

Харківський національний
університет радіоелектроніки

Kharkov National
University of Radio Electronics

Державне підприємство
"Південний державний
проектно-конструкторський
та науково-дослідний інститут
авіаційної промисловості"

State Enterprise
"Southern National Design
&
Research Institute
of Aerospace Industries"

**СУЧАСНИЙ СТАН
НАУКОВИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ
В ПРОМИСЛОВОСТІ**

**INNOVATIVE
TECHNOLOGIES
AND
SCIENTIFIC SOLUTIONS
FOR INDUSTRIES**

№ 4 (6), 2018

No. 4 (6), 2018

*Щоквартальний
науковий
журнал*

*Quarterly
scientific
journal*

Харків
2018

Kharkiv
2018

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

Семенець Валерій Васильович, д-р. техн. наук, професор

Заступник головного редактора

Рубан Ігор Вікторович, д-р. техн. наук, професор

Заступник головного редактора

Момот Тетяна Валеріївна, д-р. екон. наук, професор

Відповідальний секретар

Коваленко Андрій Анатолійович
канд. техн. наук, доцент

Члени редколегії:

Артюх Роман Володимирович, канд. техн. наук;
Бабасв Ігбал Аліджанович, д-р. техн. наук, професор
(Азербайджан);
Бабенко Віталіна Олексіївна, д-р. екон. наук, канд. техн. наук,
професор;
Безкоровайний Володимир Валентинович, д-р. техн. наук,
професор;
Бодянский Євгеній Володимирович, д-р. техн. наук,
професор;
Гопсєнко Віктор, д-р. техн. наук, професор (Латвія);
Зайцева Єлена, д-р. техн. наук, професор (Словаччина);
Зачко Олег Богданович, д-р. техн. наук, доцент;
Косенко Віктор Васильович, д-р. техн. наук, доцент;
Костін Юрій Дмитрович, д-р. екон. наук, професор;
Лепейко Тетяна Іванівна, д-р. екон. наук, професор;
Малєєва Ольга Володимирівна, д-р. техн. наук, професор;
Назарова Галина Валентинівна, д-р. екон. наук, професор;
Невлюдов Ігор Шакирович, д-р. техн. наук, професор;
Пермяков Олександр Анатолійович, д-р. техн. наук,
професор;
Пушкар Олександр Іванович, д-р. екон. наук, професор;
Савченко Ольга Олександрівна, канд. філос. наук, доцент;
Соколова Людмила Василівна, д-р. екон. наук, професор;
Телстов Олександр Сергійович, д-р. екон. наук, професор;
Тимофєєв Володимир Олександрович, д-р. техн. наук,
професор;
Тодоров Кирил, д-р. екон. наук, професор (Болгарія);
Тумієтто Данієле, ад'юнкт-професор (Італія);
Філатов Валентин Олександрович, д-р. техн. наук, професор;
Чумаченко Ігор Володимирович, д-р. техн. наук, професор;
Чухрай Наталія Іванівна, д-р. екон. наук, професор;
Ястремська Олена Миколаївна, д-р. екон. наук, професор.

ЗАСНОВНИКИ

Харківський національний університет радіоелектроніки,
Державне підприємство "Південний державний
проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут
авіаційної промисловості"

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

Україна, 61166, м. Харків, проспект Науки, 14
Телефон: +38 (057) 704-10-51
Інформаційний сайт: <http://itssi-journal.com>
E-mail редколегії: journal.itssi@gmail.com

EDITORIAL BOARD

Editor in Chief

Semenets Valery, Dr. Sc. (Engineering), Professor, Ukraine

Deputy Editor in Chief

Ruban Igor, Dr. Sc. (Engineering), Professor, Ukraine

Deputy Editor in Chief

Momot Tetiana, Dr. Sc. (Economics), Professor, Ukraine

Assistant Editor

Kovalenko Andrey,
PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Ukraine

Editorial Board Members:

Artiukh Roman, PhD (Engineering Sciences) (Ukraine);
Babayev Igbal, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Azerbaijan);
Babenko Vitalina, Dr. Sc. (Economics);
PhD (Engineering Sciences), Professor (Ukraine);
Bezkorovainyi Volodymyr, Dr. Sc. (Engineering), Professor
(Ukraine);
Bodianskiy Yevgeniy, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);
Gopeyenko Victor, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Latvia);
Zaitseva Elena, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Slovak
Republic);
Zachko Oleh, Dr. Sc. (Engineering), Associate Professor
(Ukraine);
Kosenko Viktor, Dr. Sc. (Engineering), Associate Professor
(Ukraine);
Kostin Yuri, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Lepeyko Tetyana, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Malayeva Olga, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);
Nazarova Galina, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Nevliudov Igor, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);
Permyakov Alexander, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);
Pushkar Olexandr, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Savchenko Olga, PhD (Philosophic Sciences), Associate Professor
(Ukraine);
Sokolova Lyudmila, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Teletov Aleksandr, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Timofeyev Volodymyr, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);
Todorov Kiril, Dr. Sc. (Economics), Professor (Bulgaria);
Tumietto Daniele, Adjunct Professor (Italy);
Filatov Valentin, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);
Chumachenko Igor, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);
Chukhray Nataliya, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Iastremska Olena, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine).

ESTABLISHERS

Kharkiv National University of Radio Electronics,
State Enterprise "National Design & Research Institute
of Aerospace Industries"

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauka Ave, 14
Phone: +38 (057) 704-10-51
Information site: <http://itssi-journal.com>
E-mail of the editorial board: journal.itssi@gmail.com

*Журнал включено до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися
результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук"
наказом Міністерства освіти і науки України від 16.07.2018 №775 (додаток 7).*

Затверджений до друку Науково-технічною Радою Харківського національного університету
радіоелектроніки (Протокол № 7 від 17 грудня 2018 р.).

Свідоцтво про державну реєстрацію журналу Серія KB № 22696-12596P від 04.05.2017 р.

ЗМІСТ

Технічні науки

- 5 **Белей О. І.**
Гомоморфне шифрування даних у хмарних сховищах методом матричних поліномів
- 15 **Давидовський Ю. К., Рева О. А., Малєєва О. В.**
Метод моделювання параметрів мережі передачі даних для її модернізації
- 23 **Данишина С. Ю.**
Оцінювання якості технічних засобів комунікацій проектів розвитку
- 33 **Дорохін А. А., Старостіна А. Ю., Артюх Р. В.**
Модель визначення послідовності робіт та операцій для управління розкладом будівельного проекту
- 42 **Жернова П. Є., Бодяньський Є. В.**
Ядерна нечітка кластеризація потоків даних на основі ансамблю нейронних мереж
- 50 **Кузишин А. Я., Батіг А. В.**
Аналіз існуючих підходів щодо розрахунку критеріїв безпеки руху на залізничному транспорті
- 57 **Невлюдов І. Ш., Гурін В. М., Гурін Д. В.**
Методи діагностики відмов танталових оксидно-напівпровідникових конденсаторів з твердим діелектриком (eng.)
- 62 **Скоркін А. О., Кондратюк О. Л., Старченко О. П.**
Теоретичні основи оптимізації холостих переміщень інструмента при фрезеруванні складних поверхонь
- 71 **Філатов В. О., Семенець В. В.**
Мультиагентний підхід в задачах управління інформаційних простором корпоративних систем (eng.)
- 77 **Чернова Л. С., Мазуркевич О. І., Чернова Л. С.**
Модель оцінки загальної інтенсивності опору змінам в організації (eng.)
- 84 **Шаповалов М. В., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В.**
Вплив результатів виробничих випробувань твердосплавних різальних інструментів, зміцнених ОІМП на підвищення ефективності технологічного процесу різання
- 93 **Шмельов Ю. М., Владов С. І., Кришан О. Ф., Гвоздік С. Д., Чижова Л. І.**
Розробка методу класифікації режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі нейромережових технологій

Економічні науки

- 103 **Кирій В. В., Чеченець Д. О., Петрова Р. В., Довгопол Н. В.**
Механізм управління дебіторською заборгованістю газотранспортного підприємства
- 113 **Косенко В. В.**
Система підтримки прийняття рішень в плануванні інвестиційних проектів
- 120 **Кришан О. Ф., Бондарець О. М., Лебедєва Д. О., Чижова Л. І.**
Дослідження принципів та методів оптимізації оподаткування комерційних банків у сучасних умовах
- 127 **Момот Д. Т.**
Оцінка ризиків інвестування на ринку арт-індустрії: систематизація теоретико-методичних підходів
- 137 **Момот Т. В., Тумієтто Д., Тесленко Р. Ю.**
Технології блокчейн як інноваційний інструмент цифрової економіки: сутність технології, світовий досвід та проблеми впровадження (eng.)
- 146 **Омаров М. А., Мурадова В. Х.**
Инфологическое обеспечение информационной технологии управления дистанционным образованием
- 154 **Пономарьов О. С., Гринченко М. А., Лобач О. В.**
Надійність як характеристика проектної команди
- 161 **Алфавітний показник**

CONTENTS

Technical sciences

- 5 **Belej O.**
Homomorphic encryption of cloud data by the matrix polynomial method
- 15 **Davydovsky Yu., Reva O., Malyeyeva O.**
Method of modelling the parameters of data communication network for its upgrading
- 23 **Danshyna S.**
Assessing the quality of the communications hardware of a development project
- 33 **Dorokhina A., Starostina A., Artiukh R.**
The model for determining the sequence of works and operations to manage the timetable of a construction project
- 42 **Zhernova P., Bodyanskiy Ye.**
Kernel fuzzy clustering of data streams based on the ensemble of neural networks
- 50 **Kuzyshyn A., Batig A.**
The analysis of existing approaches to calculating traffic safety criteria in the railway sector
- 57 **Nevludov I., Gurin V., Gurin D.**
Methods of failure diagnostics of tantalum oxide-semiconductor capacitors with solid dielectric
- 62 **Skorkin A., Kondratyuk O., Starchenko O.**
Theoretical bases of optimizing a tool idle motion while milling complex surfaces
- 71 **Filatov V., Semenets V.**
Multiagent approach for managing the information space of corporate systems
- 77 **Chernova L., Mazurkevych O., Chernova L.**
The model of assessing the general intensity of resistance to changes in an organization
- 84 **Shapovalov M., Kovalov V., Vasilchenko Ya.**
The impact of the results of production tests of carbide cutting tools hardened by a magnetic-pulse treatment on increasing the efficiency of the technological cutting process
- 93 **Shmelov Yu., Vladov S., Kryshan O., Gvozdk S., Chyzhova L.**
Research of classification method of TV3-117 engine ratings operations based on neural network technologies

Economic sciences

- 103 **Kyriy V., Chechenets D., Petrova R., Dovgopol N.**
Mechanism of debt security management of the gas transport enterprise
- 113 **Kosenko V.**
Decision support system in planning investment projects
- 120 **Kryshan O., Bondarets E., Liebiedieva D., Chyzhova L.**
Research of principles and methods of commercial banks tax mitigation in the up-to-date conditions
- 127 **Momot D.**
Risk assessment of investments in the art-industry market: systematization of theoretical and methodological approaches
- 137 **Momot T., Tumietto D., Teslenko R.**
Blockchain technology as an innovative instrument of digital economy: technology essence, world experience and implementation problems
- 146 **Omarov M., Muradova V.**
Infological support of the information technology for management of distance education
- 154 **Ponomaryov O., Grynchenko M., Lobach O.**
Reliability as a characteristic of the project team
- 161 **Alphabetical index**

О. І. БЕЛЕЙ

ГОМОМОРФНЕ ШИФРУВАННЯ ДАНИХ У ХМАРНИХ СХОВИЩАХ МЕТОДОМ МАТРИЧНИХ ПОЛІНОМІВ

Предметом дослідження є шифрування інформації в хмарних обчисленнях і сховищах даних. Хмарні технології дозволяють значно скоротити витрати на IT-інфраструктуру і гнучко реагувати на зміни обчислювальних потреб. В такому випадку має бути забезпечено можливість проведення обчислень над зашифрованими даними без їх дешифрування. Таку властивість має повністю гомоморфне шифрування. **Метою** даної статті є підвищення ефективності повністю гомоморфного шифрування (ПГШ) на основі матричних поліномів за допомогою методу пакетного шифрування в один шифротекст декількох відкритих текстів з наступною комплексною обробкою зашифрованих даних. Пакетне шифрування зводиться до того, що при одній операції над двома шифротекстами відбувається одночасне виконання операцій покоординатно над усіма даними, що містяться в цих шифротекстах у вигляді відкритих текстів (SIMD). **Завданнями** визначено побудову алгоритмів повністю гомоморфного шифрування даних за допомогою матричних поліномів. У статті використано **методи** шифрування: з використанням китайської теореми про залишки; шляхом запису в одній матриці декількох різних власних значень при різних власних векторах; за допомогою інтерполяції матричних поліномів. В **результаті** описано та проаналізовано можливі підходи до побудови пакетних ПГШ на підставі матричних поліномів, а також представлено набір алгоритмів, що реалізують криптосхему ПГШ з інтерполяцією матричних поліномів. Наведені алгоритми і криптосхеми дозволяють передавати інформацію в повідомленнях і дані в запитах як відкритий текст, бо над шифрованими даними можна здійснювати необмежену кількість складних алгебраїчних операцій. Це, у свою чергу, ускладнює можливість дешифрування і зчитування даних без знання всього алгоритму. Було показано, що побудовані криптосхеми перевершують аналоги по ефективності, які розроблені дослідниками з IBM. Можна зробити наступний **висновок**: пакетне повністю гомоморфне шифрування на основі матричних поліномів здатне виключити необхідність хоча б часткового дешифрування даних для несанкціонованих обчислень над зашифрованими масивами даних у хмарних сховищах.

Ключові слова: повністю гомоморфне шифрування; сховище даних; алгоритм; шифротекст; криптографічні методи; криптосхеми; матричні поліноми.

Вступ

Проблемою безпеки особливо часто нехтують щодо вбудованих систем. Як результат, вони можуть бути зламані і згодом використані з метою промислового шпигунства. Злочинці отримують можливість проникнути в корпоративну мережу підприємства, здійснити несанкціонований доступ до інтелектуальної власності та її комерційних таємниць, а також маніпулювати даними підприємства, завдаючи йому шкоди через систему автоматизованого управління. Що стосується користувачів домашніх інтелектуальних пристроїв, то через злом автоматизованих систем управління і несанкціоноване проникнення в системи безпеки потенційним зловмисникам може стати доступна інформація про наявність людей в будинку або, навіть, відкрити для проникнення в будинок двері і вікна. Автомобілі, завдяки наявності систем автономного водіння і бездротового оновлення програмно-апаратних засобів, теж схильні до практично необмеженої вразливості.

Вільний інтернет-простір надто часто використовується зловмисниками для реалізації своїх планів. Соціальні медіа-ресурси, особливо Facebook, зазнали невдачі в захисті прав конфіденційності своїх користувачів і не змогли захистити їх від злочинного впливу.

Зараз здійснюється важливий ключовий етап розвитку соціальних мереж. Виникає питання про те, чи буде регулювання доступу, відповідно до обіцянок Facebook і чи буде усунуто недоліки мережі? Чи дозволить цей новий, удосконалений інструмент спілкування здійснювати безпечну комунікацію,

зближуючи світ?

Обидва методи надзвичайно складні. IBM і Microsoft разом з Агентством національної безпеки, багато років працюють над гомоморфним шифруванням (ГШ), проте технологія має значні проблеми з продуктивністю. Але прогрес все ж є. Зокрема, IBM отримала патент на конкретний метод ГШ – підтвердження того, що компанія займається відповідними розробками. Недавно в корпорації оголосили, що бібліотека шифрування ГШ тепер працює в 75 разів швидше.

Інструментарій ГШ допоміг би вберегти інформацію в Facebook від хакерів і незаконного використання, але при цьому дозволяв би витягти ту інформацію, яку вимагають рекламодавці. Гомоморфне шифрування перетворює зашифровані дані в рядки чисел, виконує аналіз цих рядків, а потім дешифрує отримані дані. В результаті виходить та же відповідь, як ніби дані і зовсім не були зашифровані.

Особливо багатообіцяючий поштовх в гомоморфному шифруванні стався в минулому році, коли Google відкрив новий інструмент маркетингових вимірювань. Він використовує цю технологію, щоб рекламодавці могли побачити, чи призводять їх онлайн-оголошення до покупок в магазині. Розшифровка цієї інформації вимагає аналізу масивів даних, що належать окремим підприємствам, незважаючи на те, що ці підприємства зобов'язуються захищати конфіденційність і особисту інформацію власників даних. Цю заборону можна обійти, створюючи агреговані, неспецифічні звіти про порівняння цих масивів даних [6–9].

В експериментальних тестах технологія ГШ допомогла Google успішно проаналізувати

зашифровані дані про те, хто натискає на рекламу. Маючи ці дані, компанія Google змогла надати звіти рекламодавцям, в яких підсумовується взаємозв'язок між двома базами даних, щоб зробити висновок, що 5% людей, які натиснули на рекламне оголошення, купили товари в магазині.

Залишається сподіватися, що компанія Facebook та інші соціальні мережі почнуть активно вивчати та впроваджувати технології гомоморфного шифрування якомога швидше. Також не можна недооцінювати інші потужні заходи, що спрямовані на захист прав конфіденційності. При цьому важливо, щоб всі можливості та інструменти були використані в своїй сукупності, а не окремо, адже це може вплинути життєздатність великих соціальних мереж в майбутньому [13–16].

Використання хмарних обчислень дає багато переваг, але для обробки даних в публічних "хмарах" в загальному випадку необхідно працювати з відкритими даними. Але для роботи з конфіденційними даними необхідна апаратура або хоча б організаційні заходи для зберігання ключів. Дуже рідко провайдери хмарних обчислень дотримуються таких вимог безпеки даних. Це несе в собі ризики, оскільки система не може вплинути жодним чином на те, що відбувається з третьої сторони (сторони зловмисного несанкціонованого доступу). Було б набагато безпечніше передавати дані в зашифрованому вигляді для того, щоб операції, які проводяться над цими даними, жодним чином не поширювало інформацію про ці дані [17, 18].

Гомоморфне шифрування як криптографічний примітив становить інтерес як з прикладної, так і з чисто математичної точки зору. Незважаючи на багаторічні дослідження в цій області, основні проблеми залишаються невирішеними.

Гомоморфне шифрування як криптографічний примітив може знайти широке застосування в криптографії і, в більш широкому сенсі, в розробці математичних методів захисту інформації. Тут, перш-за-все, слід виділити таке, цікаве з прикладної точки зору, завдання як обчислення над зашифрованими даними. Конфіденційні дані зберігаються в зашифрованому вигляді. Для виконання обчислень над ними дані можна розшифрувати, зробивши необхідні операції, і потім результати знову зашифрувати. Але для цього потрібні захищена апаратура організаційні заходи по зберіганню секретних ключів. Обчислення над зашифрованими даними, якщо вони можливі, допомагають уникнути всіх цих проблем.

