з аналізом  $F$ .

$$\text{Схема 7: } \nabla p \xi S_i \xi hA \xi q \xi f \Rightarrow p \xi S_j \xi hA(R_i) \xi q, T_j \xi f, F_j;$$

$$\text{Схема 8: } \nabla p \xi S_i \xi hA \xi q \xi f, F_i \Rightarrow p \xi S_j \xi hA(S_i) \xi q, T_j \xi f;$$

$$\text{Схема 9: } \nabla p \xi S_i \xi hA \xi q \xi f \Rightarrow \nabla p \xi S_j \xi hA(S_i) \xi q, T_j \xi f, F_j;$$

$$\text{Схема 10: } \nabla p \xi S_i \xi hA \xi q \xi f, F_i \Rightarrow \nabla p \xi S_j \xi hA(S_i) \xi q, T_j \xi f.$$

Схеми 7, 8 визначають переходи із станів типу б) в стани типу а), а схеми 9 і 10 із станів типу б) в стани типу б). У цих схемах правил закладається можливість повернення в стан  $S_0$  і зупинки при переході в такий стан  $S_j$ , з якого немає можливості подальшого виводу.

У схемах правил виводу 1—10 в загальному вигляді задаються функціональні перетворення  $hA(S_i)$ , які можна визначити як перетворення над значеннями атрибутів:  $V_{Ai} := f_{(k)}(V_{A\phi 1}, \dots, V_{A\phi k})$ , де  $k$  — кратність функціонального символу,  $V_{A\phi i}$  —  $i$ -й аргумент функції  $f(k)$ , узятий із списку значень атрибутів.

Отже, вперше розроблено математичну модель інформаційного об'єкта інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості, яка заснована на додатковій множині функцій, що описують вимоги законодавчо-нормативних документів з охорони праці. Дана модель забезпечує можливість трансформації об'єкта у процесі функціонування, а також зв'язок програмних об'єктів з інтелектуальними агентами.

На підставі аналізу характеристик і недоліків відомих моделей інтелектуальних агентів (IA) пропонується визначити IA як структуру вигляду:  $IA = \langle N_{IA}, S_A, V_{IA}, M_{VB}, VO \rangle$ , де  $N_{IA}$  — ім'я інтелектуального агента;  $S_A$  — структура атрибутів, яка визначається аналогічно структурі атрибутів для інформаційних об'єктів (IO);  $V_{IA} = \{IA\}$  — множина вкладених IA;  $M_{VB}$  — механізм вибору моделі функціонування;  $VO = \{O\}$  — множина інформаційних об'єктів, що реалізують сценарії роботи IA.

Інтелектуальний агент на підставі критеріїв вибору моделі функціонування, закладених в  $M_{VB}$ , приймає рішення про реалізацію в даний момент часу певного сценарію роботи та ініціалізує відповідний IO. Інформаційний простір інтелектуального агента визначається як сукупність IO та IA, що оточують  $IA_i$  і взаємодіють з ним:  $V_{IA_i} = (AR_{IA}^i, AR_{IO}^i)$ , де

$$AR_{IA}^i = (N_{IA_j}, A_{IA_j}^{\xi}, \dots, A_{IA_j}^{\psi}, N_{IA_l}, A_{IA_l}^{\xi}, \dots, A_{IA_l}^{\psi});$$

$$AR_{IO}^i = (N_{IO_j}, A_{IO_j}^{\xi}, \dots, A_{IO_j}^{\psi}, N_{IO_l}, A_{IO_l}^{\xi}, \dots, A_{IO_l}^{\psi}).$$

Модель вибору поведінки IA може бути подано так:  $M_{VB} = (MIS, MG, MSR, MA)$ , де  $MIS$  — модель інформаційного середовища;  $MG$  — модель цілевизначення;  $MSR$  — модель пошуку рішення;  $MA$  — модель активних дій.

