

Т. О. Прокопенко, д.т.н., доцент,
e-mail: t.prokopenko@chdtu.edu.ua

В. І. Крезуб, аспірант

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

Пропонується застосування мультиагентного підходу до моделювання інформаційних потоків у системах управління проектно-орієнтованими підприємствами, що забезпечить підтримку та прийняття ефективних управлінських рішень. Представлена мультиагентна модель визначає рух інформаційних потоків при міжагентних взаємодіях системи з середовищем, зовнішню динаміку мультиагентної системи, а також рух інформаційних потоків всередині агента, тобто внутрішню динаміку системи. Ефективне управління проектно-орієнтованим підприємством, зокрема в галузі хімічної промисловості, залежить від організації та формування інформаційних потоків, у тому числі представлення інформації в зручній для керівництва формі. Розглянута технологія моделювання дає можливість виявляти аномалії в роботі агентів та мультиагентної системи. Зроблено висновки про можливість застосування цієї моделі при розробці систем підтримки прийняття рішень в управлінні проектно-орієнтованими підприємствами.

Ключові слова: мультиагентний підхід, інформаційні потоки, проектно-орієнтоване підприємство, прийняття рішень.

Вступ. Особливістю діяльності сучасних підприємств, корпорацій у різних галузях промисловості є забезпечення гнучкості, мобільності, універсальності при забезпеченні високої продуктивності виробництва, швидкості й адекватності прийняття стратегічних та оперативних рішень, що відповідали б стратегіям зовнішнього оточення та внутрішньої динаміки [1]. Проектно-орієнтоване підприємство, зокрема в галузі хімічної промисловості, характеризується як складний організаційно-технологічний комплекс, ефективність якого визначається як організаційною, так і технологічною складовою, а також залежністю від енергоресурсів та сезонністю збуту продукції. Тому питанню забезпечення інформаційних потреб керівників приділяється особливо гостра увага.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В управлінні проектно-орієнтованими підприємствами актуальним є об'єднання всіх функцій управління та створення гнучких систем з елементами штучного інтелекту, які дозволяють оперативно здійснювати оцінювання ефективності підприємства, планування і управління виробництвом, планування та управління матеріальними потоками, логістичний аналіз, розрахунок та аналіз собівартості

продукції; а також планувати стратегічну діяльність в умовах невизначеності та ризиків.

Методи штучного інтелекту на сьогоднішній день все більше знаходять своє застосування для прийняття управлінських рішень, особливо в умовах, коли неможливо отримати достатньо точну та релевантну інформацію, застосувати структуроване математичне моделювання та формалізовані методи. Проблеми розширення класу об'єктів автоматизації шляхом включення до них організаційних та організаційно-технічних систем і застосування інтелектуальних методів вирішення задач управління розглянуто в наукових працях О. А. Большакова [2]. Теорія мультиагентних систем розглянута в роботах М. П. Амосова, М. М. Бонгарда, П. Норвига [3], М. Вулдріджа [4], які пропонують різні напрями мультиагентних систем, зокрема розподілений штучний інтелект, децентралізований штучний інтелект. В. В. Борисов в роботі [5] використовує мультиагентний підхід при моделюванні організаційно-технічних систем в умовах протиріччя. В роботі [6] С. Л. Юдіцкого розглянуто питання стратегічного управління складними організаційними системами з застосуванням мультиагентного підходу. В роботі [7] авторами досліджено прийняття

управлінських рішень в організаційно-технічних системах на основі нечітких множин та нечіткої логіки. В роботі [8] описуються моделі прийняття рішень в управлінні організаційними системами на основі математичної теорії, теорії ігор, теорії активних систем.

Однак для проектно-орієнтованих підприємств у процесі прийняття управлінських рішень важливим є врахування факторів швидкої зміни обставин, коли необхідно охопити великий обсяг інформації, що надходить, порівняти її з інформацією, яка вже є, врахувати досвід минулого, розібратися в різних ситуаціях, втрутитися в хід реалізації управлінського рішення, тобто важливого значення набуває фактор реального часу.

Метою статті є обґрунтування та дослідження моделювання інформаційних потоків у системах управління проектно-орієнтованими підприємствами, зокрема в галузі хімічної промисловості, що забезпечить можливість визначення подальших перспектив та прийняття відповідних управлінських рішень.