Аналіз проблеми та існуючих методів

Говорячи про завдання в області інформаційної безпеки, розглянемо один з перспективних напрямків розвитку інформаційних технологій – хмарні обчислення і сховища даних. Дана технологія дозволяє значно зменшити витрати на IT-інфраструктуру і гнучко реагувати на зміни обчислювальних потреб. З іншого боку, подібне

зберігання та обробка конфіденційних даних не є безпечною з огляду на можливість неконтрольованого доступу до цих даних провайдера хмарної інфраструктури, а також ризику шкідливих вторгнень в хмару. Для організації безпечної передачі інформації в хмару дані шифруються. Для збільшення продуктивності, зручності та реалізацію безпеки хмарних обчислень необхідно забезпечити можливість здійснення довільних обчислень над зашифрованими даними без їх попереднього розшифрування. Даною властивістю володіє повністю гомоморфне шифрування [12, 17].

Варіант організації безпечних хмарних обчислень полягає в наступному. Є дві сторони – клієнт і сервер. Клієнт генерує ключову пару (sk, pk) з заданим параметром криптостійкості λ . За допомогою секретного ключа sk , який відомий тільки клієнту, проводиться шифрування дешифрування даних. Ключ pk використовується при формуванні запиту клієнтом і відомий серверу. Клієнт виробляє шифрування даних і відправляє їх на сервер, де вони завжди зберігаються в зашифрованому вигляді φ . При виникненні потреби в отриманні даних, що відповідають певним умовам, клієнт посилає серверу запит з функцією f , яку сервер буде обчислювати для зберігання зашифрованих на ньому даних. Сервер, отримавши запит, зчитує зашифровані дані і проводить над ними необхідні обчислення $f(\varphi)$ без попереднього дешифрування. Отриманий результат φ клієнт розшифровує і отримує необхідні йому дані, що задовольняють умовам функції f .

Основною областю застосування повністю гомоморфної криптосистеми є хмарні обчислення та інфраструктура аутсорсингу (рис. 1). Повністю гомоморфне шифрування дозволяє зберігати файли на сервері в зашифрованому вигляді і отримувати від сервера тільки файли, що задовольняють запиту зашифрованому вигляді без необхідності їх розшифрування.

Існує багато протоколів запитів до баз даних [11–15], що включають не тільки конфіденційне отримання записів бази даних, але і конфіденційне отримання індексів певних записів бази даних, які відповідають встановленим умовам. Поряд з протоколами, що використовують повністю гомоморфне шифрування для можливості проведення будь-яких обчислень над збережуваними зашифрованими даними, існують й інші варіанти використання повністю гомоморфного шифрування для вирішення завдань криптографії. Одним із таких завдань є перевірка делегованих обчислень, а також побудова короткого неінтерактивного доведення з нульовим розголошенням [16].

В національній практиці і теоретичних розробках гомоморфному шифруванню приділено мало уваги. Це в основному стосується або часткового гомоморфного шифрування на основі методу заміни числа [19], або – гомоморфного шифрування на основі еліптичних кривих [20, 21].

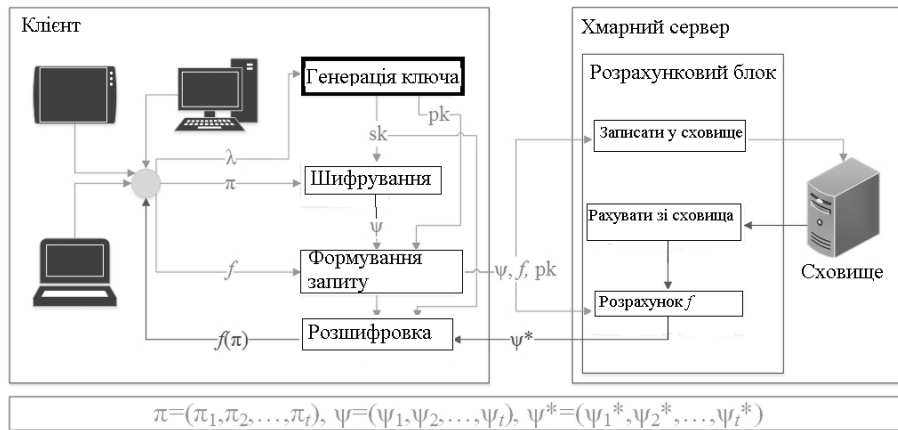


Рис. 1. Алгоритм безпечних хмарних обчислень над зашифрованими даними

Гомоморфне шифрування також знаходить застосування в пошукових системах, де воно використовується для забезпечення "приватного пошуку". В даному випадку пошуковий сервер отримує від користувачів зашифровані запити, які він не може розшифрувати, не знаючи ключа користувача. Результати пошуку також надаються користувачеві в зашифрованому вигляді. Крім того, гомоморфне шифрування використовується в системах електронного голосування, зокрема, при застосуванні підписів наосліп.

Метою даної статті є підвищення ефективності повністю гомоморфного шифрування (ПГШ) на основі матричних поліномів за допомогою методу упаковки в один шифротекст декількох відкритих текстів з подальшою "пакетною" обробкою зашифрованих даних. Даний метод вперше був введений в роботах Джентрі для прискорення роботи його конструкцій [3]. І незважаючи на те, що навіть з використанням цього методу криптосистеми типу Джентрі не стали придатними для практики, їх ефективність за рахунок нього суттєво зросла. Метод "упаковки шифротексту" є дуже перспективним. Оскільки пакетна зводиться до того, що при одній операції над двома шифротекстами відбувається одночасне виконання операцій покомпонентно над усіма даними, які містяться в цих шифротекстах з відкритими текстами (організація обробки типу SIMD).

Вирішення завдання

Вперше ідея проведення векторних операцій (SIMD) над зашифрованими даними була запропонована в роботі [16]. Ними також було помічено, що зі застосуванням китайської теореми про залишки, простір відкритих текстів деяких відомих на той час криптосхем ПГШ може бути розширено за рахунок введення векторів, компоненти яких є клітинки для окремих відкритих текстів (plaintext slots). При цьому одне гомоморфне додавання (Add) або множення (Mult) пари шифротекстів неявно додає або множить вектори покомпонентно цілком відкритих текстів.

Кожна клітинка для відкритого тексту призначається для реального зберігання елемента з якогось кінцевого поля $K_n^l = F_p$ (n – кількість елементів кожного шифрованого повідомлення, l – кількість клітинок кінцевого зашифрованого відкритого тексту), і, абстрактно, якщо є два шифротексти, які зберігають зашифровані повідомлення $m_0, \dots, m_{l-1} \in K_{n_1}^l$ і $m'_0, \dots, m'_{l-1} \in K_{n_2}^l$ відповідно в клітинках $0, \dots, l-1$ відкритого тексту. В результаті застосування l -арного додавання до двох шифротекстів виходить в результаті новий шифротекст, який зберігає $m_0 + m'_0, \dots, m_{l-1} + m'_{l-1} \in K_n^l$, а при l -арному множенні - $m_0 \times m'_0, \dots, m_{l-1} \times m'_{l-1} \in K_n^l$. Сمارт і Веркотерен використовували це спостереження для створення пакетної (або SIMD) системи гомоморфного шифрування [16].

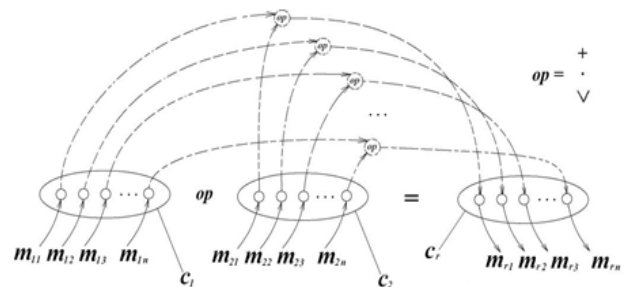


Рис. 2. Виконання векторних операцій над пакетними шифротекстами гомоморфного шифрування

Говорячи про пакетне шифрування і SIMD в криптосистемах зручно говорити про об'єднання (Aggregate) відкритих текстів і ключів в просторі. Це пов'язано з тим, що над усіма відкритими даними, які містяться в шифротексті, виконуються паралельно одні й ті ж операції. Тому можна розглядати такі набори відкритих даних як єдині елементи простору масивів відкритих даних.

Ідея пакетного шифрування отримала розвиток і використання в роботах [9-16] завдяки можливості переставляти відкриті тексти всередині одного шифротексту без дешифрування. Це відкриває великі перспективи гомоморфної обробки даних, зокрема уможливорює проведення над зашифрованими

даними в бітовому поданні стандартних машинних операцій: Add, Mult, Xor (додавання, множення, ділення в бітовому поданні). Конкретно, перестановка бітів даних між клітинками (slots) одного шифротексту може бути реалізована по-різному, зокрема, для цієї мети використовується автоморфізм Фробеніуса [4], а в роботі [17] описується використання для цих цілей мереж Бенеша.

Пакетне гомоморфне шифрування має настільки важливе практичне значення, що процедури для його реалізації були включені в нову програмну бібліотеку HELib компанії IBM [10]. Розглянемо нижче структуру цієї повністю гомоморфної криптосхеми, що побудована на використанні булевих матричних поліномів. Відкритими текстами є елементи кільця класів розрахунків Z_p по модулю простого числа p , а секретний ключ складається з матриці $K \in Z_p^{N \times N}$ і вектора $\vec{k} \in Z_p^N$.

Відкритий текст $m \in Z_p$ спочатку кодується в матрицю $M \in Z_p^{N \times N}$, де $M \times \vec{k} = m \times \vec{k}$ і $M \in K$, а потім в матричний поліном $C(X) = R(X) \times (X - K) + M$, де $R(X)$ – випадковий матричний поліном. Після множення двох таких шифротекстів результат наводиться по модулю матричного полінома вигляду $R(X) \times (X - K)$, який називається ключем перешифрування. Семантична криптостійкість такого шифру пов'язана з завданням знаходження коренів булевих матричних поліномів [15].

Якщо сукупність (N, d, p) розглядати як завдання знаходження коренів булевого матричного полінома, то по заданому матричному поліному $F(X)$ ступеня d з коефіцієнтами матричного кільця $Z_p^{N \times N}$ (N – розмірність матриці, p – елемент матриці, просте число) можна відповісти на питання чи є корінь у матричного полінома і як знайти цей корінь. При застосуванні до матричних поліномів концепції SIMD, шифрування може бути реалізовано як мінімум трьома способами: з використанням китайської теореми про залишки; шляхом запису в одній матриці декількох різних власних значень при різних власних векторах; за допомогою інтерполяції матричних поліномів.

Використання китайської теореми про залишки є найбільш перспективним шляхом, однак, вона вимагає застосування великої алгебраїчної методики [9]. Використання декількох власних числових матриць є простим, але не дуже ефективним шляхом. Розглянемо далі реалізацію пакетного шифрування за допомогою інтерполяції матричних поліномів.

Інтерполяція матричних поліномів зводиться до наступного. Для заданих m пар матриць $(X_i, Y_i), i = 1, \dots, m$ існує матричний поліном $A(X) = A_m X^m + A_{m-1} X^{m-1} + \dots + A_1 X + A_0$ з вектором

$A(X_i), i = 1, \dots, m$ у випадку, коли блочно-матрична система лінійних рівнянь

$$(A_1, A_2, \dots, A_m) \times \begin{pmatrix} I_1 & I_2 & \dots & I_m \\ X_1 & X_2 & \dots & X_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_1^{m-1} & X_2^{m-1} & \dots & \dots \end{pmatrix} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m) \quad (1)$$

має розв'язок.

В описаній далі криптосхемі складовим простором відкритих текстів є Z_p^l (простір l -мірних векторів з елементами p), простором шифротексту є кільце матричних поліномів $Z_p^{N \times N}[X]$, складовим простором ключів є вектор пар "матриця $Z_p^{N \times N}$ і вектор Z_p^N " разом з деякою оберненою матрицею $Z_p^{N \times N}$. Опишемо нижче алгоритми криптосхеми.

Алгоритм 1. Для генерації ключа (KeyGen) використовуємо наступні входні дані: параметр рівня криптостійкості λ , модуль простору відкритих текстів p , кількість клітинок l . Результатом буде секретний ключ sk , ключ перешифрування rk . Порядок виконання алгоритму 1 наступний:

1. Визначити $N \leftarrow \lambda, d \leftarrow \omega(\lambda)$.
2. Вибрати довільну перетворювану матрицю $K_0 \in GL(N, Z_p)$.
3. Вибрати l матриць $K_i, i = 1, \dots, l$, таких, що $K_i \neq K_i^2 \neq \dots \neq K_i^{l-1}, I \in S(K_i)$.
4. Для кожної матриці K_i необхідно вибрати випадковий власний вектор k_i .
5. $sk \leftarrow \{(K_i, k_i), i = 1, \dots, l\}, K_0$.
6. Згенерувати випадковий приведений матричний поліном $\hat{R}(X), \deg(\hat{R}(X)) \leq d$.
7. Згенерувати приведений матричний поліном $S(X), \deg(S(X)) = l + 1$ такий, що $S(K_i) = 0, i = 1, \dots, l$ (тобто всі K_i – його корені).
8. $R(X) \leftarrow \hat{R}(X) - S(X)$.
9. $rk \leftarrow R(X - K_0)$.

Матриці, які задовольняють умові $K_i \neq K_i^2 \neq \dots \neq K_i^{p-1}$ потрібні для ефективної генерації матриць з $Comm(K_i)$, бо відомо, що лінійні комбінації ступенів матриці гарантовано знаходяться в її комутанті. В найбільш важливому випадку $p = 2$ ця умова зводиться до $K_i \neq K_i^2$, а такі матриці будуть неідемпотентними.

Наявність одиниці в масиві матриць разом з попередньою умовою є гарантією можливості вибору в $Comm(K_i)$ нетривіальних матриць з довільними власними числами.

Запис $\omega(\lambda)$ означає деяку функцію, лінійну від λ (тобто $\omega(\lambda) = O(\lambda)$), а її конкретизація істотна для

аналізу криптостійкості, але несуттєва для аналізу асимптотичної складності розрахунків над шифротекстами.

Алгоритм 2. Для шифрування даних (Енсгурт) використовуються наступні вхідні дані: вектор-повідомлення відкритих текстів $m_i, i=1, \dots, l$, секретний ключ sk . Результатом буде матричний поліном шифротексту. Порядок виконання алгоритму визначено наступний:

1. Для кожного $m_i, i=1, \dots, l$ вибрати таку випадкову матрицю M_i , де m_i буде її власним числом при власному векторі $\vec{k}_i$.

2. З допомогою алгоритму інтерполяції матричних багаточленів розрахувати такий $\hat{C}(X)$, в якому $\deg(\hat{C}(X)) \leq N + \omega(\lambda)$, $\hat{C}(K_i) = M_i$.

3. Розрахувати $C(X) = \hat{C}(X - K_0)$.

4. Повернути як результат $C(X)$.

Алгоритм 3. Для дешифрування (Десгурт) використовуємо наступні вхідні дані: матричний поліном шифротексту $C(X)$, секретний ключ sk . В результаті отримаємо повідомлення відкритого тексту $m \in Z_p$. Порядок виконання запропонованого алгоритму буде наступний:

1. Розраховуємо $\hat{C}(X) = C(X - K_0^{-1})$.

2. Для кожного $i=1, \dots, l$ виконуємо $M_i \leftarrow \hat{C}(K_i)$.

3. Для ненульової координати $(k_j^{-1})_i$ вектора k_i знаходимо $m_i = (k_j^{-1})_i (M_i \times \vec{k}_i)$.

4. Повертаємо результат як $(m_1, \dots, m_l)$.

Запропонована криптосхема підтримує як адитивний, так і мультиплікативний гомоморфізм. Після множення двох шифротекстів для зниження ступеня результат потрібно приводити по модулю ключа перешифрування – матричного полінома.

При умові S – корінь матричного полінома $M(\lambda)$ коректність дешифрування базується на:

$$M(\lambda) = Q(\lambda) \times (I(\lambda) - S) \quad (2)$$

де $Q(\lambda)$ – матричний поліном степені $m-1$, $I(\lambda)$ – приведений матричний поліном, λ – параметр рівня криптостійкості.

Твердження (2) справедливе як для матричних поліномів над комплексними числами, так і для матричних поліномів над кінцевими полями (вимога алгебраїчної замкненості поля не використовується).

Дешифрування вище описаної криптосхеми є коректним і гомоморфічним для всіх арифметичних

$$c_1 + c_2 = z_1 + pq_1 + z_2 + pq_2 = z_1 + z_2 + p(q_1 + q_2) = 2r_1 + m_1 + 2r_2 + m_2 + (2k+1)(q_1 + q_2) \quad (3)$$

Застосування операції дешифрування до цієї суми дає в результаті суму вихідних біт m_1, m_2 :

схем, що складаються з операцій додавання та множення по модулю p . У нашому випадку підстановка полінома вказаного виду є ізоморфізмом кілець.

Вище описана криптосхема є компактною, бо в процесі проведення розрахунків над шифротекстами степінь матричних поліномів результату не перевищує заданий.

Найбільш значущою характеристикою ефективності ПГШ є аналіз складності алгоритму множення двох шифротекстів. Асимптотична складність цієї операції становить $\approx O(\lambda^{3,76 \rightarrow})$. Важливе питання криптостійкості буде розглядатися далі, проте, потрібно сказати, що при виконанні криптоаналізу видно, як вище описана криптосхема може мати досить високу криптостійкість.

Запропонована Джентрі схема повністю гомоморфного шифрування може бути детально розглянута при розрахунках в Z_2 , що є аналогом роботи з бітами.

Для початку вибирається будь-непарне число $p = 2k+1$, яке є секретним параметром. Нехай m приймає значення $\{0,1\}$. Побудуємо число $z \in Z_2$ за правилом $z = 2r + m$, де r – довільне число. Це означає, що $z = m \pmod{2}$.

У розглядуваному випадку шифрування зводиться до того, що будь-якому m ставиться у відповідність число $c = z + pq$, де q – довільне число. Звідси випливає, що $c = 2r + m + (2k+1)q$, а $c \pmod{2} = (m + q) \pmod{2}$, відповідно. Злочинцем може бути визначена лише парна частина виходу шифрування.

Алгоритм дешифрування зводиться до наступного. Припустимо є відоме зашифроване число C і відомий секрет P . Тоді процес дешифрування передбачає наступні дії:

1. Безпосереднє дешифрування з допомогою секретного параметра P : $r = c \pmod{p} = (z + pq) \pmod{p} = z \pmod{p} + (pq) \pmod{p}$, де

$$r = c \pmod{p} \text{ називається шумом і } z \in \left(-\frac{p}{2}, \frac{p}{2}\right).$$

2. Отримання вихідного зашифрованого біта: $m = r \pmod{2}$.