Модель цілевизначення будується таким чином:

$$MG_{IA_i} = (SS_{IA_i}, FSS_{IA_i}, GS_{IA_i}, G_{IA_i}^{top}, G_{IA_i}^{down}, FG_{IA_i}^D, FG_{IA_i}^S, FAG_{IA_i}, SMA_{IA_i}(t)),$$

де  $SS$  — множина стратегій, що розуміються як методи вибору цілей  $SS = (S_i | i = 1, \dots, n)$ ,  $FSS$  — функція вибору стратегії;  $GS$  — множина статичних цілей;  $G^{top}$  — множина цілей, що отримуються даним IA від агентів більш високого рівня ієрархії;  $G^{down}$  — множина цілей, які можуть бути передані IA нижчих рівнів;  $FG^D$  — функція формування динамічних цілей;  $FG^S$  — функція вибору статичних цілей;  $FAG$  — функція вибору активних цілей, тобто цілей, прийнятих до реалізації;  $SMA$  — стан навколишнього мультиагентного оточення.

Під пошуком рішення слід розуміти знаходження шляху досягнення мети або цілей даним IA в поточному стані  $MA$ -оточення (рис. 2). Оскільки різні

структурні підрозділи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості володіють своєю специфікою, в т.ч. і при прийнятті рішень, то навряд чи є можливим застосування універсального методу пошуку рішення для всіх підсистем ІКС.



**Рис. 2. Алгоритм пошуку рішення інтелектуальним агентом**

У запропонованій моделі ІА пропонується такий варіант пошуку рішення: нехай ІА має визначену множину статичних цілей  $GS = \{gs^i \mid i = 1, \dots, n\}$ . Априорі відомі шляхи досягнення цілей, тобто побудовані інформаційні об'єкти  $(IO^i \mid i = 1, \dots, n)$ , функціонування яких повинне вести до  $gs^i$ . У даному випадку кожен ІО покриває певний план. У середині цього плану, тобто в моделі поведінки ІО, можуть бути сформовані довільні повідомлення і довільні послідовності дій. Тоді модель пошуку рішення задається функцією пошуку рішення  $SR: GS \rightarrow VO$  де  $VO$  — множина вкладених ІО  $i$ -го ІА. Це відображення однозначне, але не взаємне, оскільки можливо, що декілька цілей досягаються одним і тим же ІО. Модель активних дій визначається відображенням  $AD: GA \rightarrow VO$ , яке вибирає необхідні для запуску у нинішній момент ІО.

Побудована модель пошуку рішення в узагальненій моделі ІА дозволяє описати такі відомі класи моделей реалізації поведінки, як моделі із зумовленою кінцевою множиною елементарних дій; моделі з множиною планів; моделі з довільними повідомленнями і діями. На основі даної моделі можуть створюватися нові моделі реалізації поведінки ІА, що поєднують механізми різних класів.

Отже, удосконалено математичну модель інтелектуального агента в структурі інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства під-

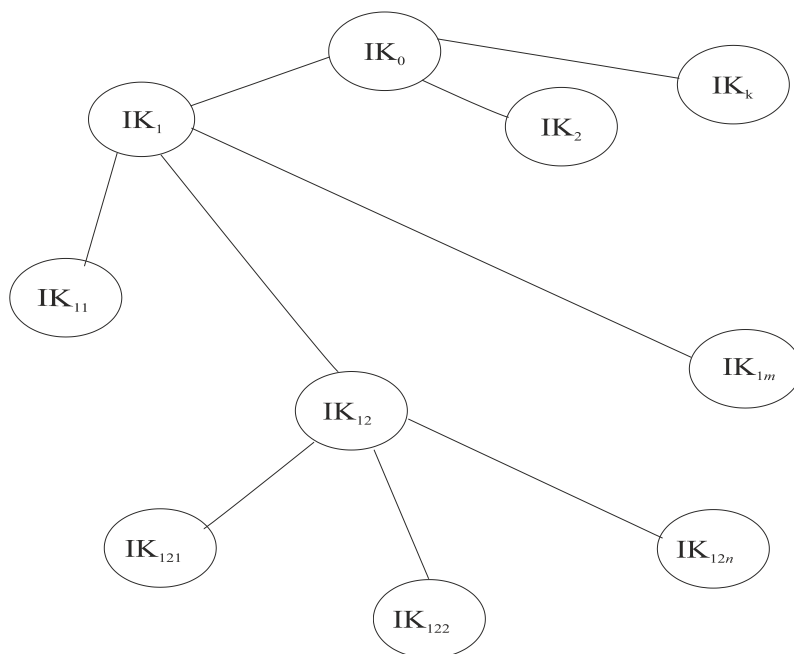


приємств харчової промисловості, яка відрізняється від існуючих інформаційною моделлю виробничого середовища, що описується параметрами шкідливих та небезпечних факторів і використанням субмоделі поведінки й прийняття рішення посадовими особами. Дана модель дає змогу враховувати динаміку зміни вектора стану безпеки праці та зміну вектора нормативно-правової бази щодо безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості. Також запропоновано й обґрунтовано математичні моделі інформаційного об'єкта та інтелектуального агента для інформаційно-керуючої системи (ІКС) [6].