Викладення основного матеріалу дослідження. Ефективне управління підприємством, зокрема в галузі хімічної промисловості, залежить від організації та формування інформаційних потоків, у тому числі представлення інформації в зручній для керівництва формі. Одержання інформації для прийняття рішень в управлінні виробництвом вимагає переробки значних обсягів даних різного типу та характеру. Тому ефективність функціонування проектно-орієнтованого підприємства у сучасних умовах залежить від раціональних методів і технологічних процесів обробки даних більше, ніж від технології самого виробництва. Організаційно-технологічні процеси діяльності проектно-орієнтованого підприємства характеризуються і контролюються сотнями параметрів та показників, що впливають на ефективність управлінського рішення. В зв'язку з цим моделювання інформаційних потоків на основі застосування мультиагентного підходу, що поєднує досягнення системного аналізу і програмування та штучного інтелекту [9], забезпечує прийняття ефективних рішень та прогнозування результатів на певний інтервал часу. Така модель є досить гнучкою і дасть можливість прийняти рішення з урахуванням фактора часу, оцінювати результати дій та використовувати різні варіанти сценаріїв рішень для досягнення різних

цілей, що забезпечить підвищення ефективності проектно-орієнтованого підприємства.

В процесі моделювання інформаційних потоків у мультиагентній системі управління проектно-орієнтованим підприємством через канали міжагентної взаємодії передаються потоки даних, що забезпечують фізичне переміщення інформації, яка дає можливість здійснити будь-який процес, реалізувати будь-яке рішення. Передача інформаційних потоків здійснюється дискретно, тобто порціями, і являє собою елементи потоку. Одержання інформації для прийняття рішень у мультиагентній системі вимагає переробки значних обсягів даних, тому функцією каналу міжагентної взаємодії є переміщення елементів потоку (за принципом черги) та одночасне їх накопичення.

Інформаційні потоки забезпечують оптимальне функціонування мультиагентної системи. Рух елементів потоку при міжагентних взаємодіях системи з середовищем визначає зовнішню динаміку мультиагентної системи, а рух елементів потоку всередині агента – її внутрішню динаміку.

Нехай задано множину потоків $Y = \{y_i, i = 1, \dots, n\}$, що виражається цілочисельними невід'ємними змінними, значення яких відповідають кількості потоків, множина переходів – зміні станів потоків $Q = \{q_j, j = 1, \dots, d\}$.

Елементарну подію (ЕП) опишемо виразом

$$P_j = y_1^-, \dots, y_n^- \xrightarrow{q_j} y_1^+, \dots, y_n^+, \quad (1)$$

де y_1^-, \dots, y_n^- – вхідні потоки, y_1^+, \dots, y_n^+ – вихідні потоки, де перетин множин вхідних та вихідних потоків не є порожнім. При цьому при виконанні переходу q_j можливе вилучення певної кількості потоків з вхідних потоків та їх внесення до вихідних потоків.

Враховуючи той факт, що проектно-орієнтоване підприємство розглядається як складна, ієрархічна організаційно-технічна система, передача інформаційних потоків здійснюється з урахуванням таких рівнів ієрархії:

- технологічний рівень (об'єкт управління – технологічний процес);
- інженерний рівень (об'єкт – виробнича система);
- організаційний рівень (об'єкт – проектно-орієнтоване підприємство);
- корпоративний рівень (об'єкт – юри-

дична особа, тобто фірма, компанія, корпорація – внутрішнє регулювання);

- бізнес-рівень (об'єкт – корпорація в ринковому середовищі, зовнішнє регулювання).

На кожному з рівнів мультиагентної системи приймаються рішення, для чого обробляється значні обсяги інформаційних потоків, що передаються по міжагентних каналах. На часовій шкалі $\tau = 0, 1, \dots$ динаміку вхідних $y_{g_a}(\tau)$ та вихідних $y_{h_b}(\tau)$ потоків з урахуванням рівнів задамо таким чином:

$$y_{g_a}(\tau) = y_{g_a}(\tau - 1) - \alpha_a, \quad a = 1, \dots, k, \quad (2)$$

$$y_{h_b}(\tau) = y_{h_b}(\tau - 1) + \beta_b, \quad b = 1, \dots, r,$$

де показник α_a відповідає кількості потоків, що вилучаються при виконанні переходу q_j з вхідних потоків, показники β_b – кількість потоків, що вносяться у вихідні потоки.