Перевіримо, чи дійсно дана операція є гомоморфною. Візьмемо два біта $m_1, m_2 \in Z_2$ і поставимо їм у відповідність пару чисел $z_1 = 2r_1 + m_1$ і $z_2 = 2r_2 + m_2$. Беремо секретний параметр $p = 2k+1$ і виробляємо шифрування: $c_1 = z_1 + pq_1$ і $c_2 = z_2 + pq_2$. Сума цих чисел дорівнює:

$$((c_1 + c_2) \pmod{p}) \pmod{2} = (2(r_1 + r_2) + m_1 + m_2) \pmod{2} = m_1 + m_2.$$

Проте, не знаючи p , розшифрувати дані неможливо:

$$((c_1 + c_2) \bmod p) \bmod 2 = m_1 + m_2 + q_1 + q_2.$$

$$c_1 c_2 = (z_1 + p q_1)(z_2 + p q_2) = z_1 z_2 + p(z_1 q_1 + z_2 q_2) + p^2 q_1 q_2 = (2r_1 + m_1)(2r_2 + m_2) + (2k+1)((2r_1 + m_1)q_2 + (2r_2 + m_2)q_1) = 4r_1 r_2 + (r_1 m_2 + r_2 m_1) + m_1 m_2 + 2k(2r_1 q_2 + m_1 q_2 + 2r_2 q_1 + m_2 q_1) + 2r_1 q_2 + m_1 q_2 + 2r_2 q_1 + m_2 q_1. \quad (4)$$

Застосовуючи до отриманого результату процедуру розшифрування отримаємо:

$$((c_1 c_2) \bmod p) \bmod 2 = (4r_1 r_2 + 2(r_1 m_2 + r_2 m_1) + m_1 m_2) \bmod 2 = m_1 m_2.$$

Отже, розглянута вище схема дійсно є повністю гомоморфним шифруванням. Однак, незважаючи на отримані результати, дана схема має суттєві обмеження в практичному застосуванні, тому що в результаті подібних обчислень дуже швидко накопичується помилка r . Після того, як значення цієї помилки перевищить значення p , правильно розшифрувати повідомлення не вдасться. Для подолання цієї проблеми Джентрі був запропонований механізм самокорекції шифротексту. Однак такий спосіб призводить до стрімкого зростання обсягу шифротексту і також є непрактичним. Єдиним вирішенням цієї проблеми є обмеження кількості операцій над даними або розробка більш складних алгоритмів обчислення.

Розглянемо іншу гомоморфну криптосхему, яка побудована на основі матричних поліномів і має малі обчислювальні витрати та підтримує можливість розпаралелення. В даному випадку шифротексти є поліномами, коефіцієнтами яких є матриці (так звані матричні поліноми). Ідея побудови повністю гомоморфної криптосистеми полягає в наступному.

Секретним ключем є матричний поліном $K(X)$ і вектор $\vec{k}_i$. Нехай m_1 і m_2 – відкриті тексти, а відповідними для них шифротекстами будуть матричні поліноми $C_1(X) = R_1(X)K(X) + M_1$ і $C_2(X) = R_2(X)K(X) + M_2$, де $M_1 \vec{k} = m_1 \vec{k}$ і $M_2 \vec{k} = m_2 \vec{k}$. Щоб розшифрувати повідомлення, необхідно взяти залишок від ділення шифротексту на $K(X)$ і отримати з отриманої матриці відкритий текст за допомогою $\vec{k}_i$.

Нехай $Z_p^{N \times N}$ – кільце $N \times N$ матриць з елементами кільця цілих чисел Z_p . $F = \{A_0, A_1, A_2, \dots\}$, $A_i \in Z_p^{N \times N}$ – множина послідовних матриць з $Z_p^{N \times N}$, причому всі, крім кінцевого їх числа, рівні нульовій матриці. Позначимо множину всіх таких послідовностей $Z_p^{N \times N}[X]$. У разі, якщо $F, G \in Z_p^{N \times N}[X]$, $G = \{B_0, B_1, B_2, \dots\}$, $B_i \in Z_p^{N \times N}$, виконуються наступні операції:

$$F + G = \{A_0 + B_0, A_1 + B_1, A_2 + B_2, \dots\},$$

$$FG = \{A_0 B_0, A_0 B_1 + A_1 B_0, A_0 B_2 + A_1 B_1 + A_2 B_0, \dots\} = \{C_k\} \quad (5)$$

$$C_k = \sum_{i+j=k} A_i B_j, k = 0, 1, 2, \dots$$

Аналогічні дії можна провести з операцією множення:

При таких введених операціях додавання і множення множина $Z_p^{N \times N}$ є кільцем, елементами якого є матричні поліноми. Опис алгоритмів генерації ключів *KeyGen*, шифрування *Enc* і розшифрування *Dec*, а також реалізація гомоморфності обчислень наведено нижче. Тут ω, δ, φ – заздалегідь визначаються як константи.

Генерація ключа шифрування sk здійснюється наступним чином:

1. Генеруємо приведений поліном $K(X) \in Z_p^{N \times N}[X]$, тобто його коефіцієнти $K_i, i = 0, \dots, \deg(K(X))^{-1}$ вибираємо з $Z_p^{N \times N}$ згідно рівномірного розподілу.

2. Генеруємо вектор $\vec{k}_i \in Z_p^N$ (де k_i вибираємо з Z_p згідно рівномірного закону) такий, щоб хоч одна координата перетворювалася в Z_p .

3. На виході алгоритму отримуємо секретний ключ $sk \leftarrow \{K(X), \vec{k}\}$.

При генерації секретного перешифратора pk порядок дій буде наступним:

1. Генеруємо матричний поліном $R(X) \in Z_p^{N \times N}[X]$, тобто $\deg(R(X)) \leq \delta \lambda$, $R_i, i = 0, \dots, \deg(R(X))^{-1}$ вибираємо згідно рівномірного розподілу.

2. Тоді відкритий ключ $pk \leftarrow \{R(X), K(X)\}$.

В розглядуваному випадку алгоритм шифрування можна буде виконати наступним чином:

1. У відповідності до відкритого тексту $m \in Z_p$ ставиться випадкова матриця $M \in Z_p^{N \times N}$ ($M \vec{k} = m \vec{k}$) і $MK(X) = K(X)M$, тобто вона має власний вектор $\vec{k}$ при власному значенні m і комує з матричним поліномом $K(X)$.

2. Генеруємо $R(X) \in Z_p^{N \times N}[X]$, $\deg(R(X)) \leq \omega \lambda$ і вибираємо $\deg(R(X)) \leq \deg(R(X) - \deg(K(X)))$, $R_i, i = 0, \dots, \deg(R(X))$ з $Z_p^{N \times N}$ згідно рівномірного розподілу.

3. Шифротекст розраховуємо відповідно до формули $C(X) = R(X)K(X) + M$.

В розглядуваному випадку алгоритм дешифрування повідомлень буде виглядати наступним чином:

1. Розраховуємо $M = C(X) \bmod K(X)$.

2. Для зворотних координат k_i розраховуємо $m = k_i^{-1}(M \vec{k})$.

Гомоморфні розрахунки при шифруванні матричним поліном наведено нижче. Для співставлення полінома $f^{\perp}(X_1, \dots, X_t)$ в шифротекстах $C_1, \dots, C_t$ з поліномом $f(x_1, \dots, x_t)$ над $m_1, \dots, m_t \in Z_p$ необхідно замінити операції з Z_p на операції додавання та множення поліномів в $Z_p^{N \times N}$.

$$\begin{aligned} c_1 c_2 &= R_1(X)K(X)R_2(X)K(X) + R_1(X)K(X)M_2 + R_2(X)K(X)M_1 + M_1 M_2 = \\ &= R_1(X)K(X)R_2(X) + R_1(X)M_2 + R_2(X)M_1 K(X) + M_1 M_2 \end{aligned} \quad (6)$$

що є результатом дешифрування $(m_1 m_2) \bmod 2$, тобто $(M_1 M_2) \vec{k} = M_1 (M_2 \vec{k}) = M_1 (m_2 \vec{k}) = m_2 (M_1 \vec{k}) = m_1 m_2 \vec{k}$.

Описана вище криптосхема є коректною і компактною, а значить реалізує повністю гомоморфне шифрування. Функція шифрування $E(k, m)$, де m – відкритий текст, k – ключ шифрування, є гомоморфною щодо операції множення над відкритими текстами, якщо існує ефективний алгоритм M , який отримавши на вхід будь-яку пару криптограм виду $E(k, m_1), E(k, m_2)$, видає криптограму C таку, що при дешифрування C буде отримано відкритий текст $m_1 \times m_2$. На відміну від частково гомоморфного шифрування, яке дозволяє здійснювати гомоморфні обчислення тільки над однією операцією відкритого тексту, повністю

Для шифротекстів $c \leftarrow R(X)K(X) + M$ операція дешифрування дає $m = k^{-1}((C(x) \bmod K(x))\vec{k})$. Тоді, $c_1 + c_2 = (R_1(X) + R_2(X)K(X) + M_1 + M_2)$, які є вірним шифротекстом для $(m_1 + m_2) \bmod 2$, тобто $(M_1 + M_2)\vec{k} = (m_1 + m_2)\vec{k}$.

У випадку множення отримуємо:

гомоморфне шифрування забезпечує гомоморфізм обох операцій (як додавання, так і множення):

$$\begin{cases} \text{Dec}(\text{Enc}(m_1) \otimes \text{Enc}(m_2)) = m_1 \times m_2 \\ \text{Dec}(\text{Enc}(m_1) \oplus \text{Enc}(m_2)) = m_1 + m_2 \end{cases} \quad (7)$$

Вище запропоновані алгоритми та криптосхеми реалізовані та протестовані на мові C#. Здійснено порівняння швидкості шифрування даних і швидкості операцій в рамках властивостей гомоморфності. Для кожної криптосистеми були реалізовані виділені окремі класи, які містили такі функції: генерація ключів (KeyGeneration); шифрування (Encrypt); дешифрування (Decrypt).

В ході експерименту були отримані наступні результати:

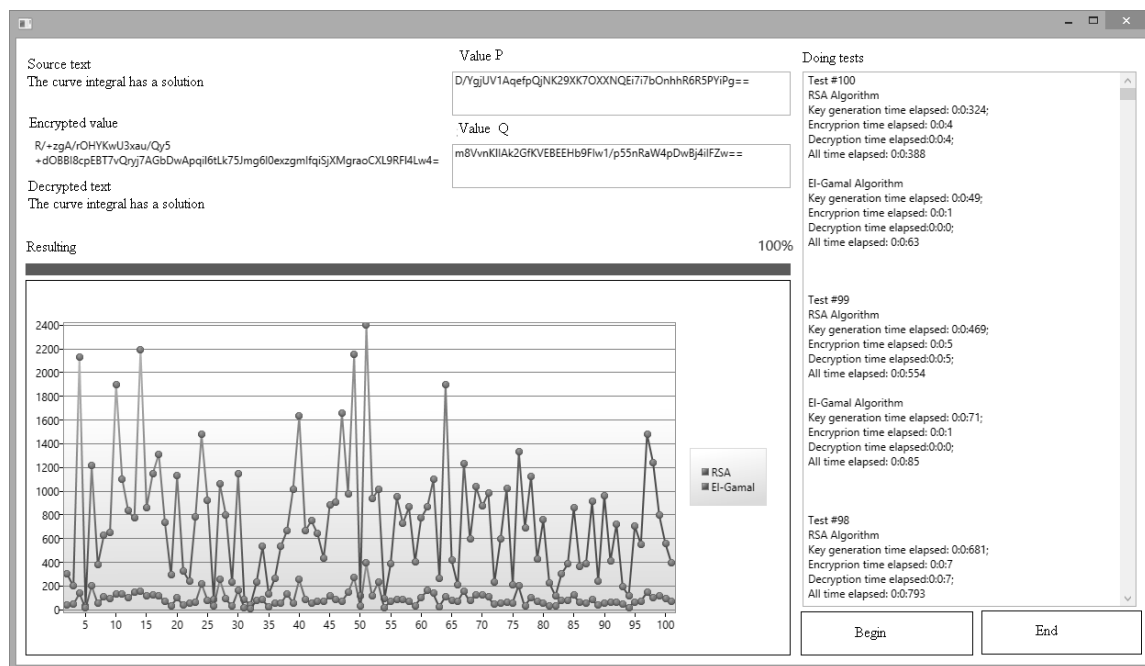


Рис. 3. Тестування процесів генерації ключів, шифрування та дешифрування тексту з використанням криптосистем RSA та Ель-Гамалія

З наведених результатів можна вивести певні дані по продуктивності застосування криптосистем RSA та Ель-Гамалія на основі описаних вище алгоритмів повного гомоморфного шифрування з використанням матричних поліномів:

Таблиця 1. Продуктивність криптосистем RSA та Ель-Гамалія на основі алгоритмів повного гомоморфного шифрування

Крипто-система	Генерація ключа	Шифрування	Дешифрування
RSA	0:0:212 мс	0:0:5 мс	0:0:4 мс
Ель Гамалія	0:0:143 мс	0:0:2 мс	0:0:1 мс

Проведене тестування криптосистем (рис. 4) підтвердило ефективність використання даного підходу для проведення безпечних обчислень. Вибір досить великої, порівняно зі значеннями використовуваних операндів, модуля дозволяє коректно вирішувати проблему однозначності обчислення. Операції віднімання і ділення на ціле число, наявність яких необхідна для здійснення повноцінних обчислень, можуть бути реалізовані через операції додавання і множення на зворотне число (в цьому випадку модуль групи повинен бути простим числом).

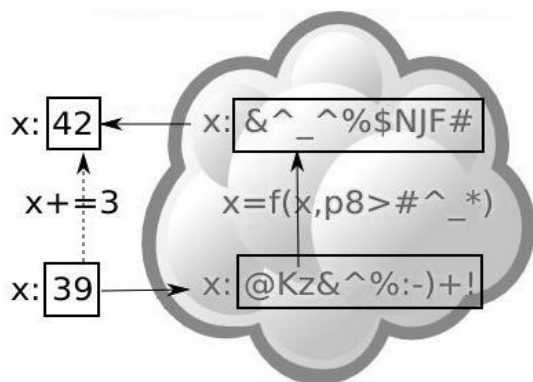


Рис. 4. Повністю гомоморфне шифрування в хмарних базах даних без знання вмістимого запиту повідомлення

Гомоморфне шифрування є потужним апаратом для захисту збережуваних у хмарних сховищах даних. І лише повністю гомоморфне шифрування здатне виключити необхідність хоча б часткового дешифрування даних для здійснення обчислень над

ними. Втім, і воно не буде здатне витіснити будь-які інші види криптографічного захисту, оскільки будь-яке подібне шифрування принципово вразливе до атаки з підібраним текстом.

Висновки

В дослідженні описано та проаналізовано можливі підходи до побудови пакетного ПГШ на основі матричних поліномів, а також представлено набір алгоритмів, який реалізує один з цих підходів – криптосхему ПГШ з інтерполяцією матричних поліномів. Було показано, що по ефективності побудована криптосхема перевершує аналоги, розроблені дослідниками з IBM. Опис програмної реалізації криптосхеми з обґрунтуванням криптостійкості відповідних алгоритмів буде розглянуто в подальших дослідженнях.

Розглянуто гомоморфне шифрування, як найбільш перспективний напрямок в області захисту інформації при використанні хмарних обчислень. Здійснене тестування продуктивності криптосистем RSA, Пейе та Ель-Гамала, кожна з яких володіє певною гомоморфною властивістю. В ході експериментів з'ясувалося, що на даний момент криптосистема Гентрі не завжди може застосовуватися для шифрування передачі повідомлень та запитів до сховищ даних. У той же час, криптосистеми RSA і Пейе можуть використовуватися в окремих випадках для шифрування даних у сховищі MS Azure чи Amazon.

Список літератури

1. Albrecht M. R., Farshim P., Faugere J. C., Perret L. Polly cracker, revisited. *Advances in Cryptology*. Springer Berlin Heidelberg. 2011. P. 179–196.
2. Armknecht F., Augot D., Perret L., Sadeghi A. R. On constructing homomorphic encryption schemes from coding theory. *Cryptography and Coding*. Springer Berlin Heidelberg. 2011. P. 23–40.
3. Boneh D., Gentry C., Halevi S., Wang F., Wu D. J. Private database queries using somewhat homomorphic encryption. *Applied Cryptography and Network Security*. Springer Berlin Heidelberg. 2013. P. 102–118. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38980-1_7.
4. Cheon J. H., Coron J. S., Kim J., Lee M. S., Lepoint T., Tibouchi M., Yun A. Batch Fully Homomorphic Encryption over the Integers. *Advances in Cryptology. EUROCRYPT*. Vol. 7881. 2013. P. 315–335. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38348-9_20.
5. Dennis, Jr J. E., Traub J. F., Weber R. P. Algorithms for solvents of matrix polynomials. *SIAM Journal on Numerical Analysis*. 1978. Vol. 15. No. 3. P. 523–533.
6. Domingo-Ferrer J. A Provably Secure Additive and Multiplicative Privacy Homomorphism. *Information Security*. Springer Berlin Heidelberg. 2002. P. 471–483.
7. Gavin G. An efficient FHE based on the hardness of solving systems of non-linear multivariate equations. *IACR Cryptology ePrint Archive*. 2013. No. 262.
8. Gentry S., Halevi N. P. Smart. Fully homomorphic encryption with polylog overhead. *Advances in Cryptology – EUROCRYPT*. Springer Berlin Heidelberg. 2012. P. 465–482. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-29011-4_28.
9. Guellier Antoine. Can Homomorphic Cryptography ensure Privacy? [Research Report] RR-8568. 2014. P. 111. URL : <https://hal.inria.fr/hal-01052509v1>.
10. Halevi S., Shoup V. Algorithms in HELib. *IACR Cryptology ePrint Archive*. 2014. No. 106.
11. Herold G. Polly cracker, revisited, revisited. *Public Key Cryptography. PKC*. Springer Berlin Heidelberg. 2012. P. 17–33.
12. Hojsík M., Půlpánová V. A fully homomorphic cryptosystem with approximate perfect secrecy. *Proceedings of the 13th international conference on Topics in Cryptology*. Springer-Verlag. 2013. P. 375–388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-36095-4_24.
13. Naehrig M., Lauter K., Vaikuntanathan V. Can homomorphic encryption be practical? *Proceedings of the 3rd ACM workshop on Cloud computing security workshop*. ACM. 2011. P. 113–124. DOI: <https://doi.org/10.1145/2046660.2046682>.
14. Poteya Manish M., Dhotab C. A., Sharmac Deepak H. Homomorphic Encryption for Security of Cloud Data. *Procedia Computer Science* 79. 2016. P. 175 – 181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.023>.

15. Rivest R. L., Adleman L., Dertouzos M. L. On data banks and privacy homomorphisms. *Foundations of secure computation*. 1978. Vol. 4. No. 11. P. 169–180.
16. Silverberg. Fully homomorphic encryption for mathematicians. *Women in Numbers 2: Research Directions in Number Theory*. 2013. T. 606. P. 111.
17. Smart Nigel P., Vercauteren F. Fully Homomorphic Encryption with Relatively Small Key and Ciphertext Sizes. *Public Key Cryptography-PKC 2010: 13th International Conference on Practice and Theory in Public Key Cryptography*, Paris, France, May 26–28, 2010, Proceedings. Springer, 2010. P. 420.
18. Wagner D. Cryptanalysis of an algebraic privacy homomorphism. *Proc. of 6th Information Security Conference (ISC'03)*. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1.1.5.1420>.
19. Yasuda M., Shimoyama T., Kogure J., Yokoyama K., Koshiha T. Packed homomorphic encryption based on ideal lattices and its application to biometrics. *Security Engineering and Intelligence Informatics*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. P. 55–74.
20. Ступень П. В., Соколов С. О., Золкіна О. Ю. Застосування гомоморфного шифрування для захисту числових даних у хмарних сховищах. *Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія". Серія: Комп'ютерні технології*. 2015. Т. 266, Вип. 254. С. 71–75. URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchduct_2015_266_254_13 (дата звернення : 28.11.2018).
21. Кветний Р. Н., Титарчук С. О. Використання частково гомоморфного алгоритму шифрування на еліптичних кривих у хмарній системі електронного голосування. *Оптико-електронні інформаційноенергетичні технології*. 2016. № 32 (2). С. 14–22.
22. Кветний Р. Н., Титарчук С. О. Аналіз криптостійкості частково гомоморфного алгоритму шифрування на основі еліптичних кривих. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2017. № 1 (38). С. 83–87.