Основою для аналізу і розробки моделей баз знань в ІКС є логічна структура [11]. Логічна структура ІКС повинна розглядатися як структура ієрархічна, з точним визначенням рівнів і підлеглих інтелектуальних компонентів системи.

Це положення обумовлюється тим, що структури організаційного управління мають складну ієрархію (керівник (головний енергетик)-відділи-управління тощо), що визначає адміністративні, виробничо-технічні і економічні зв'язки в проєктованій системі [14]. При цьому, як правило, спостерігається сувора підлеглисть адміністративно-структурних одиниць вищим рівням управління.

Формально ієрархія інтелектуальних компонентів визначається структурою вигляду  $T_{IK} = (I, \Omega)$ , де  $I = \{IK\}$  — множина  $IK$ ,  $\Omega = I : I \rightarrow P$ , де  $P$  — множина ребер, що відповідає матриці інцидентності (рис. 3).



**Рис. 3. Топологія ієрархії інтелектуальних компонентів**

З кожним інтелектуальним компонентом ІКС зв'язуватимемо його формальну об'єктну систему (ФОС), таким чином зазначена ієрархія буде єднальним елементом між логічною і об'єктною структурами ІКС.

Базу знань (БЗ) інтелектуального компонента можна представити у вигляді такої конструкції:  $BZ_{IK_i} = (DD_i, M_{IA}, M_{IO}, BZ_{ФОС})$ , де  $DD_i$  — дерево декомпозиції інтелектуального компонента  $IK_i$ ;  $M_{IA}$  — сукупність моделей ІА, пов'язаних з даним  $IK$ ;  $M_{IO}$  — сукупність моделей інформаційних об'єктів, пов'язаних з даним  $IK$ ;  $BZ_{ФОС}$  — база знань формальної об'єктної системи даного  $IK$ .

Для здійснення виводу застосовується алгоритм МР (Message Passing) [12], але цей алгоритм не надає можливості здійснити виведення цільової формули  $Q$ , коли  $J(Q) \not\subset J\{BZ_k\}$ , тобто сигнатура цільової формули не належить цілком сигнатурі БЗ одного ІК. Для ІКС пошук таких формул цілком можливий, оскільки бази знань ІК зберігають знання певного рівня ієрархії і нові знання (в даному випадку складна цільова формула  $Q$ ) можуть виникати в процесі сумісного виводу по декількох БЗ різних  $IK$ , тому пропонується удосконалений алгоритм, що розвиває й удосконалює алгоритм МР, стосовно баз знань ІКС.

Позначимо як  $T_{IK_i}$  — піддерево дерева інтелектуальних компонентів, що починається з  $IK_i$ ,  $l_i$  — індексу послідовності  $IK_i$ , що однозначно визначає положення  $IK_i$  в ДІК,  $l_d$  — останню цифру індексної послідовності,  $|$  — операцію відсікання в індексній послідовності,  $l_i$  — поточну індексу послідовності. Сигнатура піддерева  $T_{IK_i}$  розуміється як об'єднання  $J(T_{IK_i}) = \bigcup (J(BZ_{ij}) | IK_{ij} \in T_{IK_i})$ .

Початкові дані: дерево інтелектуальних компонентів  $T_{IK_0}$  відповідної ІКС, що включає множину баз знань  $R = \{BZ_i\}_{i \leq n}$  де  $n$  — число ІК в ієрархії;  $Q$  — цільова формула з сигнатурою  $J(Q)$ .

*Крок 1.* Визначається початкова точка процесу логічного виводу. Піддерево  $T_{IK_i}$  вибираємо за найближчим ІК для ІО або ІА, що ініціював процес логічного виводу. Встановлюємо  $l_i, l_i := l_i$ .

*Крок 2.* Проводиться порівняння  $J(Q)$  і  $J(T_{IK_i})$ . Якщо  $J(Q) \not\subset J\{T_{IK_i}\}$ , то виведення  $Q$  в піддереві  $T_{IK_i}$  неможливе. Перехід до кроку 6, інакше до кроку 3.