Величина потоку інформації в часі є подією, що являє собою множину елементарних подій, яка характеризується як кінцева множина та складається з n -ї кількості елементарних подій.

Алгебра подій дає можливість формально описати рух потоків у мультиагентній системі. В [9] алгебра визначається як множина елементів довільної природи, на якій визначено деякі кінцеві дії, що дають можливість впорядкованому набору з n елементів множини поставити у відповідність елемент цієї множини.

Нехай маємо множину подій $P = \{p_j, j = 1, \dots, N\}$, що складається з n -ї кількості елементарних подій. Введемо на множині P дві бінарні дії – об'єднання та суміщення і одну унарну дію – альтернативний вибір.

Об'єднання подій $P = P_1 \cup P_2$ розглядається як теоретико-множинне об'єднання потоків $p_1 \in P_1, p_2 \in P_2$, що включає в себе всі елементарні події $p_1 \in P_1$ і всі елементарні події $p_2 \in P_2$.

Суміщення подій $P = P_1 \cdot P_2$ розглядається як дія, що полягає у формуванні всіх пар потоків p_1, p_2 згідно з такими правилами:

- до набору вхідних (вихідних) потоків p_1 приписується набір вхідних (вихідних) потоків p_2 ;

- якщо в отриманому вхідному (вихідному) наборі виявиться декілька однойменних

потоків, то вони замінюються одним потоком, показник степеня якого дорівнює сумі показників степенів, які замінюються;

- горизонтальна стрілка, що веде від вхідного до вихідного набору показників, помічається виразом $q_1 \cdot q_2$;

- потоки у вхідному (вихідному) наборі впорядковуються зліва направо в зростанні їх номерів.

Множина $P = P_1 \cdot P_2$ є множиною з $n_1 \times n_2$ потоків, де n_1, n_2 – кількість елементів у множинах P_1 та P_2 , відповідно.

Альтернативний вибір \hat{P} полягає у виділенні з множини $P = \{p_i, i = 1, \dots, n\}$ одного і тільки одного елемента при істинності зіставленої йому логічної умови u_i . При цьому для будь-яких двох елементів p_1 і p_2 умови u_1 та u_2 не можуть виконуватися одночасно, тобто повинна виконуватися умова ортогональності $u_1 \wedge u_2 = 0$, де \wedge – знак кон'юнкції.

В мультиагентній системі на нижньому рівні формується множина інформаційних потоків, що характеризують технологічну складову прибутку. На основі цих інформаційних потоків формуються економічні показники ефективності підприємства, що аналізуються агентом для вироблення раціональних управлінських рішень. Ці показники надходять на вхід інтелектуальних блоків в мультиагентній системі. На виході виробляється вектор показників, що визначає оцінку стану організаційно-технологічного об'єкта в теперішній момент часу, що може бути як кількісною, так і якісною. Отримані інформаційні потоки підлягають корегуванню залежно від отриманих даних від агентів зовнішнього середовища відповідно про стан зовнішнього середовища згідно із зовнішніми економічними умовами.

Тоді подія виражається формулою

$$P = \left\{ (y_1^{-1} \xrightarrow{q_1} y_2^{+1}) \cdot (y_1^{-1} y_2^{+1} \xrightarrow{q_2} y_3^{+2}) \cup \left(\cup (y_1^{-1} y_3^{+3} \xrightarrow{q_3} y_4^{+2}) \cdot (y_4^{-1} \xrightarrow{q_4} y_5^{+3}) \right) \right\}, \quad (3)$$

де y_1^{-1} – вхідні інформаційні потоки, що характеризують величину матеріальних потоків; y_2^{+1} – вихідні інформаційні потоки, що характеризують техніко-економічні показники підприємства; y_3^{+1} – вихідні інформаційні пото-

ки, що характеризують показники ефективності проектно-орієнтованого підприємства; y_4^{-1} – вхідні інформаційні потоки, що характеризують показники настання ризикових подій; y_5^{+3} – вихідні потоки, що характеризують аналітичну інформацію для прийняття рішення.