References

1. Albrecht, M. R., Farshim, P., Faugere, J. C., Perret, L. (2011), "Polly cracker, revisited. *Advances in Cryptology*", Springer Berlin Heidelberg, P. 179–196.
2. Armknecht, F., Augot, D., Perret, L., Sadeghi, A. R. (2011) "On constructing homomorphic encryption schemes from coding theory", *Cryptography and Coding*, Springer Berlin Heidelberg, P. 23–40.
3. Boneh, D., Gentry, C., Halevi, S., Wang, F., Wu, D. J. (2013), "Private database queries using somewhat homomorphic encryption", *Applied Cryptography and Network Security*. Springer Berlin Heidelberg, P. 102–118. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38980-1_7.
4. Cheon, J. H., Coron, J. S., Kim, J., Lee, M. S., Lepoint, T., Tibouchi, M., Yun, A. (2013), "Batch Fully Homomorphic Encryption over the Integers", *Advances in Cryptology, EUROCRYPT*, Vol. 7881, P. 315–335. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38348-9_20.
5. Dennis, Jr J. E., Traub, J. F., Weber, R. P. (1978), "Algorithms for solvents of matrix polynomials", *SIAM Journal on Numerical Analysis*, Vol. 15, No. 3, P. 523–533.
6. Domingo-Ferrer, J. (2002), "A Provably Secure Additive and Multiplicative Privacy Homomorphism", *Information Security*, Springer Berlin Heidelberg, P. 471–483.
7. Gavin, G. (2013), "An efficient FHE based on the hardness of solving systems of non-linear multivariate equations", *IACR Cryptology ePrint Archive*, No. 262.
8. Gentry, S., Halevi, N. P. Smart (2012), "Fully homomorphic encryption with polylog overhead" *Advances in Cryptology, EUROCRYPT*, Springer Berlin Heidelberg, P. 465–482. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-29011-4_28.
9. Guellier, Antoine (2014), "Can Homomorphic Cryptography ensure Privacy?" [*Research Report*], RR-8568, P. 111, available at : URL : <https://hal.inria.fr/hal-01052509v1> (last accessed 11.11.2018).
10. Halevi, S., Shoup, V. (2014), "Algorithms in HELib", *IACR Cryptology ePrint Archive*, No. 106.
11. Herold, G. (2012), "Polly cracker, revisited, revisited. *Public Key Cryptography, PKC*, Springer Berlin Heidelberg, P. 17–33.
12. Hojsik, M., Půlpánová, V. (2013), "A fully homomorphic cryptosystem with approximate perfect secrecy", *Proceedings of the 13th international conference on Topics in Cryptology, Springer-Verlag*, P. 375–388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-36095-4_24.
13. Naehrig, M., Lauter, K., Vaikuntanathan, V. (2011), "Can homomorphic encryption be practical?", *Proceedings of the 3rd ACM workshop on Cloud computing security workshop, ACM*, P. 113–124. DOI: <https://doi.org/10.1145/2046660.2046682>.
14. Poteya, Manish, M., Dhoteb, C. A., Sharmac Deepak H. (2016), "Homomorphic Encryption for Security of Cloud Data", *Procedia Computer Science* 79, P. 175–181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.023>.
15. Rivest, R. L., Adleman, L., Dertouzos, M. L. (1978), "On data banks and privacy homomorphisms", *Foundations of secure computation*, Vol. 4, No. 11, P. 169–180.
16. Silverberg (2013), "Fully homomorphic encryption for mathematicians", *Women in Numbers 2: Research Directions in Number Theory*, Vol. 606, P. 111.
17. Smart, Nigel, P., Vercauteren, F. (2010), "Fully Homomorphic Encryption with Relatively Small Key and Ciphertext Sizes", *Public Key Cryptography-PKC 2010: 13th International Conference on Practice and Theory in Public Key Cryptography, Paris, France*, Proceedings, Springer, P. 420.
18. Wagner, D. (2003), "Cryptanalysis of an algebraic privacy homomorphism", *Proc. of 6th Information Security Conference (ISC'03)*. DOI: <https://doi.org/10.1.1.5.1420>.
19. Yasuda, M., Shimoyama, T., Kogure, J., Yokoyama, K., Koshiha, T. (2013), "Packed homomorphic encryption based on ideal lattices and its application to biometrics", *Security Engineering and Intelligence Informatics*, Springer Berlin Heidelberg, P. 55–74.
20. Stupen, P. V., Sokolov, S. O., Zolkina, O. Yu. (2015), "Application of homomorphic encryption for the protection of numerical data in cloud storage", *Scientific works of the Petro Mohyla Black Sea State University of the Kyiv-Mohyla Academy complex. Series: Computer Technology*, Vol. 266, No. 254, P. 71–75, available at : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchduct_2015_266_254_13 (last accessed: 28.11.2018).
21. Kvyetnyy, R. N., Tytarchuk, Ye. O. (2016), "The use of a partially homomorphic encryption algorithm on elliptic curves in a cloud-based electronic voting system", *Optoelectronic information technology technologies*, No. 32 (2), P. 14–22.

22. Kvyetnyy, R. N., Tytarchuk, Ye. O. (2017), "Analysis of cryptostability of partially homomorphic encryption algorithm on the basis of elliptic curves", *Information Technology and Computer Engineering*, No. 1 (38), P. 83–87.

Надійшла (Received) 04.12.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Белей Олександр Ігорович – кандидат економічних наук, доцент, Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри систем автоматизованого проектування, Львів, Україна; e-mail: tiger_oles@i.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4150-7425>.

Белей Александр Игоревич – кандидат экономических наук, доцент, Национальный университет "Львовская политехника", доцент кафедры систем автоматизированного проектирования, Львов, Украина.

Belej Oleksandr – PhD (Economics Sciences), Associate Professor, Lviv Polytechnic National University, Associate Professor at the Department of Computer-Aided Systems, Lviv, Ukraine.

ГОМОМОРФНОЕ ШИФРОВАНИЕ ДАННЫХ В ОБЛАЧНОМ ХРАНИЛИЩЕ МЕТОДОМ МАТРИЧНЫХ ПОЛИНОМОВ

Предметом исследования является шифрование информации в облачных вычислениях и хранилищах данных. Облачные технологии позволяют значительно сократить расходы на ИТ-инфраструктуру и гибко реагировать на изменения вычислительных потребностей. В таком случае должно быть обеспечено возможности проведения вычислений над зашифрованными данными без их дешифровки. Таким свойством обладает полностью гомоморфное шифрование. **Целью** данной статьи является повышение эффективности полностью гомоморфного шифрования (ПГШ) на основе матричных полиномов с помощью метода пакетного шифрования в один шифротекст нескольких открытых текстов с последующей комплексной обработкой зашифрованных данных. Пакетное шифрование сводится к тому, что при одной операции над двумя шифротекстами происходит одновременное выполнение операций покомпонентно над всеми данными, содержащимися в этих шифротекстах в виде открытых текстов (SIMD). **Задачами** определено построение алгоритмов полностью гомоморфного шифрования данных с помощью матричных полиномов. В статье использованы методы шифрования: с использованием китайской теоремы об остатках; путем записи в одной матрицы нескольких различных собственных значений при различных собственных векторах; с помощью интерполяции матричных полиномов. В **результате** описано и проанализированы возможные подходы к построению пакетных ПГШ на основании матричных полиномов, а также представлены набор алгоритмов, реализующих криптосхему ПГШ с интерполяцией матричных полиномов. Приведенные алгоритмы и криптосхемы позволяют передавать информацию в сообщениях и данные в запросах в виде открытого текста, поскольку над зашифрованными данными можно совершать неограниченное количество сложных алгебраических операций, что затрудняет возможность расшифровки и считывания данных без знания всего алгоритма. Было показано, что построенные криптосхемы превосходят аналоги по эффективности, разработанные исследователями из IBM. Можно сделать следующий **вывод**: пакетное полностью гомоморфное шифрование на основе матричных полиномов способно исключить необходимость хотя бы частичной расшифровки данных для несанкционированных вычислений над зашифрованными массивами данных в облачных хранилищах.

Ключевые слова: полностью гомоморфное шифрование; хранилище данных; алгоритм; шифротекст; криптографические методы; криптосхемы; матричные полиномы.

HOMOMORPHIC ENCRYPTION OF CLOUD DATA BY THE MATRIX POLYNOMIAL METHOD

The **subject matter** of the study is the encryption of information in cloud data computation and storage. Cloud technologies enable reducing the cost of IT infrastructure significantly and responding to changes in computing needs flexibly. In this case, the possibilities to perform calculations on the encrypted data without decrypting should be provided. Fully homomorphic encryption has this feature. The **goal** of this article is to increase the efficiency of fully homomorphic encryption (FHE) on the basis of matrix polynomials using the method of batch encryption to one ciphertext of several plaintexts with the subsequent complex processing of encrypted data. Batch encryption comes down to the fact that while conducting the operation on two ciphertexts, operations are simultaneously conducted componentwise on all the data contained in these ciphertexts in the form of plaintexts (SIMD). The **task** is the construction of algorithms of fully homomorphic data encryption using matrix polynomials. The following encryption methods are used in the article: the use of the Chinese remainder theorem; recording several different eigenvalues with different eigenvectors to the same matrix; the interpolation of matrix polynomials. The following **results** were obtained: possible approaches to constructing a batch FHE on the basis of matrix polynomials were described and analyzed, a set of algorithms that implement the FHE crypto scheme with interpolation of matrix polynomials was presented. The above algorithms and crypto schemes enable transmitting information in messages and data in queries as a plain text because an unlimited number of complex algebraic operations can be performed on the encrypted data, which makes it difficult to decrypt and read data without the knowledge of the entire algorithm. The constructed crypto schemes were shown as more efficient than analogues developed by IBM researchers. The following **conclusion** can be made: a batch fully homomorphic encryption using matrix polynomials can eliminate the need for at least partial decryption of data to carry out unauthorized computation on encrypted cloud data arrays.

Keywords: fully homomorphic encryption; databank; algorithm; ciphertext; cryptographic methods; crypto scheme; matrix polynomials.

Ю. К. ДАВИДОВСЬКИЙ, О. А. РЕВА, О. В. МАЛЄЄВА

МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Предметом дослідження в статті є процес передачі даних в транспортних мережах зв'язку. **Мета роботи** – розробка методу моделювання параметрів мереж передачі даних, який дає змогу формалізовано представити параметри функціонування мережі для моделювання її поведінки з урахуванням динаміки трафіку. В статті вирішуються наступні **завдання**: обґрунтування важливості модернізації мереж передачі даних на прикладі зростання їх використання; визначення необхідності створення саме автоматизованого засобу для моделювання, на відміну від залучення технічних спеціалістів; вибір рівнів абстракції мережі передачі даних для її моделювання; визначення математичного апарату для обчислення параметрів моделі; розробка методу моделювання мережі передачі даних. Використовуються такі **методи**: основи системного аналізу, метод імітаційного моделювання. Отримано наступні **результати**: Надано прогнозований графік зростання обсягів трафіку за категоріями та узагальнена діаграма. Зроблено висновок, що зростання трафіку відбувається у геометричній прогресії. Була оцінена модернізація мережі з урахуванням різних видів витрат. Зроблено висновок про потребу ринку в автоматизованому інструменті проектування та модернізації мережі. Розглянуті різні способи моделювання динамічних систем; визначений спосіб створення моделі транспортної мережі зв'язку. Розглянута семирівнева модель OSI та наведено власну інтерпретацію особливостей її рівнів. Були обрані чотири нижні рівні цієї моделі, у якості рівнів абстракції моделювання, виділені основні характеристики транспортної мережі зв'язку, якими буде оперувати модель. Функціонування нижніх рівнів транспортної мережі зв'язку формалізовано у вигляді окремих математичних моделей та формул, на основі яких описаний метод моделювання функцій транспортної мережі зв'язку. Були визначені способи застосування цього методу для модернізації топології транспортної мережі зв'язку. **Висновки**: Таким чином, створено новий метод моделювання транспортної мережі зв'язку, який удосконалює, та спрощує процес створення, або модернізації мережі, що дає можливість значно зменшити кошти на проектування топології мережі, та підвищити утилізацію її ресурсів.

Ключові слова: мережа передачі даних; імітаційне моделювання; системна динаміка; модель OSI; фізичний рівень; каналний рівень; мережевий рівень; транспортний рівень; трафік.

Вступ

Сьогодення характеризується масштабними змінами у щоденній людській діяльності, насамперед мається на увазі зростання людської активності у мережі Internet, або використання локальних, корпоративних мереж. Це створює величезну потребу в оновленні існуючих мереж як на програмному так і на фізичному рівнях. Будь яка модернізація мережі є складним та коштовним процесом, тому вирішення задачі зменшення вартості модернізації мережі є життєво необхідним для будь якого бізнесу, який бажає оптимізувати свої витрати. Ця праця присвячена одному з варіантів вирішення вказаної задачі.

Аналіз публікацій та постановка завдання

Для моделювання мереж застосовуються імітаційні моделі, які поділяються на чотири основних типи: дискретно-подійні моделі, моделі системної динаміки, моделювання динамічних систем та агенте моделювання [1, 2].

Системна динаміка є потужним інструментом для дослідження динамічних процесів, який дозволяє моделювати складні системи зі зворотнім зв'язком (на виробництві, в соціумі, тощо). Процеси в такому випадку зображені у вигляді діаграм, складених зі позитивних та негативних зворотніх зв'язків. Особлива увага приділяється саме моделюванню цих зв'язків [3].

При дискретно-подійному моделюванні, на відміну від моделювання системної динаміки, вся увага приділяється або переходам від події до події

(подіє-орієнтована модель), або від одного дискретного проміжку часу до іншого (процес-орієнтована модель). Цей тип імітаційного моделювання застосовується у разі, якщо стан системи змінюється миттєво у відповідні проміжки часу. Така модель може бути зображена у вигляді графу подій [4].

Моделювання динамічних систем дозволяє описати процеси у вигляді алгебраїчних рівнянь, алгоритмів, блок-схем та диференціальних рівнянь [5–7].

Агенте моделювання оперує поняттям "агент" – що є деякою сутністю, яка може проявляти активність, має свою поведінку, може приймати рішення на основі поточного стану системи. Таке моделювання використовують для зображення децентралізованих, інтелектуальних систем для отримання інформації щодо взаємодії її складових [8].

Для симуляції роботи мережі передачі даних найчастіше і з найбільшим успіхом використовуються моделі першого та третього типів – дискретно-подійні та моделі динамічних систем. У нашій праці ми застосуємо модель динамічних систем оскільки це дозволить легше перенести моделі у інформаційну систему для моделювання на обчислювальній техніці [9].

Тому метою статті є розробка методу моделювання параметрів мереж передачі даних, який дає змогу формалізовано представити параметри нижніх рівнів функціонування мережі для створення імітаційної моделі її поведінки з урахуванням динаміки трафіку.

В статті вирішуються такі завдання:

1. Обґрунтування важливості модернізації мереж передачі даних на прикладі зростання їх використання;

2. Визначення необхідності створення саме автоматизованого засобу для моделювання, на відміну від залучення технічних спеціалістів;

3. Вибір рівнів абстракції мережі передачі даних для її моделювання;

4. Визначення математичного апарату для обчислення параметрів моделі;

5. Розробка методу моделювання мережі передачі даних.

Обґрунтування важливості зростання обсягу трафіку

Зростання людської активності у мережі Internet можна наявно продемонструвати, опираючись на дані з різних джерел, таких як: Ericsson, Cisco та інші. Звіти цих компаній демонструють теперішнє та прогнозоване навантаження на мережі передачі даних у різних перспективах, в тому числі, із кластеризацією за типами наданих послуг та сервісів. Наприклад наступна гістограма, узятая з доповіді Ericsson, демонструє, що зростання трафіку є нерівномірним та в період з 2016 по 2022 рік планується зростання насамперед відео-, аудіотрафіку, а також трафіку соціальних мереж (рис. 1) [10].

Mobile traffic by application category
CAGR 2016-2022 (percent)

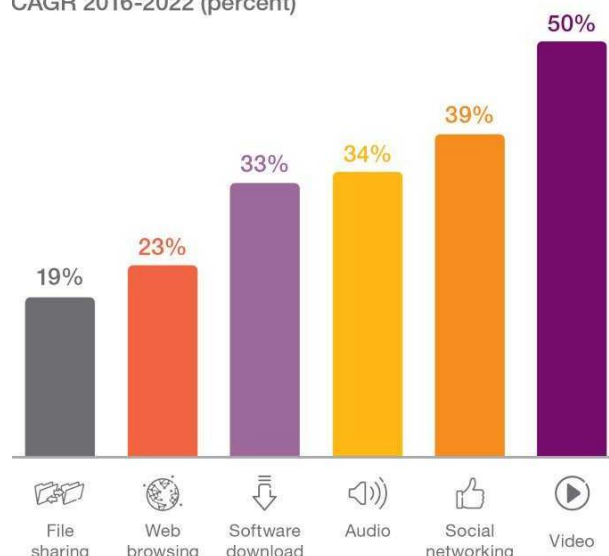
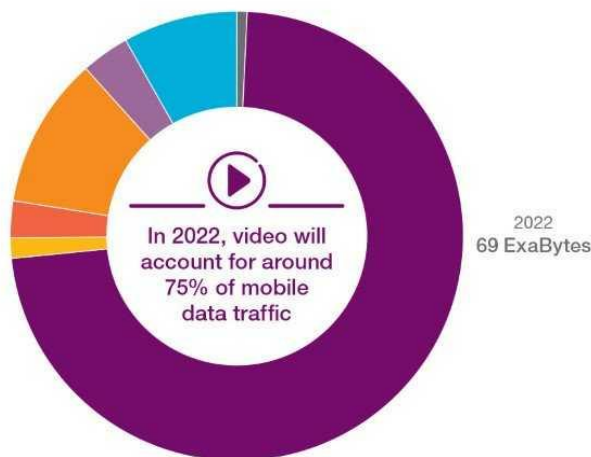


Рис. 1. Прогнозований графік зростання обсягів трафіку за категоріями

Та для більшої повноти розуміння цієї проблеми Ericsson наводить не тільки відносні, але й конкретні цифри прогнозованого зростання навантаження (рис. 2) [10], а саме:

Mobile traffic by application category per month (ExaBytes)



* Video is likely to form a major part of file sharing traffic in addition to the identified application type 'video'
* Ericsson ConsumerLab, TV and Media (2016)

Рис. 2. Прогнозований графік зростання обсягів трафіку

Можна зробити висновок, що зростання трафіку відбувається у геометричній прогресії. Однак є ще одна характеристика, яка є ключовою — це кластеризація трафіку не за типом переданих даних, а за розподілом передачі даних на добу, тобто так званий "Busy-hour Internet traffic" [11].

Компанія Cisco прогнозує зростання цього трафіку на третину більше ніж увесь інший трафік. Це зростання присутнє не тільки у повсякденних активностях у мережі Internet, але й у сферах бізнесу, тобто корпоративних мережах. Згідно зі

статистичними прогнозами компанії Cisco у період з 2017 по 2021 роки, використання відеоконференцій зумовить потрібне зростання трафіку у корпоративних мережах [12].