*Крок 3.* Для всіх  $IK_{ij} \in T_{IK_i}$  виконується порівняння  $J(Q)$  і  $J(BZ_{ij})$ . Якщо існує  $j$ , коли  $J(Q) \subseteq J(BZ_{ij})$ , то застосовується алгоритм МР для множини БЗ піддерева  $T_{IK_i}$ . Інакше — до кроку 4.

*Крок 4.* Для множини баз знань піддерева  $T_{IK_i}$  будується граф перетинів  $G$ , далі він перетворюється в дерево  $G_T$  відповідно до процедури ( $G = (V, E, W)$ ).

*Крок 5.* Виконується логічний вивід у графі  $G_T$ . Якщо вдається вивести  $Q$ , то видається повідомлення «Мета досягнута», тоді варто перейти до кроку 7, інакше до кроку 6.

*Крок 6.* Перевіряємо рівність  $l_i = 0$ , тобто чи не досягнутий нульовий рівень ієрархії в ДІК, якщо ні, то  $l_i := l_i l_d$ . Перехід до кроку 2. При  $l_i = 0$  вивід завершується безрезультатно.

*Крок 7.* Завершення алгоритму.

Для кожної пари  $(i, j) \in E$ , коли  $i \angle j$ , якщо виводиться  $BZ_j | -\phi$  і  $J(\phi) \subseteq J(W(i, j))$ , то  $\phi$  додається до  $BZ_i$ . Відбувається рух процесу логічного виводу від термінальних вершин  $T_{IK_i}$  в порядку зменшення відстані  $dist(i, j)$  до вершини дерева  $T_{IK_i}$  з додаванням у простір пошуку формул  $\phi$ .

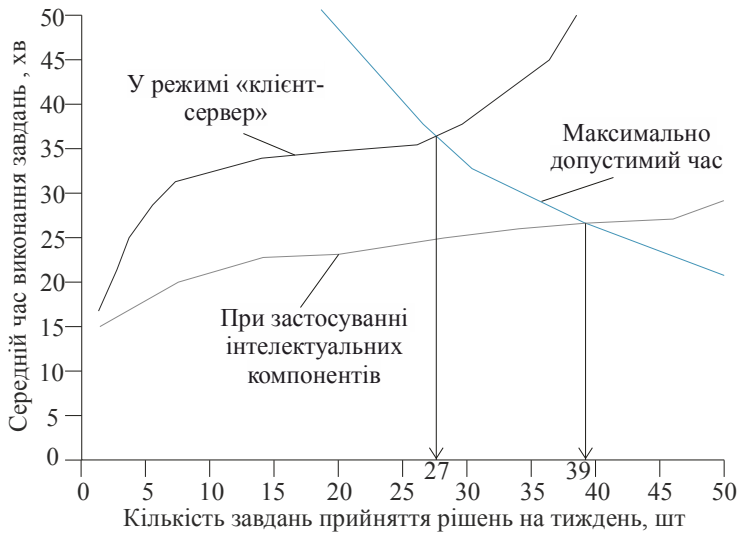
Отже, розроблено методику пошуку рішення щодо вибору сукупності заходів для підвищення рівня безпеки праці, яка відрізняється від існуючих перевіркою протиріч інформації в базі знань за принципом поділу цільових функцій, забезпечує можливість виведення складних цільових формул і дозволяє враховувати ієрархічний характер структури інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості та загальну архітектуру бази знань.

На основі розробленої методики пошуку рішення щодо вибору сукупності заходів для підвищення рівня безпеки праці здійснено оцінку застосування ІКС на прикладі роботи керівника енергетичного господарства підприємства харчової промисловості.