Процеси передачі інформаційних потоків відбуваються на вищих рівнях в мультиагентній системі. Крім розрахованих економічних показників, на вхід інтелектуальних блоків надходять з нижніх рівнів значення вихідних показників, що визначають рішення агентів нижнього рівня. Тому доцільним є використання булевих змінних.

Булевою є змінна, що набуває двох значень: 1 (істинне) та 0 (хибне), а булевою формулою називається вираз, що отримано шляхом використання кінцевої кількості разів логічних операцій диз'юнкції (АБО), кон'юнкції (ТА) і заперечення (НЕ) з булевими змінними. Булева формула описує булеву функцію з областю значень $\{0,1\}$.

Тоді, виходячи з цих визначень, формула (3) матиме вигляд

$$P = \left\{ (y_1^{-1} y_2^{+1} \xrightarrow{q_1 \cdot q_2} y_3^{+2} y_4^{+2}) \cup (y_1^{-1} y_3^{+2} y_4^{+2} \xrightarrow{q_3 \cdot q_4} y_5^{+3}) \right\}. \quad (4)$$

Для кожної ЕП у формулі (4) введемо логічну умову, що виражається критеріальною формулою над вхідними і (або) вихідними потоками, яка матиме вигляд:

$$f(q_1 \cdot q_2) = (y_1 > 3) \wedge (y_1 \leq 6) \vee (y_3 < 4) \wedge (y_5 < 4) \quad (5)$$

$$f(q_3 \cdot q_4) = (y_1 \leq 3) \vee (y_5 \geq 4).$$

Подію, що характеризує передачу інформаційних потоків по міжагентних каналах в мультиагентній системі, можна виразити також за допомогою мережі Петрі. При цьому необхідно скористатися такими правилами:

– кожній вхідній (вихідній) потоковій змінній ЕП ставимо у відповідність позицію мережі Петрі, а кожній горизонтальній стрілці – її перехід;

– з вхідної позиції в перехід (з вихідної позиції в перехід) проведемо стрілки, кількість яких дорівнює показнику ступеня в позначенні потоку.

Графічне представлення передачі інформаційних потоків у мультиагентній системі дасть можливість наочного представлення схеми руху інформаційних потоків, їх передачі, обробки, зберігання, забезпечення швидкого доступу до даних, їх обміну по всіх каналах, обробки за відповідними алгоритмами та представлення в зручному вигляді.

Застосування цих правил до формули (3) дає мережу Петрі, що зображена на рис 1. Отримані мережі, що відображають передачу інформаційних потоків у мультиагентній системі, є потоковими мережами. Вони відображають функціонування блоків руху елементів потоку в комплексній потоковій схемі агента, що зображено на рис. 2.

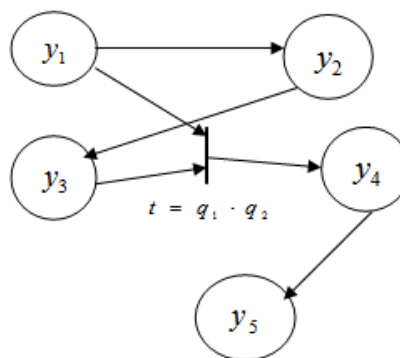


Рис. 1. Формула події у вигляді мережі Петрі

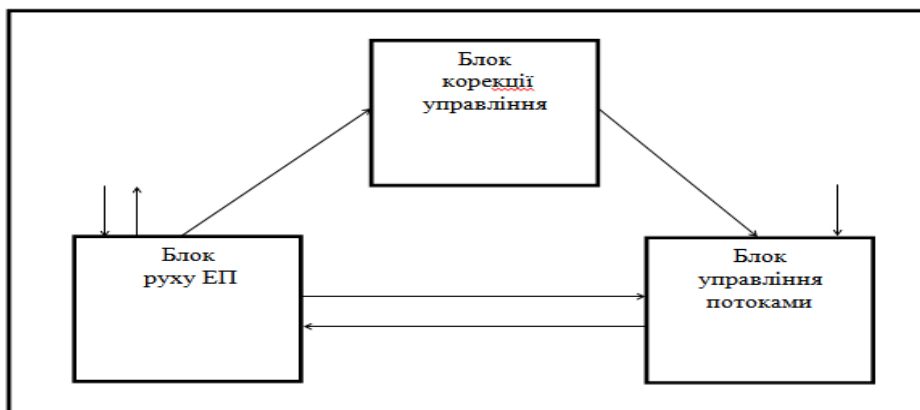


Рис. 2. Структура комплексної потокової схеми агента

Комплексна потокова схема агента працює згідно з наступним алгоритмом:

Крок 1. Блок управління потоками отримує на вхід дані – значення змінних, що характеризують показники ефективності проектно-орієнтованого підприємства, які зіставлені позиціям потокової мережі (потокові змінні), а також дані про стан зовнішнього середовища (фактори зовнішнього середовища, що можуть викликати настання тих чи інших ризикових подій).