Через це постає закономірне питання збільшення потужностей комп'ютерних мереж. Але, якщо тренд сьогодні задають такі мережеві технології як GRID обчислення, або хмарні сховища даних, такі очевидні питання як фізична модернізація каналів зв'язку, побудова мереж та інше, вирішується досить дорого та у багатьох випадках надлишково. Ця ситуація

призводить до збільшення вартості використання комп'ютерних мереж [13].

Наведемо цифри, які характеризують втрати компаній при неоптимальному використанні ресурсу комп'ютерних мереж. Приблизні витрати та дохід було оцінено на основі аналізу реально існуючих фірм. Наприклад, у компанії працюють 100 людей, які використовують 80 стаціонарних та 15 портативних робочих місць. Також використовується 3 сервери, які обслуговують просту Ethernet мережу з декількома концентраторами та мостами. Якщо прийняти, що щоденний дохід на одного співробітника дорівнює 300 долларам США, та втрати через простоту та перевантаження мережі дорівнюють 2%, розраховуючи робочий період у році рівний 220 дням, можна отримати приблизні фінансові втрати – 132 тис. долларів США. Для збільшення ефективності роботи мережі, власники компанії звернулися до консалтингової фірми з таких питань, та було вирішено перейти на 100 Mb/s комутовану Ethernet мережу. Модернізація мережі була оцінена з урахуванням наступних витрат:

- 1) 2 нових сервера (40 тис. долларів);
- 2) 2 ліцензії на ПЗ (4 тис. долларів);
- 3) 2 джерела безперервного живлення (3 тис. долларів);
- 4) 100 нових мережевих карт 10/100 (5 тис. долларів);
- 5) 1 станція керування (7 тис. долларів);
- 6) 6 комутаторів 10/100 Gigabit Ethernet на 24 порта (18 тис. долларів);
- 7) 1 новий RAS (1 тис. долларів);
- 8) 2 стойки для комутаторів/RAS (5 тис. долларів);

Усього модернізація буде коштувати 83 тис. долларів США, але не були враховані витрати на консалтинг та навчання персоналу, а ці витрати можуть сягати третини усіх витрат, у середньому такий проект коштував би від 40 тис. долларів за проектування, та від 20 тис. долларів за навчання персоналу. Таким чином повернення інвестицій (Return on Investment, ROI) без залучення консалтингової компанії можна очікувати приблизно через:

$$ROI = 83 / 132 \approx 0.63 \text{ року, тобто } 6\text{--}8 \text{ місяців.}$$

Але, якщо залучати консалтингову фірму, можна втратити ще 60 тис. долларів, та отримати ROI рівним 1.1 року, тобто 12–14 місяців.

Таким чином можна наглядно побачити потребу ринку в автоматизованому інструменті проектування та модернізації мережі, який би був простим у використанні, безкоштовним, або недорогим. Вже сьогодні є декілька програмних пакетів, наприклад Cisco Packet Tracer, GNS3, Unetlab, та інші, які дозволяють спростити роботу адміністраторам мережі, не залучаючи консалтингових фірм або інших спеціалістів у цій галузі.

Ці програмні продукти спрямовані на аналіз маршрутизації, розподілу підмереж, вони мають досить розгорнуту базу обладнання, та дозволяють візуалізувати розподіл робочих станцій, комутаторів маршрутизаторів у компанії. Але всі існуючі

програмні пакети не дозволяють у повному обсязі, та з можливістю масштабування, провести навантажене моделювання мережі, особливо в умовах динамічного зростаючого чи спадаючого трафіку. Ця частина ринку мережевого моделювання ще є відкритою та шукає системи, які б дозволили спеціалісту з мінімальною підготовкою спроектувати з нуля, або модернізувати існуючу мережу.

Метод моделювання характеристик трафіку в мережі передачі даних

Враховуючи специфіку об'єкта дослідження, а саме – транспортної мережі зв'язку, було прийняте рішення скористуватися імітаційним моделюванням, оскільки така модель у подальшому може бути описана у вигляді алгоритмів та використана для експериментів на обчислювальній техніці.

Для побудови моделі мережі потрібно мати формалізований опис самої мережі, та її поведінки, з цією метою нами була обрана семирівнева модель OSI, яка достатньо детально та диференційовано дає опис усьому спектру функцій мережі передачі даних, таких як: маршрутизація, керування трафіком, управління топологіями, та інші.

Для спрощення моделі, та можливості у подальшому збільшити сферу її використання було прийняте рішення використовувати лише чотири нижні рівні моделі OSI. Це дозволить відокремити безпосередньо роботу мережі від особливостей даних, які нею передаються [14].

Нижче ми наведемо власну інтерпретацію особливостей цих рівнів:

- фізичний рівень та каналний – відповідають за інструментальні засоби, які використовуються в мережі: сітові адаптери, комутатори, репітери, оптоволокну, коаксіальні кабелі тощо, а також за їх розташування у структурі мережі – топологію;

- сітловий рівень – виконує побудову маршрутів передачі даних від відправника до отримувача, пошук найліпших маршрутів, перевантажень у мережі;

- транспортний рівень – відповідає за розподіл обсягів трафіку, який буде переданий за різними маршрутами, впираючись на ту інформацію, яку можна отримати з сітлового рівня.

Варто особливо зазначити спосіб представлення вхідних даних для моделі, а саме, було використано гістограму вхідного трафіку на протязі деякого часу (години/дні/тижні). Приклад такої гістограми приведений на рис. 3.

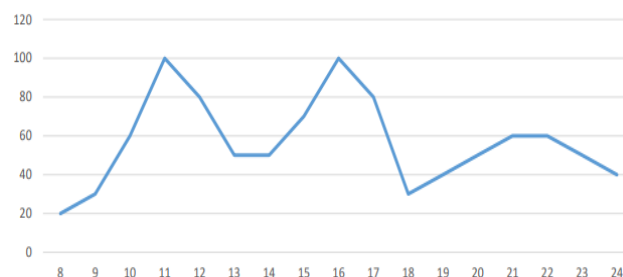


Рис. 3. Гістограма розподілу трафіку на протязі доби

Зазначений вище розподіл функцій моделі, дозволить спростити уявлення про реальну мережу та провести симуляцію її роботи. Тепер спробуємо більш детально розглянути кожен із цих рівнів функціонування моделі.

Фізичний та каналний рівні представлені у вигляді бінарного (неорієнтованого) графу, який зображений на рис. 4.

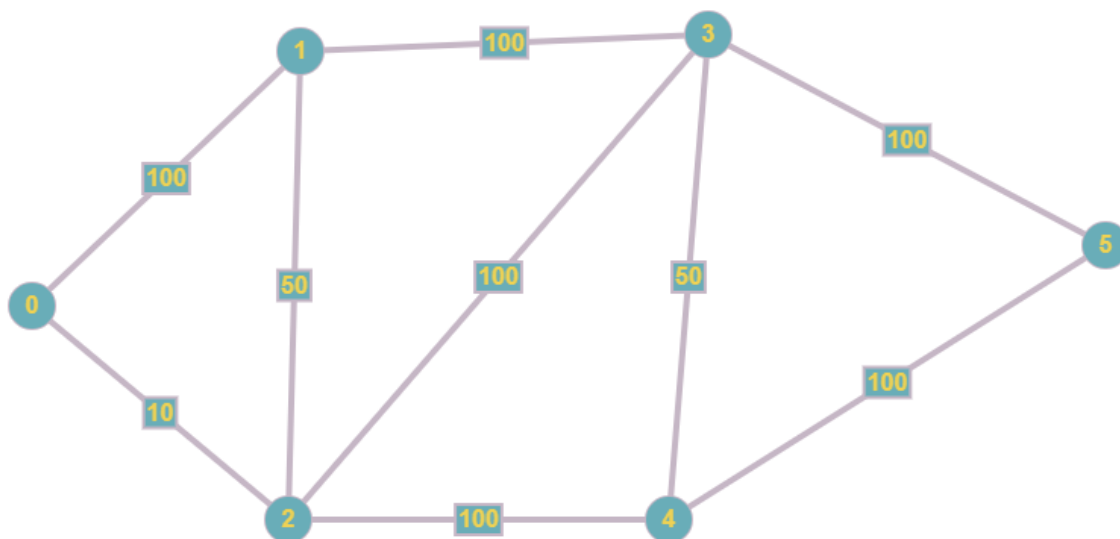


Рис. 4. Неорієнтований граф, який зображає транспортну мережу

У якості вершин узяті фізичні пристрої мережі, такі як: комутатори, маршрутизатори, або комп'ютери. А ребра графу є каналами зв'язку мережі, вага ребра позначає його пропускну здатність. Рівень абстракції може бути будь яким, починаючи з корпоративної мережі компанії, де у якості вузлів будуть комп'ютери, закінчуючи великими регіональними мережами де вузлом є регіональний або районний комутатор.

Для симуляції із застосуванням засобів програмування такий граф може бути зображений у вигляді матриці пропускних здатностей, де стовпці та строки є вузлами, а на перетині зображено пропускну здатність каналу зв'язку між цими вузлами. Модель дозволяє симулювати як дуплексну так і напівдуплексну передачу.

Таблиця 1 зображає матрицю пропускних здатностей для мережі із n вузлів [15].

Таблиця 1. Матриця пропускних здатностей

	1	2	3	4	5	...	n
1	*	100	1000	100	-		-
2	100	*	100	-	2400		-
3	1000	100	*	-	100		-
4	100	-	-	*	-		-
5	-	2400	100	-	*		-
...						*	-
n	-	-	-	-	-	-	*

Для симуляції роботи сітьового рівня, тобто знаходження найшвидших та найменш завантажених маршрутів використовується реалізація покращеного алгоритму Дейкстри.

Запропонована версія алгоритму конвертує матрицю пропускних здатностей у матрицю затримок на каналах мережі у зворотній пропорції за формулою:

$$d_c = \frac{1}{c_c - df_c}, \quad (1)$$

де d_c – затримка на каналі c ; c_c – пропускну здатність каналу c ; df_c – потік даних на каналі c .

Таким чином, прийнявши затримку на каналі зв'язку за вагу ребра графу, ми застосовуємо алгоритм Дейкстри для знаходження найкоротшого (з мінімальною затримкою) маршруту для передачі даних. Однак однією з найважливіших функцій цього рівня є не тільки побудова маршруту передачі даних, але й розділення інформації на декілька потоків даних, які будуть незалежно передані різними маршрутами.

Тобто деяка кількість інформації буде поділена між k маршрутами у пропорції відповідній до важливості маршруту, яка в свою чергу залежить від кількості знаходжень цього маршруту під час їх пошуку. Тоді можна обчислити коефіцієнт використання маршруту k

$$K_{u_k} = \frac{n_k}{i}, \quad (2)$$

де n_k – кількість знаходжень маршруту k під час пошуку маршрутів; i – кількість проведених ітерацій симуляції.

Виходячи з цього модель сітьового рівня розподіляє кількість інформації між знайденими маршрутами за наступною формулою:

$$df_{j,k} = K_{U_k} R_j, \quad (3)$$

де $df_{j,k}$ – кількість даних, яка має бути передана по маршруту k у межах j вимоги на передачу даних; R_j – вимога на передачу даних; K_{U_k} – коефіцієнт використання маршруту k .

Симуляція роботи транспортного рівня дозволяє передавати частину потоку даних у залежності від навантаження мережі в цілому. Тобто, якщо мережа перевантажена, деяка кількість даних буде відкладена на наступну ітерацію симуляції, доки мережа не перейде в стабільний стан. Саме інтерпретація функцій транспортного рівня і є новизною запропонованого методу.

Функціонування мережі, а саме розподілу даних у ній, може бути представлено за допомогою різницевого рівнянь:

$$df_{j,i+1} = df_{j,i+1}^* + df_{j,i+1}, \quad (4)$$

де $df_{j,i+1}^*$ – це потік даних, який не був переданий за потреби j , за i ітерацію симуляції; $df_{j,i+1}$ – це потік даних, який не був переданий за потреби j , за i ітерацію симуляції, та був перенесений на наступну ітерацію.

Обсяг даних, які мають бути перенесені на наступну ітерацію розраховується на основі затримки на каналі зв'язку із формули (1).

Тобто у разі перевантаження на каналі зв'язку вираховується коефіцієнт перевантаження, цей коефіцієнт дозволяє оцінити ступінь перевантаження каналу зв'язку.

$$K_{Oc} = 1 - K_l \frac{TP_c}{df_c}, \quad (5)$$

де K_{Oc} – перевантаження на каналі c ; TP_c – максимальна пропускна здатність каналу c ; K_l – коефіцієнт максимального навантаження, який задається перед початком симуляції, він визначає максимально допустиму завантаженість каналів мережі; df_c – це потік даних, який має бути переданий по каналу c .

Оскільки сесії передачі даних поділяють ресурси мережі між собою нерівномірно – наступним етапом є отримання коефіцієнту утилізації ресурсів каналу конкретно вимогою на передачу даних.

$$K_{U_j} = \frac{df_j}{df_c}, \quad (6)$$

де K_{U_j} – відносна величина використання каналу для вимоги j ; df_j – потік даних які передає сесія j ; df_c – увесь потік даних на каналі c .

Для визначення валідного обсягу даних, які можуть бути передані вимогою j на i ітерації, використовуються наступні обчислення:

$$df_j' = df_j - K_{Oc} df_{j,k}, \quad (7)$$

де df_j' – це скоректований потік даних для вимоги j , один з маршрутів якої перевантажував один з каналів зв'язку мережі; df_j – потік даних, який має бути переданий за потребою j ; $df_{j,k}$ – за формулою (3), це потік даних по маршруту k вимоги j , який перевантажує канал зв'язку c ; K_{Oc} – за формулою (5), це коефіцієнт перевантаження каналу зв'язку c .

Останнім етапом функціонування транспортного рівня є розрахунок кількості інформації, яка має бути відкладена на наступну ітерацію:

$$df_j^* = df_j - df_j', \quad (8)$$

де df_j^* – кількість даних, які не змогли передатися по маршруту k вимоги j через перевантаження каналу зв'язку c ; df_j' – скоректований потік даних по маршруту k вимоги j , який перевантажував один з каналів зв'язку c ; df_j – за формулою (3), це потік даних по маршруту k вимоги j , який перевантажує один з каналів зв'язку c .

Отже увесь процес моделювання можна описати наступним чином: експерт надає інформації щодо прогнозованого навантаження на проектувану мережу впродовж деякого часу, користувач системи моделює деяку топологію мережі за допомогою візуального інструменту та починає процес симуляції за допомогою вищезазначеного методу. Математична модель, яка може бути реалізована у вигляді автоматизованої інформаційної системи, поетапно проводить обчислення та надає користувачу інформацію про стан мережі на кожній ітерації, а саме, кількість переданих даних, затримки на каналах зв'язку, навантаження на мережу, тощо. Після закінчення роботи симуляції, користувач може прийняти рішення про затвердження поточного проекту мережі або про перепроєктування топології. Перепроєктування може бути викликане тим що поточний проект топології транспортної мережі зв'язку не здатен обробити надану кількість запитів, або навпаки не оптимально використовує ресурси мережі, що призводить до надлишковості, та збитковості такого проекту.

Висновки

У своїй праці ми запропонували метод імітаційного моделювання мережі передачі даних, який, на базі спостережень, та алгоритмів роботи нижніх рівнів моделі OSI, дозволяє дати відповіді на наступні питання: чи буде структура мережі стабільною та увесь спектр обладнання буде використовуватися з максимальним навантаженням,

та замовник не втратить прибуток. Метод дозволяє формально представити характеристики фізичного, каналного, мережевого та частково транспортного рівнів моделі OSI, де у якості вхідних даних використовується динаміка навантаження на мережу упродовж часу.

Із застосуванням запропонованого методу можна створити інформаційно-моделюючу систему, яка б дозволила провести симуляцію передачі даних у мережі на протязі певного відрізка часу. Із формалізованих вище функцій видно, що мережа описана лише декількома характеристиками та ігнорує такі фактори, як помилки на рівні додатків, або

формат самих даних, які мають бути передані тощо, це в свою чергою є водночас як проблемою даної моделі так і її перевагою, оскільки дозволяє більш гнучко масштабувати мережу та навіть використовувати цю модель для симуляції інших транспортних задач. Наступним етапом розробки цієї технології стане підтвердження адекватності моделі реальній поведінці мережі передачі даних.

Запропонований метод, а також його подальша реалізація у вигляді програмного комплексу дозволить суттєво зменшити вартість та спростити процес модернізації комп'ютерної мережі.

Список літератури

1. Неруш В. Б., Курдеча В. В. Імітаційне моделювання систем та процесів. К. : НН ІТС НТУУ "КПІ", 2012. 115 с.
2. Невлюдов І. Ш., Цимбал О., Бронніков А. Інтелектуальні засоби в системі керування виробничим агентом. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2018. № 1 (3), С. 33–47. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.033>.
3. Аверин Г. В. Системодинамика. Донецьк : Донбасс, 2014. 403 с.
4. The AnyLogic Company. Дискретно-событийное имитационное моделирование, URL : <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/discrete-event-simulation/>.
5. Ducard G., "Modeling and Analysis of Dynamic Systems", URL : https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/dynamic-systems-n-control/idsc-dam/Lectures/System-Modeling/Slides_HS17/SysMod2017_Lect1.pdf.
6. Коваленко А., Кучук Г., Рубан И. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей. *Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности*. 2018. № 2 (4), С. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>.
7. Kosenko V., Persiyanova E., Belotsky O., Maleyeva O. Methods of managing traffic distribution in information and communication networks of critical infrastructure systems. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2017. No. 2 (2), P. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.048>.
8. Wilensky U., William R. An Introduction to Agent-Based Modeling, MIT Press, 2015. 504 с.
9. Minigraph Talking Pages. Computer Network Models, URL : <https://www.minigraph.com/computer-networks-tutorial/computer-network-models/>.
10. Mobile technology trends: traffic by application category, URL : <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/mobile-traffic-by-application-category>.
11. Cisco VNI., "Traffic Analysis", URL : https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/voip_solutions/TA_ISD.html.
12. Cisco VNI., Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022, URL : <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>.
13. Kosenko V., Maleyeva O., Persiyanova E., Rogovyi A. Analysis of information-telecommunication network risk based on cognitive maps and cause-effect diagram. *Advanced Information Systems*. 2017. Vol. 1, No. 1. P. 49–56. DOI: 10.20998/2522-9052.2017.1.09.
14. Shaw K. The OSI model explained: How to understand (and remember) the 7 layer network model, URL : <https://www.networkworld.com/article/3239677/lan-wan/the-osi-model-explained-how-to-understand-and-remember-the-7-layer-network-model.html>.
15. Рева О. А., Давидовський Ю. К. Розробка методики модернізації топології мережі для отримання квазіоднорідної структури. *Радіоелектронні та комп'ютерні системи*. 2018. № 2. С. 43–51. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2018.2>.