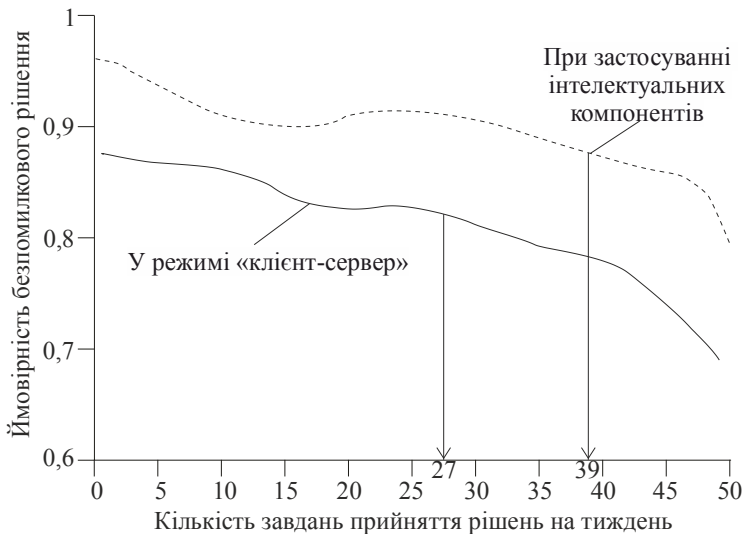
Оцінку ефективності роботи інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості розглянуто на прикладі аналізу алгоритму діяльності керівника енергетичного господарства стосовно задачі вибору сукупності заходів для підвищення рівня безпеки праці [14]. Суть задачі полягає у виборі оптимального комплексу засобів для підвищення рівня безпеки праці. Для цього задачу було розбито на елементарні операції (всього 12 операцій) й логічні умови (3 умови). Кількісні характеристики (число виявлених порушень з охорони праці за рік, число травмувань працівників за рік, число днів з лікарняними листами за рік, час елементарної операції, дисперсію часу елементарної операції та ймовірність безпомилкового виконання) взято із статистичних даних [1].

На графіку (рис. 4) наведено середній час на прийняття рішень керівником енергетичного господарства з урахуванням цілодобового характеру діяльності забезпечуючого персоналу. Як видно з графіків, використання інтелектуальних ІКС створює суттєву перевагу при вирішенні завдань вибору сукупності заходів для підвищення рівня безпеки праці, проте за рахунок того, що середній час на виконання одного рішення в інтелектуалізованій системі є меншим, загальна кількість прийнятих рішень за тиждень збільшується.

Вирішуючи обернену задачу щодо визначення ймовірності прийняття безпомилкових рішень при фіксованому часі на вирішення завдань управління, також можна визначити ефективність і доцільність впровадження засобів інтелектуалізації ІКС. Так, відповідно до графіків (рис. 5), підвищення ефективності у випадку використання тих же самих початкових даних становитиме 12—18%.



**Рис. 4. Залежність середнього часу на прийняття рішення від кількості завдань прийняття рішень на тиждень**



**Рис. 5. Залежність середнього часу на прийняття рішення від кількості завдань прийняття рішень на тиждень**

**Висновки**

Завдання підвищення рівня безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості найбільш доцільно вирішити шляхом використання мультиагентних технологій в інформаційно-керуючих системах сучасних енергетичних господарств підприємств харчової промисловості, що дозволить керівнику енергетичного господарства ефективно використовувати різні сукупності заходів в рамках загальної множини нормативно-правових документів для підвищення рівня безпеки праці, крім того, скорочується час на вирішення завдань управління рівнем безпеки праці у змінному інфор-

маційному середовищі, особливо у період пікових навантажень у роботі енергетичного господарства підприємств харчової промисловості.

Запропонована модель інформаційного об'єкта інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості, заснована на додатковій множині функцій, що описують вимоги законодавчо-нормативних документів з охорони праці. Дана модель забезпечує можливість трансформації об'єкта у процесі функціонування, а також зв'язок програмних об'єктів з інтелектуальними агентами.

Удосконалена модель інтелектуального агента в структурі інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості відрізняється від існуючих інформаційною моделлю виробничого середовища, що описується параметрами шкідливих та небезпечних факторів і використанням субмоделі поведінки й прийняття рішення посадовими особами. Дана модель дозволяє враховувати динаміку зміни вектора стану безпеки праці та зміну вектора нормативно-правової бази щодо безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості.

Розроблена методика пошуку рішення щодо вибору сукупності заходів для підвищення рівня безпеки праці, яка відрізняється від існуючих перевіркою протиріч інформації в базі знань за принципом поділу цільових функцій, забезпечує можливість виведення складних цільових формул і дозволяє враховувати ієрархічний характер структури інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості та загальну архітектуру бази знань.