Крок 2. Забезпечення блоком управління певного порядку виконання керуючих впливів – операцій, що ініціюють спрацювання переходів у потоковій мережі, тобто переміщення елементарних потоків. Операції можуть виконуватися як послідовно, так і паралельно, також припускається можливість альтернативного вибору операції залежно від ситуації, синхронізація паралельних операцій, відсутність конфліктів між ними і т. ін.

Крок 3. Моделювання графом операцій з використанням мережі Петрі управління потоками в агенті. Переходам додатково приписуються логічні умови спрацювання у вигляді критеріальних формул поточкових змінних, а також функцій від часу. Граф операцій маркується шляхом розташування в його позиції мітки, що вказує на виконання операції. Позиція графа може знаходитись лише в двох станах: бути порожньою чи містити мітку.

Крок 4. Здійснення передачі інформаційних повідомлень шляхом спрацювання переходу графа операцій у випадку, коли в усіх його вхідних позиціях є мітки та істинна критеріальна формула, що відноситься до цього переходу.

Крок 5. В результаті спрацювання переходу знищуються мітки з його вхідних позицій та вносяться мітки в вихідні позиції, тобто запускаються наступні операції.

Крок 6. Для ініціювання графу операцій необхідно задати початкове розміщення міток.

Розглянута технологія моделювання дає можливість виявляти аномалії в роботі агентів та мультиагентної системи в цілому, тобто цикли, що не мають виходу, повторні запуски операцій під час їх виконання, так звані «зависання» роботи циклу та ін.

Висновки. Отримані результати показують, що управління проектно-орієнтованим

підприємством вимагає обробки великого обсягу інформації, і рішення завжди приймається на основі цієї інформації, тому досить важливим є процес формування інформаційних потоків, отримання необхідної інформації, її обробки, зберігання, приведення її до вигляду, що полегшує прийняття рішення. Застосування мультиагентного підходу забезпечує представлення інформації про виробничий процес та ефективність підприємства в цілому, яка може бути застосована при розробці систем підтримки прийняття рішень в управлінні проектно-орієнтованими підприємствами, з високим ступенем якості та надійності, що забезпечить прийняття оптимального управлінського рішення.

Список літератури

1. Прокопенко Т. О., Ладанюк А. П. Інформаційні технології управління організаційно-технологічними системами: [монографія]. Черкаси: Вертикаль, видавець Кандич С. Г., 2015. 224 с.
2. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / под. ред. А. А. Большакова. Москва: Горячая линия-Телеком, 2006. 160 с.
3. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход (AIMA) = Artificial intelligence: a modern approach (AIMA). 2-е изд. Москва: Вильямс, 2007. 1424 с.
4. Letichevsky J., Kapitonova A., Letichevsky Jr., Volkov V., Baranov S., Kotlyarov V., Weigert T. Basic protocols, message sequence charts, and the verification of requirements specifications. *Computer Networks*. 2005. № 47. P. 662–675.
5. Борисов В. В. Сысков В. В. Мультиагентное моделирование сложных организационно-технических систем в условиях противоборства. *Информационные технологии*. 2012. № 4. С. 7–14.
6. Юдицкий С. А. Моделирование динамики многоагентных триадных сетей. Москва: СИНТЕГ, 2012. 112 с.
7. Chochowski A., Chernyshenko I., Kozyrskiy V., Kyshenko V. Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control. Kyiv: Tsentru uchbovovii literatury, 2014. 240 p.