References

1. Nerush, V. B., Kurdecha, V. V. (2012), *Simulation of systems and processes [Imitatsiyne modelyuvannya system ta protsesiv]*, National Technical University of Ukraine "KPI", 115 p. [in Ukrainian].
2. Nevliudov, I., Tsymbal, O., & Bronnikov, A. (2018), "Intelligent means in the system of managing manufacturing agent", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (3), P. 33–47. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.033>.
3. Averyn, G. V. (2014), *Systemdynamics [Sistemodinamika]*, Donetsk: Donbass, 403 p. [in Russian].
4. The AnyLogic Company. *Discrete Event Simulation Modeling [Diskretno-sobytiynoye imitatsionnoye modelirovaniye]*, available at: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/discrete-event-simulation/> (last accessed 03.12.2018).
5. Ducard, G. *Modeling and Analysis of Dynamic Systems*, available at: https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/dynamic-systems-n-control/idsc-dam/Lectures/System-Modeling/Slides_HS17/SysMod2017_Lect1.pdf (last accessed 03.12.2018).
6. Kovalenko, A., Kuchuk, H., & Ruban, I. (2018), "Using time scales while approximation the length of computer networks" ["Ispolzovanie vremennyh shkal pri approksimacii dliny ocheredey v kompjuternyh setjah"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (4), P. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>. [in Russian].
7. Kosenko, V., Persiyanova, E., Belotsky, O., Maleyeva, O. (2017), "Methods of managing traffic distribution in information and communication networks of critical infrastructure systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.048>.
8. Wilensky, U., William, R. (2015), *An Introduction to Agent-Based Modeling*, MIT Press, 504 p.

9. Minigraph Talking Pages, *Computer Network Models*, available at: <https://www.minigranth.com/computer-networks-tutorial/computer-network-models/> (last accessed 03.12.2018).
10. *Mobile technology trends: traffic by application category*, available at: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/mobile-traffic-by-application-category> (last accessed 03.12.2018).
11. Cisco, V. N. I. "Traffic Analysis", available at: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/voip_solutions/TA_ISD.html (last accessed at 03.12.2018).
12. Cisco, V. N. I. "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022", available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html> (last accessed at 03.12.2018).
13. Kosenko, V., Maleyeva, O., Persyanova, E., Rogovyi, A. (2017), "Analysis of information-telecommunication network risk based on cognitive maps and cause-effect diagram", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 1., P. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.1.09> [in English].
14. Shaw, K "The OSI model explained: How to understand (and remember) the 7 layer network model", available at: <https://www.networkworld.com/article/3239677/lan-wan/the-osi-model-explained-how-to-understand-and-remember-the-7-layer-network-model.html> (last accessed at 03.12.2018).
15. Reva, O. A., Davydovskiy, Y. K. (2018), "Method of the network topology transformation to quasihomogeneous structure" ["Rozrobka metody modernizatsiyi topolohiyi merezhi dlya otrymannya kvaziodnorodnoyi struktury"], *Radioelectronic and computer systems*, No. 2, P. 43–51. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2018.2> [in Ukrainian].

Надійшла (Received) 22.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Давидовський Юрій Костянтинович – Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", аспірант кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна; e-mail: davidovskiy2350@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2813-4169>.

Давыдовский Юрий Константинович – Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "Харківський авіаційний інститут", аспірант кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна.

Davydovskiy Yurii – National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Graduate Student at the Department of Informational Control Systems, Kharkov, Ukraine.

Рева Олександр Анатолійович – кандидат технічних наук, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", доцент кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна; e-mail: o.reva@khai.edu; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1933-1064>.

Рева Александр Анатольевич – кандидат технических наук, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", доцент кафедры информационных управляющих систем, Харьков, Украина.

Reva Oleksandr – PhD (Engineering Sciences), National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Associate Professor at the Department of Informational Control Systems, Kharkov, Ukraine.

Малєєва Ольга Володимирівна – доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", професор кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна; e-mail: o.maleyeva@khai.edu; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9336-4182>.

Малеева Ольга Владимировна – доктор технических наук, профессор, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "Харківський авіаційний інститут", профессор кафедры информационных управляющих систем, Харьков, Украина.

Maleyeva Olga – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Professor at the Department of Information Control System, Kharkiv, Ukraine.

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ЕЁ МОДЕРНИЗАЦИИ

Предметом исследования в статье является процесс передачи данных в транспортных сетях связи. **Цель работы** – разработка метода моделирования параметров сетей передачи данных, который дает возможность формализовано представить параметры функционирования сети для моделирования её поведения с учетом динамики трафика. В статье решаются следующие **задачи**: обоснование важности модернизации сетей передачи данных на примере роста их использования; определение необходимости создания именно автоматизированного средства для моделирования в отличие от привлечения технических специалистов; выбор уровней абстракции сети передачи данных для её моделирования; определение математического аппарата для вычисления параметров модели; разработка метода моделирования сети передачи данных. Используются такие **методы**: основы системного анализа, метод имитационного моделирования. Получены следующие **результаты**: Предоставлено прогнозированный график роста объемов трафика по категориям и обобщенная диаграмма. Сделан вывод, что рост трафика происходит в геометрической прогрессии. Была оценена модернизация сети с учетом разных видов затрат. Сделан вывод про потребность рынка в автоматизированном инструменте проектирования и модернизации сети. Рассмотрены различные способы моделирования динамических систем; определен способ создания модели транспортной сети связи. Рассмотрена семиуровневая модель OSI и приведена собственная интерпретация особенностей её уровней. Были выбраны четыре нижних уровня этой модели, в качестве уровней абстракции моделирования, выделены основные характеристики транспортной сети связи, которыми будет оперировать модель.

Функционирование нижних уровней транспортной сети связи формализовано в виде отдельных математических моделей и формул, на основе которых описан метод моделирования функций транспортной сети связи. Были определены способы применения этого метода для модернизации топологии транспортной сети связи. **Выводы:** Таким образом, создан новый метод моделирования транспортной сети связи, который усовершенствует и упрощает процесс создания или модернизации сети, что дает возможность значительно снизить затраты на проектирование топологии сети, а также повысить утилизацию её ресурсов.

Ключевые слова: сеть передачи данных; имитационное моделирование; системная динамика; модель OSI; физический уровень; канальный уровень; сетевой уровень; транспортный уровень; трафик.

METHOD OF MODELLING THE PARAMETERS OF DATA COMMUNICATION NETWORK FOR ITS UPGRADING

The **subject matter** of the article is data communication in a transport network. The **goal** is to develop the method of modelling the parameters of a data communication network, which enables formalizing network parameters to simulate its behaviour taking into consideration dynamically changing traffic. The following **tasks** were solved in the article: the significance of upgrading data communication nets was substantiated using their increasing growth as an example; the need to create an automated tool for modelling, in contrast to the involvement of technical specialists, was determined; the abstraction levels of the data communication net were selected for its modelling; a mathematical apparatus was determined for calculating model parameters; a method for modelling data communication net was developed. The following **methods** were used – the basics of system analysis, the simulation method. The following **results** were obtained: The predicted graph of the traffic growth by categories as well as the generalized chart was presented. The conclusion was made that traffic grows exponentially. The upgrade of the network was assessed taking into account various types of costs. The conclusion was made that the market demands an automated tool for net designing and upgrading. Various methods for modelling dynamic systems were considered; a method for creating a model of transport network was selected. The seven-level OSI model was considered and the authors' interpretation of the features of its levels was given. Four lower levels of this model were chosen as the abstraction levels of modelling, the main characteristics of the transport network for using by the model were singled out. The operation of the lower levels of the transport network was formalized in the form of separate mathematical models and formulas, which formed the basis for describing the method of modelling the transport network functions. The ways of applying this method to upgrade the topology of the transport network were specified. **Conclusions.** Thus, the new method of transport network modelling was developed; this method improves and simplifies the net development or upgrade, which, in turn, enables reducing the costs for designing the net topology and improving the recycling of network resources.

Keywords: data communication net; simulation modelling; system dynamics; OSI model; physical layer; channel layer; network layer; transport layer; traffic.

С. Ю. ДАНШИНА

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОМУНІКАЦІЙ ПРОЕКТІВ РОЗВИТКУ

Предметом дослідження в статті є фактори, що сприяють підвищенню результативності внутрішніх комунікацій шляхом обрання якісних технічних засобів. **Мета** – побудова моделі оцінювання якості технічних засобів для їх застосування в процесах комунікацій проекту розвитку. **Завдання:** розглянути комунікаційний процес для виявлення факторів, що сприяють його результативності; проаналізувати підходи до оцінювання якості технічних засобів з метою їх вибору для застосування у комунікаціях проекту розвитку; визначити найважливіші характеристики якості технічних засобів, що забезпечують процес комунікацій проекту; сформувати частинні та узагальнену функцію оцінювання якості технічних засобів як елементів забезпечення процесу внутрішніх комунікацій проекту розвитку. Використовуються загальнонаукові **методи** системного аналізу, теорії прийняття рішення, теорії корисності. Отримано такі **результати:** запропоновано підхід, спрямований на підвищення результативності комунікацій проекту розвитку за рахунок обрання якісних технічних засобів при плануванні комунікацій; сформовано аналітичну залежність оцінювання функціональної повноти технічних засобів комунікацій, що дозволяє прогнозувати очікувані функції залежно від вартості технічних засобів; запропоновано узагальнену модель оцінювання якості технічних засобів, яка дозволяє отримувати оцінки якості залежно від вартості та часу експлуатації. **Висновки.** Проаналізовано комунікаційний процес, що дозволило визначити фактори, які сприяють підвищенню результативності внутрішніх комунікацій проектів розвитку. Як такі фактори розглянуто комп'ютерні системи. Запропоновано підхід, який дозволяє підвищити результативність комунікацій за рахунок обрання якісних технічних засобів. Розроблено узагальнену модель оцінювання якості, що об'єднує вартісні та часові параметри технічних засобів комунікацій та дозволяє отримувати оцінки для обґрунтування рішень при плануванні комунікацій проекту розвитку та виборі технічних засобів. Отримані результати можна використовувати при розробленні плану управління комунікаціями проекту розвитку.

Ключові слова: проектний менеджмент; внутрішні комунікації; якість комп'ютерних систем; функціональність і надійність засобів комунікацій; функція корисності.

Постановка проблеми

Мінливість вимог ринкової економіки й посилення світової конкуренції вимагають прийняття оперативних рішень і впровадження нових підходів, спрямованих на розвиток компаній, який забезпечує їх функціонування. Все більша кількість процесів та ініціатив з цього розвитку організується і реалізується через проекти, до яких залучають велику кількість фахівців, відділів і партнерів [1].

Сучасний проект розвитку – це проект, спрямований на оптимізацію (вдосконалення) існуючих або на введення нових процесів у діяльність компаній для досягнення їх стратегічних цілей. Відмінними рисами таких проектів є [1, 2]:

- вони реалізуються всередині компанії, але організаційно розмежовані з іншими видами діяльності;

- характеризуються різноманітням внутрішніх зв'язків і складністю (організаційної, технічної, ресурсної та ін.) реалізації;

- результатом проекту розвитку не завжди є прибуток.

Традиційно в проектному менеджменті процеси управління поділяють на дев'ять галузей знань (управління змістом, термінами, вартістю, комунікаціями, ризиками тощо) [3]. При цьому більшість фахівців визначає, що комунікації набувають найважливішого значення в області управління проектами, а, з огляду на особливості проекту розвитку, стають центром усіх процесів управління. Адже за статистикою від 50% до 90% часу в проекті витрачається на спілкування, при цьому 73% американських, 63%

англійських і 75% японських керівників вважають погані комунікації головною перешкодою досягнення ефективності організації [4, 5]. Отже, комунікація є життєво важливим елементом добре керованого проекту, при цьому теоретики та практики проектного менеджменту визначають, що успіх проекту безпосереднє залежить від успішності комунікаційних процесів та їх відповідності вимогам до зв'язку [4, 6].

Чимало вчених займаються створенням найефективніших методів управління комунікаціями проекту, при цьому велику кількість робіт присвячено дослідженню елементів комунікаційного процесу [4, 6, 7]. Тому проведемо аналіз наукових статей з питань управління комунікаціями проекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Project management institute визначає управління комунікаціями проекту як галузь знань, що включає процеси, які забезпечують своєчасне створення, збирання, розповсюдження, зберігання, отримання та використання інформації [3]. Особливої уваги набувають комунікаційні процеси під час управління міжфірмовими проектами розвитку в широкому спектрі академічних галузей (інформаційні та мережеві проекти, організація досліджень тощо) [7, 8]. Це підтверджує аналіз публікацій International Journal of Project Management (<https://www.sciencedirect.com>), якій свідчить про постійний інтерес науковців до цієї проблеми (табл. 1): щорічно виходить від 3 до 8 статей, де розглядаються проблемні питання комунікацій проектів (рис. 1).

Таблиця 1. Перелік статей, присвячених проблемі управління комунікаціями проектів

Рік	Цифровий ідентифікатор статті відповідно до ISO 26364-2015	Рік	Цифровий ідентифікатор статті відповідно до ISO 26364-2015
2009	DOI: 10.1016/j.ijproman.2008.07.005; DOI: 10.1016/j.ijproman.2008.01.009; DOI: 10.1016/j.ijproman.2008.02.007.	2014	DOI: 10.1016/j.ijproman.2013.08.006; DOI: 10.1016/j.ijproman.2013.08.008; DOI: 10.1016/j.ijproman.2013.02.004; DOI: 10.1016/j.ijproman.2013.07.004; DOI: 10.1016/j.ijproman.2013.03.002; DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.12.003.
2010	DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.01.011; DOI: 10.1016/j.ijproman.2009.11.010; DOI: 10.1016/j.ijproman.2009.10.004; DOI: 10.1016/j.ijproman.2009.08.001; DOI: 10.1016/j.ijproman.2009.08.002.	2015	DOI: 10.1016/j.ijproman.2015.03.006; DOI: 10.1016/j.ijproman.2014.12.001; DOI: 10.1016/j.ijproman.2015.03.009; DOI: 10.1016/j.ijproman.2015.06.011;
2011	DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.03.001; DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.05.002; DOI: 10.1016/j.ijproman.2011.04.005; DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.03.004.	2016	DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.08.010; DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.05.011; DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.05.007; DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.09.012; DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.01.004; DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.09.001.
2012	DOI: 10.1016/j.ijproman.2011.06.004; DOI: 10.1016/j.ijproman.2011.08.003; DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.01.013; DOI: 10.1016/j.ijproman.2011.10.004; DOI: 10.1016/j.ijproman.2011.06.002; DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.04.001; DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.01.003; DOI: 10.1016/j.ijproman.2011.04.002.	2017	DOI: 10.1016/j.ijproman.2017.04.010; DOI: 10.1016/j.ijproman.2017.08.006; DOI: 10.1016/j.ijproman.2017.01.006; DOI: 10.1016/j.ijproman.2017.04.016; DOI: 10.1016/j.ijproman.2017.05.001.
2013	DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.12.012; DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.04.005; DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.12.001; DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.08.007; DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.12.010.	2018	DOI: 10.1016/j.ijproman.2018.02.005; DOI: 10.1016/j.ijproman.2018.03.010; DOI: 10.1016/j.ijproman.2018.06.001; DOI: 10.1016/j.ijproman.2018.02.002; DOI: 10.1016/j.ijproman.2017.11.004.

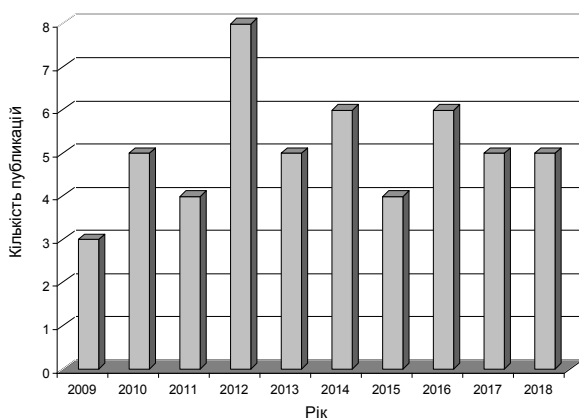


Рис. 1. Розподіл публікацій, присвячених проблемі управління комунікаціями в проектах, по роках

При цьому більшість дослідників (39%) пов'язує успіх проекту з ефективною системою комунікацій; деякі науковці (8%) стверджують, що планування будь-яких змін у компанії повинно починатися з планування комунікацій (рис. 2).

У загальному випадку комунікації поділяють [9, 10] на зовнішні, що використовують для донесення необхідної інформації до зовнішньої цільової групи, та на внутрішні, за допомогою яких здійснюється взаємодія команди проекту (надалі будемо розглядати тільки цей вид комунікацій).

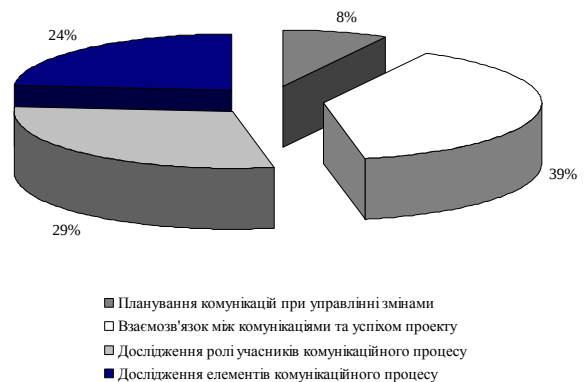


Рис. 2. Розподіл публікацій останнього десятиріччя за проблемними питаннями управління комунікаціями проектів

Отже планування внутрішніх комунікацій полягає в визначенні потреби учасників проекту розвитку в комунікаціях та інформації, а план управління комунікаціями повинен містити [3, 4, 6]:

- вимоги до зв'язку, що забезпечує розповсюдження необхідної інформації відповідно до вимог учасників проекту;
- інформацію про необхідні повідомлення з зазначенням їх формату, періоду оновлення тощо;

- засоби комунікацій (дошки об'яв, факсимільний зв'язок, телеконференції, e-mail, звіти, загальні збори, семінари та ін.);

- розклад, який визначає ключові моменти проходження певних видів зв'язку;

- методи отримання інформації тощо.

Таким чином визначають кращі методи обміну інформацією в середовищі проекту.

Розглядаючи структуру повідомлень у проекті (рис. 3), відзначимо, що тільки 7% займає вербальна складова, але значна доля публікацій (рис. 2) – 29% – акцентує увагу саме на цьому, аналізуючи психологічні, соціальні, міжособисті та міжнаціональні аспекти процесу обміну інформацією. Але більша частина повідомлення є невербальною, саме вона впливає на сприйнятливість повідомлень у ході виконання проекту.

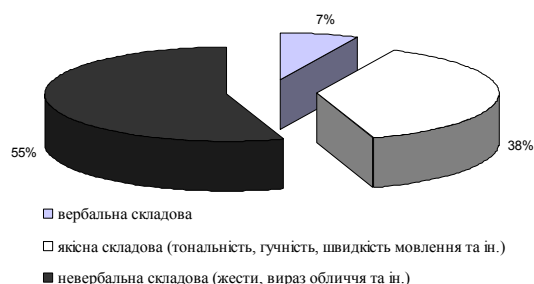


Рис. 3. Структура повідомлення в проектах (за матеріалами [4, 10])

На жаль лише 24% наукових досліджень, що було проаналізовано, (рис. 2) розглядають проблеми, які спричинено посиленням залежності роботи команди проекту від технологій зв'язку (наприклад, у роботах [8, 11]), які аналізують ризики від недостатньої та несвоєчасної передачі інформації по проекту (роботи [8, 11, 12]), які акцентують увагу на технічних

засобах комунікаційного процесу (наприклад, роботи [12–14]). Тому пропонуємо розглянути питання забезпечення комунікаційного процесу технічними засобами, що сприяють своєчасному створенню, збору, розповсюдженню, зберіганню, отриманню, використанню інформації по проекту розвитку.