Перспективними шляхами подальших досліджень у зазначеному напрямку може бути широке коло питань щодо розробки нових та удосконалення існуючих методик підвищення рівня безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості на основі використання мульти-агентних технологій.

### Література

1. *Євтушенко О.В.* Статистичні аспекти виробничого травматизму в енергетичному господарстві підприємств харчової промисловості / О.В. Євтушенко, А.О. Сірик // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, 7 квітня 2016 року. — Харків: ХДУХТ, 2016. — Ч. 1. — С. 288.
2. *Сірик А.О.* Використання сучасних інформаційних технологій для підвищення безпеки праці на підприємствах харчової промисловості / А.О. Сірик, Д.В. Слободян // Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: Матеріали 82-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 13—14 квітня 2016 року. — Київ, — 2016. — Ч.2 — С. 361.
3. *Evtushenko O.* Improvement the system of safety management in the food industry enterprises / O. Evtushenko, A. Siryc // Научные труды SWorld. — Иваново, 2015. — Вып. 3 (40), том 3. — С. 67—76.
4. *Evtushenko O.* Analysis of indicators of workplace occupational injuries at the food industry enterprises of Ukraine / O. Evtushenko, A. Siryc, P. Porodko, T. Krukouskaya // Ukrainian Food Journal. — 2015. — Vol. 4, Issue 1. — P. 157—169.
5. *Євтушенко О.В.* Динаміка виробничого травматизму в харчовій галузі України / О.В. Євтушенко, А.О. Сірик // Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування

людства у XXI столітті: матеріали 81 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 23 — 24 квітня 2015 року. — Київ: НУХТ, 2015. — Ч. 2. — С. 367.

6. *Євтушенко О.В.* Побудова моделі інтелектуального агента для інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств харчової промисловості / О.В. Євтушенко, А.О. Сірик // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2016. — Том. 22, № 5. — С. 121—127.

7. *Євтушенко О.В.* Комплекс засобів автоматизації управління охороною праці для підприємств харчової промисловості / О.В. Євтушенко, А.О. Сірик // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2015. — Том. 21, № 2. — С. 122—131.

8. *Машков О.А.* Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машков. — Киев: КВВАИУ, 1991. — 89 с.

9. *Барабаш О.В.* Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. — Киев: НАОУ, 2004. — 226 с.

10. *Глибовець А.М.* Програмні агенти / А.М. Глибовець, М.М. Глибовець, С.С. Городовський, М.О. Сидоренко. — Київ: НаУКМА, 2013, — 204 с.

11. *Барабаш О.В.* Модель бази знань інтелектуальної системи управління високошвидкісного рухомого об'єкта на основі її верифікації / О.В. Барабаш, Д.М. Обідін, А.П. Мусяченко // Системи обробки інформації. — Харків: ХУПС, 2014. — № 5 (121). — С. 3—6.

12. *Райков А.Н.* Интеллектуальные информационные технологии / А.Н. Райков. — Москва: МИРЭА, — 2000. — 94 с.

13. *Валиев М.К.* Вероятностные мультиагентные системы: семантика и верификация / М.К. Валиев, М.И. Дехтярь // Вестник Тверского государственного университета, серия «Прикладная математика». — 2008. — № 35(95). — С. 9—22.

14. *Сірик А.О.* Методика оцінки ефективності організаційно-технічних заходів забезпечення заданого рівня безпеки праці в енергетичному господарстві підприємств / А.О. Сірик, О.В. Євтушенко, О.В. Барабаш // Системи обробки інформації. — 2016. — № 8. — С. 191—193.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ПИЩЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**А.О. Сирьк, О.В. Евтушенко**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье решена актуальная научная задача по разработке моделей и методов повышения уровня безопасности труда в энергетическом хозяйстве предприятий пищевой промышленности на основе использования мультиагентных технологий. Научные результаты исследований являются вкладом в развитие теоретических и прикладных основ разработки методик, систем управления и контроля за безопасностью работ и состоянием охраны труда, в том числе с применением информационных систем для поддержки и принятия решений по охране труда, и могут быть использованы при совершенствовании проектов управленческих решений по обеспечению безопасных условий труда работников энергетического хозяйства предприятий пищевой промышленности.*

**Ключевые слова:** *безопасность труда, охрана труда, интеллектуальный агент, энергетическое хозяйство, информационно-управляющая система, мультиагентная технология, пищевая промышленность.*