8. Novikov D., Ashimov A., Sultanov B., Adilov Z., Borovskiy Y., Alshanov R., Ashimov A. Macroeconomic analysis and parametric control of a national economy. New York: Springer, 2013. 288 p.
9. Юдицкий С. А. Алгебраическое представление модели многоагентных сетей. *Управление большими системами*. 2011. № 34. С. 30–45.
10. Прокопенко Т. А., Ладанюк А. П. Информационная модель управления технологическими комплексами непрерывного типа в классе организационно-технических систем. *Проблемы управления и информатики: междунар. науч.-техн. журн.* 2014. № 5. С. 64–70.
- rov, V. and Weigert, T. (2005) Basic protocols, message sequence charts, and the verification of requirements specifications. *Computer Networks*, 47, pp. 662–675.
5. Borisov, V. V. and Syskov V. V. (2012) Multiagent modeling of complex organizational and technical systems in the context of confrontation. *Information technology*, 4, pp. 7–14 [in Russian].
6. Yuditsky, S. A. (2012) Modeling the dynamics of multi-agent triad networks. Moscow: SYNTEG, 112 p. [in Russian].
7. Chochowski, A., Chernyshenko, I., Kozyrskiy, V. and Kyshenko, V. (2014) Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control Kyiv: Tsentr uchbovovii literatyru, 240 p.
8. Novikov, D., Ashimov, A., Sultanov, B., Adilov, Z., Borovskiy, Y., Alshanov, R. and Ashimov, A. (2013) Macroeconomic analysis and parametric control of a national economy. New York: Springer, 288 p.
9. Yuditsky, S. A. (2011) Algebraic representation of the model of multi-agent networks. *Management of large systems*, No. 34, pp. 30–45 [in Russian].
10. Prokopenko, T. O. and Ladanyuk, A. P. (2014). Information model of the control of continuous type technological complexes in the class of organizational and technical systems. *Journal of Automation and Information*, No. 5, pp. 64–70 [in Russian].

References

1. Prokopenko, T. O. and Ladanyuk, A. P. (2015) Information technology management organizational and technological systems. Cherkasy: Vertical, publisher Kandych S. G., 224 p. [in Ukrainian].
2. Bolshakov, A. A. (2006) Intellectual systems of management of organizational and technical systems. Moscow: Hot line-Telecom, 160 p. [in Russian].
3. Rassel, S. (2007) Artificial intelligence: a modern approach. M.:Viliams, 1424 p. [in Russian].
4. Letichevsky, J., Kapitonova, A., Letichevsky, Jr., Volkov, V., Baranov, S., Kotlyar

T. O. Prokopenko, *Dr.Tech.Sc, accociate professor*

e-mail: t.prokopenko@chdtu.edu.ua

V. I. Krezub, *postgraduate student*

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

MODELING OF INFORMATION FLOWS IN MANAGEMENT SYSTEMS OF PROJECT-ORIENTED ENTERPRISES

The application of multi-agent approach to the modeling of information flows in management systems of project-oriented enterprises is proposed. The peculiarity of the activities of modern enterprises, corporations in various industries is to ensure flexibility, mobility, universalization while ensuring high productivity of production, speed and adequacy of making strategic and operational decisions that are in line with the strategies of external environment and internal dynamics. This will ensure the support and adoption of effective management decisions. Effective enterprise management, in particular in chemical industry, depends on the organization and formation of information flows, in-

cluding the presentation of information in a form suitable for management. The presented multi-agent model determines the flow of information flows during interactions of the system with the environment, external dynamics of multi-agent system and the movement of information flows within the agent, that is, internal dynamics of the system. Graphical representation of the transfer of information flows in multi-agent system will provide a visual representation of the flow of information flows, their transmission, processing, providing fast access to data, their exchange on all channels, processing by appropriate algorithms and presentation in a convenient manner. The considered modeling technology makes it possible to detect anomalies in the work of agents and multi-agent system. The obtained results show that the management of a project-oriented enterprise requires the processing of a large amount of information and decision is always taken on the basis of this information. Formation of information flows, obtaining the necessary information, its processing, storage, bringing it to the viewpoint, which facilitates decision making, is an important process. Conclusions are made about the possibility of using this model in the development of decision support systems in the management of project-oriented enterprises.

Key words: *multi-agent approach, information flows, project-oriented enterprise, decision-making.*

Стаття надійшла 10.03.2018.

Статтю представляє Т. О. Прокопенко, д.т.н., доцент.