Формулювання мети роботи

Мета – побудова моделі оцінювання якості технічних засобів для їх застосування в процесі комунікацій проекту розвитку.

Завдання дослідження:

- розглянути комунікаційний процес для виявлення факторів, що впливають на його ефективність;

- проаналізувати підходи до оцінювання якості технічних засобів з метою їх вибору для застосування у комунікаціях проекту розвитку;

- визначити найважливіші показники якості технічних засобів, що забезпечують процес комунікацій проекту;

- сформулювати частинні та узагальнену функцію оцінювання якості технічних засобів як елементів забезпечення процесу внутрішніх комунікацій проекту розвитку.

Виклад основного матеріалу

Все частіше управління розвитком сучасних компаній здійснюється за допомогою методів управління проектами [2, 15], але водночас передача даних та інформації, що має найважливіше значення для доброї практики управління, є одним зі знехтуваних аспектів [16].

Комунікаційний процес – це процес обміну інформацією між учасниками проекту (рис. 4).

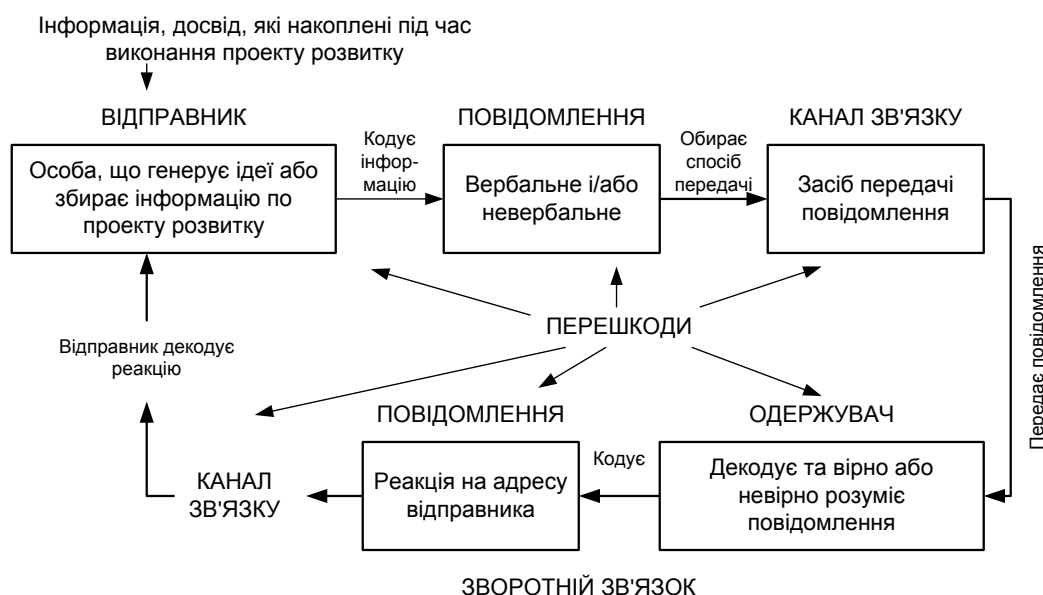


Рис. 4. Базова модель процесу комунікацій [5]

Його основними елементами являються [3, 5, 16]: відправник, одержувач (один або декілька), повідомлення в деякому форматі, засоби зв'язку, що формують середовище передачі інформації, та зворотній зв'язок, якій вказує на сприйняття повідомлення.

Як приклади засобів зв'язку в сучасних проектах можна розглядати корпоративні та мобільні телефони, систему обміну інформацією Lync або Skype, електронну пошту, системи відеоконференцій, мобільні додатки типу WhatsApp або Viber та ін. Саме тому технічними засобами, які використовують у комунікаційному процесі, найчастіше є телефони та мобільний зв'язок, комп'ютерні системи та мережні технології [5, 10]. При цьому ефективним вважають такий процес обміну інформацією, який приводить до очікуваних змін у бажаному напрямку в знаннях одержувача та в його поведінці, коли інформаційні перешкоди мінімально перекидають інформацію, вона є максимально вірно прийнятою, переробленою і використовується в цілях проекту розвитку [9, 17].

Традиційно ефективність комунікацій можна оцінити [10, 17]:

- за показником ефективності (efficiency) як відношення результату комунікацій до витрат;

- за показником результативності (effectiveness) як відповідність результату комунікацій обраної цілі.

Нажаль, буває важко кількісно оцінити результати і витрати комунікацій [10], тому, особливо в управлінні проектами, корисним є другий підхід. При цьому, якщо ціль не досягнуто або досягнуто частково, то слід впливати на фактори, що підвищують ефективність внутрішніх комунікацій. Як такі фактори все частіше розглядають комп'ютерні системи та мобільний зв'язок [6, 7, 16]. Це потребує адекватного оцінювання їхньої якості при плануванні комунікацій та виборі технічних засобів в проектах розвитку.

Відповідно до ISO/IEC 25010:2011 під якістю розуміють степінь задоволення системою потреб різних зацікавлених сторін та потреб, що мають на увазі, яка дозволяє оцінити переваги системи [18, с. 2].

Згідно міжнародного стандарту модель якості комп'ютерної системи об'єднує вісім характеристик, а саме: функціональну придатність (functional suitability), рівень продуктивності (performance efficiency), сумісність (compatibility), зручність користування (usability), надійність (reliability), захищеність (security), супровідність (maintainability), мобільність (portability). В свою чергу, кожна з цих характеристик складається з декількох відповідних підхарактеристик [18]. Таким чином, оцінку якості комп'ютерних систем як технічних засобів комунікацій можна подати у теоретико-множинному вигляді

$$U(x) = u_1(x_1^1, x_2^1, x_3^1), u_2(x_1^2, x_2^2, x_3^2), \dots, u_7(x_1^7, \dots, x_5^7), u_8(x_1^8, x_2^8, x_3^8), \quad (1)$$

де $u_1(x_1^1, x_2^1, x_3^1)$ – перша характеристика якості – функціональна придатність, яка складається з трьох підхарактеристик x_1^1 – функціональної повноти; x_2^1 – функціональної коректності, x_3^1 – функціональної доцільності;

$u_2(x_1^2, x_2^2, x_3^2)$ – друга характеристика якості – рівень продуктивності, значення якого визначається x_1^2 – часовими характеристиками; x_2^2 – ресурсами, що використовуються, x_3^2 – потенційними можливостями;

$u_3(x_1^3, x_2^3)$ – третя характеристика якості – сумісність, що визначають дві підхарактеристики x_1^3 – співіснування (co-existence) й x_2^3 – функціональна сумісність (interoperability);

$u_4(x_1^4, x_2^4, x_3^4, x_4^4, x_5^4, x_6^4)$ – четверта характеристика якості – зручність користування, яку визначають x_1^4 – достовірність придатності, x_2^4 – навчальна здатність, x_3^4 – керованість, x_4^4 – захищеність від помилок користувачів, x_5^4 – естетичність інтерфейсу; x_6^4 – доступність;

$u_5(x_1^5, x_2^5, x_3^5, x_4^5)$ – п'ята характеристика якості – надійність, яка складається з x_1^5 – завершеності; x_2^5 – імовірності безвідмовної роботи, x_3^5 – відмовостійкості; x_4^5 – відновлюваності;

$u_6(x_1^6, x_2^6, x_3^6, x_4^6, x_5^6)$ – шоста характеристика якості – захищеність, яку визначають такі підхарактеристики, як x_1^6 – конфіденційність, x_2^6 – цілісність, x_3^6 – непідробленість; x_4^6 – степінь відстеження або підзвітність (accountability); x_5^6 – автентичність;

$u_7(x_1^7, x_2^7, x_3^7, x_4^7, x_5^7)$ – сьома характеристика якості – супровідність, яка складається з x_1^7 – модульності, x_2^7 – можливості багаторазового використання, x_3^7 – простоти оцінювання; x_4^7 – простоти зміни; x_5^7 – тестованості;

$u_8(x_1^8, x_2^8, x_3^8)$ – восьма характеристика якості – мобільність, що складається з таких підхарактеристик, як x_1^8 – адаптованість; x_2^8 – простота встановлення, x_3^8 – взаємозамінність.

Традиційною, найбільш поширеною метрикою якості комп'ютерних систем є характеристика $u_2(x_1^2, x_2^2, x_3^2)$, а саме її часові та ресурсні підхарактеристики, що визначають пропускну здатність і затримку. За ними знаходять рівень продуктивності як базовий індекс, що відображує [19]:

- мінімальну продуктивність системи з урахуванням можливостей оперативної пам'яті, центрального процесора, жорсткого диска;

- продуктивність графічної підсистеми з урахуванням потреб робочого стола й тривимірної графіки.

Якщо отримане значення індексу є недостатнім для деякої програми, то окремі оцінки компонентів комп'ютерної системи, що визначають u_2 , можуть допомогти зрозуміти, які з них слід оновити [19].

Однак сучасні комп'ютерні системи все активніше взаємодіють з людьми, навколишнім середовищем, один з одним. Якість подібних систем стає функцією не тільки конкретних додатків, але враховує споживчі властивості й зростаючі запити користувачів [18, 19]. Саме тому, залежно від користувачів комп'ютерної системи перелік характеристик у множинному поданні (1) може змінюватися, визначаючи якість продукту в конкретних умовах використання. Так, наприклад, найвпливовішими характеристиками якості для основних користувачів є функціональна

придатність u_1 , рівень продуктивності (u_2), надійність (u_5) [18], тобто при однаковому рівні продуктивності якості системи визначимо [20]

$$U(x) = u_1(x_1^1, x_2^1, x_3^1), u_5(x_1^5, x_2^5, x_3^5, x_4^5), \quad (2)$$

для знаходження вигляду якої слід знати часткові функції якості u_1 й u_5 .

Вигляд функції, що оцінює функціональну придатність, знайдемо, акцентуючи увагу на функціональній повноті, тобто степені покриття сукупністю функцій всіх завдань та цілей користувача [18].

Розглянемо такий елемент комунікацій як смартфон – пристрій, що об'єднує властивості телефону та комп'ютерної системи [21]. Порівняльний аналіз функцій сучасних смартфонів наведено у табл. 2 (за даними сайту <https://www.kp.ru/putevoditel/tekhnologii/luchshie-smartfony/>).

Таблиця 2. Аналіз характеристик сучасних смартфонів

Характеристики базового варіанту смартфона	Назва смартфона	Перевищення (відносно базового варіанту), разів	
		функцій	вартості
Xiaomi Redmi 5 Plus: - операційна система: Android 7.1; - розмір екрану: 5,99 дюймів; - роздільна здатність: 2160 x 1080; - процесор: Qualcomm Snapdragon 625 MSM8953; - об'єм ОЗП: 3 ГБ; - акумулятор: 4000 мАч; - характеристики відеокамери: 12МП / 5МП; - вартість: 10990 грошових одиниць	Nokia 6	1,28	1,43
	HTC U11 EYEs	1,57	2,27
	Honor View 10	1,86	2,6
	Sony Xperia XZ2 Compact	2,14	3,6
	Huawei P20	2,14	4,0
	Samsung Galaxy S9	2,43	4,3
	Sony Xperia XZ2	2,43	4,5
	Samsung Galaxy S9 Plus	2,57	4,8
	Huawei P20 Pro	2,57	4,9

Примітка. Як додаткові функції розглядаються: нова версія операційної системи, параметри екрану, властивості акумулятору, параметри пам'яті та процесору, додаткові можливості тощо [21].

Оброблення даних табл. 2 здійснювалось в середовищі Scilab, лістинг файлу-сценарію обробки даних наведено на рис. 5.

```
x=[0 1.43 2.27 2.6 3.6 4.0 4.3 4.5 4.8 4.9]; // матриця вихідних даних "Перевищення вартості"
y=[0 1.28 1.57 1.86 2.14 2.14 2.43 2.43 2.57 2.57]; // матриця вихідних даних "Перевищення функцій"
for i=1:length(x);
    rx(i)=(x(i)-mean(x))*(y(i)-mean(y));
    ry1(i)=(x(i)-mean(x)).^2;
    ry2(i)=(y(i)-mean(y)).^2;
end
r=sum(rx,1)/sqrt(sum(ry1,1)*sum(ry2,1)) // розрахунок коефіцієнту кореляції
d=[0 5]
f=[0 3]
figure(1)
plot2d(x,y,-8); plot2d(d,f) // побудова діаграми розкиду
function [zr]=G1(c,z)
    zr=z(2)-c(1)-c(2)*z(1)-c(3)*z(1)^2 // інтерполяційний поліном
endfunction
z=[x;y]; // матриця, рядки якої складають вектора вихідних змінних
c=[0;0;0]; // вектор-стовпець, який задає початкові значення параметрів моделі
[a,err]=datafit(G1,z,c)
dd2=a(3)*x.^2+a(2)*x+a(1) // вигляд функції якості
figure(2)
plot2d(x,y,-4); plot2d(x,dd2) // побудова інтерполяційної кривої
```

Рис. 5. Лістинг файлу-сценарію обробки емпіричних даних табл. 2

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок про наявність взаємозв'язку між кількістю функцій пристрою та його вартістю. Це підтверджує діаграма розкиду, наведена на рис. 6; при цьому значення коефіцієнта кореляції $r = 0.9716$ свідчить про сильний взаємозв'язок між цими параметрами.

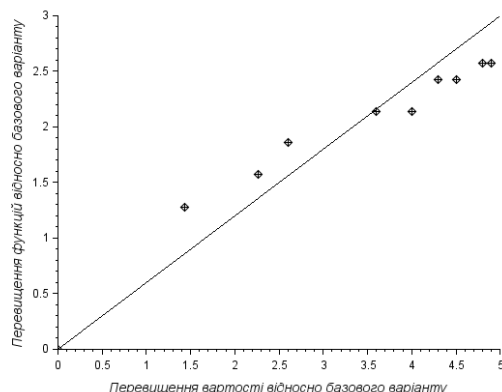


Рис. 6. Діаграма розкиду, отримана за підсумками аналізу характеристик смартфонів

Для отримання аналітичної залежності апроксимуємо одержані дані поліномом другого степеня типу $y = ax^2 + bx + c$, параметри якого знайдемо з використанням вбудованої функції `datafit()` у Scilab; помилка апроксимації при цьому складає 2,3%. Таким чином, функцію якості за параметром функціональної придатності представимо в вигляді (рис. 7, а):

$$U(s) = -0,0708s^2 + 0,8476s + 0,0646 \text{ для } s = 0, \dots, 5, \quad (3)$$

де s – перевищення вартості комунікаційного пристрою відносно базового варіанту, разів.

Визначимо, що функція (3) не суперечить відомому закону Гроша (Herbert Grosch), який припускає, що функціональність комп'ютера збільшується як квадрат вартості [19].

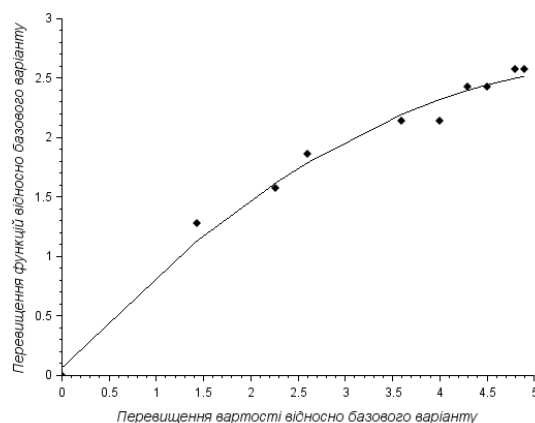
Другу характеристику якості у виразі (2) – надійність кількісно визначає ймовірність безвідмовної роботи, яку знайдемо за формулою [22]

$$U(t) = P(t) = e^{-(t/T_0)}, \text{ при } t = 0, \dots, 17532, \quad (4)$$

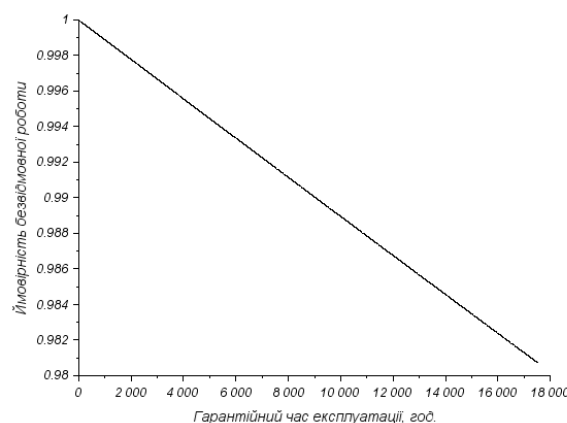
де t – гарантійний термін експлуатації ($t=17532$ год. відповідає двом рокам гарантії); T_0 – середній час між відмовами, значення якого для гарантійного терміну експлуатації прийнято як 900000 год [23].

Залежність ймовірності безвідмовної роботи комп'ютерної системи від часу експлуатації наведено на рис. 7, б.

Отже, функції (3) і (4) визначають часткові функції якості u_1 й u_5 та дозволяють оцінити технічні засоби комунікацій за однією характеристикою.



а)



б)

Рис. 7. Вигляд функцій якості: а – для функціональної придатності; б – для ймовірності безвідмовної роботи

Для оцінювання якості за декількома характеристиками сформуємо узагальнену функцію, використовуючи підходи теорії корисності [24]. Подамо функцію (2) у полілінійній формі:

$$U(s, t) = k_2 U_2(s, t_0) + k_t U_t(s_0, t) + k_{st} U_s(s, t_0) U_t(s_0, t)$$

$$\text{при } \forall s \in S, \forall t \in T, \quad (5)$$

де $U_s(s, t_0)$ – функція (3), що описує функціональну придатність при $t = t_0$; $U_t(s_0, t)$ – функція (4), що описує ймовірність безвідмовної роботи при $s = s_0$; k_s , k_t , $k_{st} = 1 - k_s - k_t$ – масштабувальні константи [24].

У виразі (5) функції $U(s, t)$, $U_s(s, t_0)$, $U_t(s_0, t)$ повинні мати однаковий початок відліку та погоджені шкали за рахунок обрання значень масштабувальних констант $k_s > 0$, $k_t > 0$ та k_{st} . Тобто, для забезпечення внутрішньої узгодженості функції $U(s, t)$ функції $U_s(s, t_0)$ і $U_t(s_0, t)$ мають бути шкальованими так, щоб вони змінювалися в діапазоні від 0 до 1; їх початковими значеннями мають бути точки $U_s(s_0, t_0) = 0$ і $U_t(s_0, t_0) = 0$.

Зазначимо таке [24]:

- $U(s, t)$ – функція, яка нормалізована умовами $U(s_0, t_0) = U(0, 0) = 0$ і $U(s_1, t_1) = 1$ для довільних значень s_1 і t_1 ;

- $U_s(s, t_0)$ – функція (3) – додатна зростаюча (рис. 7, а), яка нормалізована рівностями:

$$U_s(s_0, t_0) = U_s(0, 0) = 0 \text{ і } U_s(s_1, t_0) = U_s(5, 0) = 1, \quad (6)$$

причому

$$k_s U_s(s, t_0) = U(s, 0); \quad (7)$$

- $U_t(s_0, t)$ – функція (4) – додатна спадна (рис. 7, б), яка нормалізована рівностями:

$$U_t(s_0, t_0) = U_t(0, 0) = 0 \text{ і } U_t(s_0, t_1) = U_t(0, 17532) = 1, \quad (8)$$

причому

$$-k_t U_t(s_0, t) = U(0, t). \quad (9)$$

Отже, для узгодження шкал вимірювання функцій $U_s(s, t_0)$ і $U_t(s_0, t)$ припустимо:

- рішення (0, 17532) є еквівалентним (з точки зору корисності) рішенню (3, 0), тобто (0, 17532) $\sim$ (3, 0);

- рішення [(5, 17532); (0, 0)] є еквівалентним післядії (1.5, 8766), тобто [(5, 17532); (0, 0)] $\sim$ (1.5, 8766).

За умови нормалізації багатовимірної функції одержимо

$$U(0, 0) = 0 \text{ і } U(5, 17532) = 1. \quad (10)$$

Оскільки відомо, що (0, 17532) $\sim$ (3, 0), використовуючи вирази (7) і (9), запишемо $k_s U_s(3, 0) = -k_t U_t(0, 17532)$.

З урахуванням виразу (3) і умови нормування (8) отримаємо $k_s(-0,0708s^2 + 0,847s + 0,0646) = -k_t$.

Після підстановки $s = 3$ в останній вираз маємо $k_t = -1.97k_s$.

Таким чином, підставляючи функції (3) та (4) у вираз (5), з урахуванням отриманої рівності запишемо

$$\begin{aligned} U(s, t) &= k_s U_s(s, t_0) + k_t U_t(s_0, t) + k_{st} U_s(s, t_0) U_t(s_0, t) = \\ &= k_s(-0,0708s^2 + 0,847s + 0,0646) - 1.97k_s e^{\frac{t}{900000}} + \\ &(1 + k_s - 1.97k_s)(-0,0708s^2 + 0,847s + 0,0646)e^{\frac{t}{900000}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для знаходження узагальненої функції якості використаємо вихідну еквівалентність [(5, 17532); (0, 0)] $\sim$ (1.5, 8766). Тоді з урахуванням умови (10) справедливим є таке:

$$U(1.5, 8766) = \frac{U(1.5, 8766) + U(0, 0)}{2} = 0.5. \quad (12)$$

Із виразу (11) визначимо функцію якості в точці (1.5, 8766) і, прирівнявши її до значення виразу (12),

знайдемо $k_s = 0,35$. Підставляючи значення k_s в формулу (11), отримаємо шукану узагальнену функцію якості (рис. 8):

$$\begin{aligned} U(s, t) &= 0.35(-0,0708s^2 + 0,847s + \\ &+ 0,0646) - 0.6895e^{\frac{t}{900000}} + 0.6605(-0,0708s^2 + \\ &+ 0,847s + 0,0646)e^{\frac{t}{900000}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Узагальнена функція (13) дозволяє отримувати оцінки якості технічних засобів комунікацій з урахуванням вартісних (за параметром перевищення вартості відносно базового варіанту, раз) та часових характеристик. Грунтуючись на цих оцінках відповідно до бюджету та розкладу проекту можна обирати технічні засоби, а, отже, з'являється можливість підвищення результативності внутрішніх комунікацій проекту розвитку.

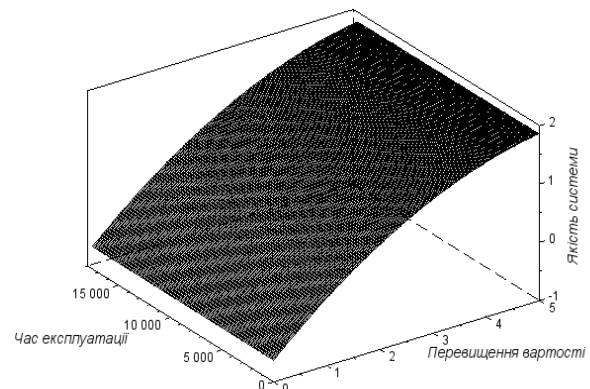


Рис. 8. Вигляд узагальненої функції якості технічних засобів комунікацій

Висновки

Проаналізовано комунікаційний процес, що дозволило виявити фактори, спрямовані на підвищення результативності внутрішніх комунікацій проекту розвитку. Як такі фактори розглянуто комп'ютерні системи.

Запропоновано підхід, що дозволяє підвищити результативність комунікацій проекту за рахунок обрання на етапі планування технічних засобів, що мають покращені якісні параметри у заданих межах зміни вартості та часу експлуатації.

На підставі аналізу емпіричних даних сформовано аналітичну функцію оцінювання якості технічних засобів комунікацій за параметром функціональної повноти, що дозволяє прогнозувати очікувані функції технічних засобів залежно від їх вартості.

Запропоновано узагальнену модель оцінювання якості технічних засобів комунікацій проекту розвитку, яка дозволяє отримувати оцінки залежно від їх вартості та часу експлуатації.

Отримані результати можуть бути використані при плануванні комунікацій проекту розвитку.

Список літератури

1. Söderlund J. Knowledge entrainment and project management: The case of large-scale transformation projects. *International Journal of Project Management*. 2010. Vol. 28. Issue 2. P. 130–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.11.010>.
2. Danshyna S. Yu. Development management: a project approach. Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами і програмами "ММП-2017" : матеріали Міжнар. наук. – практ. конф. Харків : ХНУРЕ, 2017. С. 45–48.
3. Национальный стандарт "Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBoK)". Project Management Institute, Inc. 2004. 388 с.
4. Rajkumar S. Art of communication in project management. URL : <https://www.pmi.org/learning/library/effective-communication-better-project-management-6480> (last accessed : 23.04.2018).
5. Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента / пер. с англ. О.Медведь. М. : Вильямс, 2017. 672 с.
6. Kliem R. L. Effective communications for project management. Boca Ration, FL: Auerbach Publications, 2007. 217 p.
7. Binder J. Global project management: Communication, collaboration and management across border. Aldershot, UK : Gower, 2007. 284 p.
8. Von Danwitz S. Managing inter-firm project: A systematic review and directions for future research. *International Journal of Project Management*. 2018. Vol. 36. Issue 3. P. 525–541. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.11.004>.
9. Сагер Л. Ю. Аналіз теоретичних основ внутрішніх комунікацій як необхідної умови ефективного управління підприємством. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2011. № 1. С. 128–136.
10. Основы теории коммуникации: учебник / под ред. М.А. Василика. М. : Гардарики, 2003. 615 с.
11. Reed A. H., Knight L. V. Effect of a virtual project team environment on communication-related project risk. *International Journal of Project Management*. 2010. Vol. 28. Issue 5. P. 422–427. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.08.002>.
12. Verbarg M. R., Sijtsma P. B., Vartiainen M. Getting it done: Critical success factors for project managers in virtual work settings. *International Journal of Project Management*. 2013. Vol. 31. Issue 1. P. 68–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.04.005>.
13. Braglia M., Frosolini M. An integrated approach to implement Project Management Information Systems within the Extended Enterprise. *International Journal of Project Management*. 2014. Vol. 32. Issue 1. P. 18–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.12.003>.
14. Hameri A. P. Project management in a long-term and global one-of-a-kind project. *International Journal of Project Management*. 1997. Vol. 15. Issue 3. P. 151–157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.03.005>.
15. Фунтов В. Н. Управление проектами развития фирмы: теория и практика : монография. СПб. : Питер, 2009. 496 с.
16. Blankevoort P. J. Effects of communication and organization *International Journal of Project Management*. 1984. Vol. 2. Issue 3. P. 138–147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.03.005>.
17. Марусева И. В. Коммуникационный менеджмент в вопросах и ответах : учеб. пособие для вузов. М. : Берлин : Директ-медиа, 2014. 214 с.
18. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Системная и программная инженерия. Требования к оценке качества систем и программного обеспечения. Модели качества систем и программных продуктов [Введен 2016-06-01]. Москва, 2015. 30 с. (Стандартинформ).
19. Пинер Ш., Сколот Д. Новая эра в оценке производительности компьютерных систем. Открытые системы СУБД. 2007. № 9. URL : <https://www.osp.ru/os/2007/09/4569364> (дата обращения : 28.07.2017).
20. Danshyna S. Yu. Choice of software and hardware in communications management of development project. Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами і програмами "ММП-2018" : матеріали Міжнар. наук. – практ. конф. Харків : ХНУРЕ, 2018. С. 43–46.
21. URL : <https://f.ua/articles/kak-vybrat-smartfon.html> (дата обращения : 03.09.2018).
22. Соколов Ю. Н. и др. Применение компьютерных технологий для оценивания надежности и безопасности программно-технических комплексов / под ред. Ю. Н. Соколова, В. С. Харченко. Харьков, 2013. 458 с.
23. Шумейко С. MTBF (наработка на отказ) и гарантия в мире компьютеров. Что важно? URL : <https://www.hwp.ru/articles/> (дата обращения: 28.09.2019).
24. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / пер. с англ. В. В. Подиновского, М. Г. Гафта, В. С. Бибинцева. М. : Радио и связь, 1981. 560 с.

References

1. Söderlund, J. (2010), "Knowledge entrainment and project management: The case of large-scale transformation projects", *International Journal of Project Management*, Vol. 28, Issue 2, P. 130–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.11.010>.
2. Danshyna, S. Yu. (2017), "Development management: a project approach", *Mathematical modeling of processes in economics and project and program management [Matematy`chcheskoe modely`rovany`e processov v ekonomy`ke y` upravleny`y` proektamy` y` programmamy`]*, Kharkiv : NURE, P. 45–48.
3. National standard (2004), "Guide of project management body of knowledge" ["Rukovodstvo k svodu znaniy po upravleniju proektami (Rukovodstvo PMBOK)"], Project Management Institute, Inc.
4. Rajkumar, S. "Art of communication in project management", available at : <https://www.pmi.org/learning/library/effective-communication-better-project-management-6480> (last accessed : 23.04.2018).
5. Meskon, M., Al`bert, M., Khedouri, F. (2017), *Fundamentals of Management*. Trans. from Eng. O.Medved' [Osnovy menedzhmenta. Per s angl. O.Medved'], Vil'yams, Moscow, 672 p.
6. Kliem, R. L. (2007), *Effective communications for project management*, Boca Ration, Auerbach Publications, 217 p.
7. Binder, J. (2007), *Global project management: Communication, collaboration and management across border*, Aldershot, Gower, 284 p.

8. Von Danwitz, S. (2018), "Managing inter-firm project: A systematic review and directions for future research", *International Journal of Project Management*, Vol. 36, Issue 3, P. 525–541. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.11.004>.
9. Sager, L. Yu. (2011), "Analysis of the theoretical foundations of internal communications as the necessary mindset of effective management" ["Analiz teoretychnykh osnov vnutrishnix komunikacij yak neobidnoyi umovy efektyvnoho upravlinnya pidpryemstvom"], *Marketyng i menedzhment innovacij*, No. 1, P. 128–136.
10. Vasilik, M. A. (2003), *Fundamentals of communication theory* [Osnovy teorii kommunikatsii : uchebnik], Gardariki, Moscow, 615 p.
11. Reed, A. H., Knight, L. V. (2010), "Effect of a virtual project team environment on communication-related project risk", *International Journal of Project Management*, Vol. 28, Issue 5, P. 422–427. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.08.002>.
12. Verbarg, M. R., Sijtsma, P. B., Vartiainen, M. (2013), "Getting it done: Critical success factors for project managers in virtual work settings", *International Journal of Project Management*, Vol. 31, Issue 1, P. 68–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.04.005>.
13. Braglia, M., Frosolini, M. (2014), "An integrated approach to implement Project Management Information Systems within the Extended Enterprise", *International Journal of Project Management*, Vol. 32, Issue 1, P. 18–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.12.003>.
14. Hameri, A. P. (1997), "Project management in a long-term and global one-of-a-kind project", *International Journal of Project Management*, Vol. 15, Issue 3, P. 151–157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.03.001>.
15. Funtov, V. N. (2009), *Project Management Development Company: Theory and Practice* [Upravlenie proektami razvitiya firmy: teoriya i praktika : monografiya], Piter, St. Petersburg, 496 p.
16. Blankevoort, P. J. (1984), "Effects of communication and organization", *International Journal of Project Management*, Vol. 2, Issue 3, P. 138–147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.03.001>.
17. Maruseva, I. V. (2014), *Communication management in questions and answers* [Kommunikatsionnyy menedzhment v voprosakh i otvetakh : ucheb. posobie dlya vuzov], Direkt-media, Moscow-Berlin, 214 p.
18. ISO 25010-2015, Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation. System and software quality models [Sistemnaya i programmaya inzheneriya. Trebovaniya k otsenke kachestva sistem i programmno obespecheniya. Modeli kachestva sistem i programnykh produktov], Standartinform, Moscow, 30 p.
19. Piner, Sh., Skolt, D. (2007), "New era in assessing the performance of computer systems", ["Novaya era v otsenke proizvoditel'nosti komp'yuternykh sistem"], *Otkrytye sistemy*, SUBD, No. 9, available at : <https://www.osp.ru/os/2007/09/4569364> (last accessed : 28.07.2017).
20. Danshyna, S. Yu. (2018), "Choice of software and hardware in communications management of development project", *Mathematical modeling of processes in economics and project and program management* [Matematychneske modely rovaniya procesov v ekonomiyke y upravleniya proektami y programmami], Kharkiv : NURE, P. 43–46.
21. Available at : <https://f.ua/articles/kak-vybrat-smartfon.html> (last accessed : 03.09.2018).
22. Sokolov, Yu. N., Kharchenko, V. S. (2013), *Using of computer technologies for assessing the reliability and security of software and hardware systems* [Primenenie komp'yuternykh tekhnologiy dlya otsenivaniya nadezhnosti i bezopasnosti programno-tekhnicheskikh kompleksov], Kharkiv, 458 p.
23. Shumeyko, S. MTBF (mean time before failure) and warranty in the world of computers. What is important? [MTBF (narabotka na otkaz) i garantiya v mire komp'yutero. Chto vazhno?], available at : <https://www.hwp.ru/articles/> (last accessed : 28.09.2019).
24. Kini, R. L., Rayfa, Kh. (1981), *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs* [Prinyatie resheniy pri mnogikh kriteriyakh: predpochteniya i zameshcheniya] / Trans. from Eng. Podinovskogo V. V., Gafta M. G., Bibintseva V. S., Radio i svyaz', Moscow, 560 p.

Надійшла (Received) 20.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Даншина Світлана Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Харків, Україна; e-mail: s.danshyna@khai.edu; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7354-4146>.

Даншина Светлана Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", доцент кафедры геоинформационных технологий и космического мониторинга Земли, Харьков, Украина.

Danshyna Svitlana – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Associate Professor at the Department of Geo-Information Technologies and Space Monitoring of the Earth, Kharkiv, Ukraine.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОММУНИКАЦИЙ ПРОЕКТА РАЗВИТИЯ

Предметом исследования в статье являются факторы, способствующие повышению результативности внутренних коммуникаций за счет выбора качественных технических средств. **Цель** статьи – построение модели для оценки качества технических средств при их использовании в коммуникационных процессах проекта развития. **Задачи исследования.** Рассмотреть коммуникационный процесс для выявления факторов, направленных на повышение его результативности. Проанализировать существующие подходы к оценке качества технических средств с целью их выбора для использования в коммуникациях проекта развития. Определить важнейшие характеристики качества технических средств, обеспечивающих коммуникационный процесс проекта; сформировать частные и обобщенную функции оценки качества технических средств, как элементов обеспечения процессов внутренних коммуникаций проектов развития. Используются общенаучные **методы**

системного анализа, принятия решений, теории полезности. Получены следующие **результаты**: предложен подход, направленный на повышение результативности коммуникаций проекта развития путем выбора качественных технических средств при планировании коммуникаций; предложена аналитическая зависимость для оценки функциональной полноты, позволяющая прогнозировать ожидаемые функции в зависимости от стоимости технических средств коммуникаций; предложена обобщенная модель оценки качества технических средств, позволяющая оценить уровень качества в зависимости от стоимости и времени эксплуатации. **Выводы**: Проведен анализ процесса коммуникаций проекта развития. Это позволило определить факторы, направленные на повышение результативности внутренних коммуникаций проекта. Как такие факторы в дальнейшем рассматриваются компьютерные системы. Предложен подход, который за счет выбора технических средств позволяет повысить результативность коммуникаций. Разработана обобщенная модель оценки качества, объединяющая стоимостные и временные характеристики технических средств. Она позволяет получать оценки для обоснования решения при планировании коммуникаций проекта развития и выборе технических средств. Полученные результаты можно использовать при разработке плана управления коммуникациями проекта развития.

Ключевые слова: проектный менеджмент; внутренние коммуникации; качество компьютерных систем; функциональность и надежность средств коммуникаций; функция полезности.

ASSESSING THE QUALITY OF THE COMMUNICATIONS HARDWARE OF A DEVELOPMENT PROJECT

The **subject matter** of the article is the factors that increase the efficiency of internal communications by selecting high-quality hardware. The **goal** of the article is to build a model for assessing the quality of hardware to be used in the communication processes of a development project. The **objectives** of the study are to consider the communication process to identify factors that improve its efficiency; to analyze the existing approaches to assessing the hardware quality to select equipment to be used in the communications of a development project; to identify the most important quality characteristics of communications hardware that support the communication process of a project; to build partial and generalized functions for assessing the quality of hardware as the elements of supporting the processes of internal communications of development projects. The following general scientific **methods** are used – the systems analysis, decision theory, the theory of utility. The following **results** are obtained: the approach is proposed that enhances the communications efficiency of a development project by selecting high-quality hardware when planning communications; the analytical dependence is suggested for assessing the functional completeness, which enables predicting the expected functions depending on the cost of communications hardware; the generalized model is proposed for assessing the hardware quality that enables estimating the level of quality depending on the cost and time of operation. **Conclusions**. The analysis of the communication process of a development project was carried out. This enabled identifying the factors that increase the efficiency of the project internal communications, computer systems being considered as such factors. The approach that enhances the efficiency of communications by selecting hardware is proposed. The generalized model of quality assessment was developed; this model combines the cost and time characteristics of hardware and enables obtaining estimates to substantiate a decision when planning communications of a development project and selecting hardware. The obtained results can be used when creating a plan for managing the communications of a development project.

Keywords: project management; internal communications of development projects; hardware quality; functional suitability and reliability of communications hardware; the function of utility.

А. А. ДОРОХІНА, А. Ю. СТАРОСТИНА, Р. В. АРТЮХ

МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ РОБІТ ТА ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОЗКЛАДОМ БУДІВЕЛЬНОГО ПРОЕКТУ

Предметом дослідження є питання управління змістом та розкладом будівельних проектів. **Мета роботи** – побудова структурних моделей, які визначають послідовність та взаємозв'язок робіт (та операцій) будівельних проектів. В статті вирішуються наступні **завдання**: побудова моделі процесів управління розкладом проекту, формування ієрархічної структури будівельного проекту з урахуванням рівня операцій, побудова діаграм передування для рівня робіт і операцій. Використовуються такі **методи**: проектний підхід, процесне моделювання за допомогою діаграм IDEF0, методи декомпозиції, метод діаграм передування. Отримано наступні **результати**: В статті проведено аналіз процесів управління розкладом проекту згідно стандарту РМВОК. Розглянуто їх особливості стосовно будівельних проектів. В результаті побудовано модель процесів управління розкладом будівельних проектів, яку представлено в нотації IDEF0. Розглянуто послідовність та взаємозв'язок операцій в ієрархічній структурі будівельного проекту. Вказано фактори підприємства, які впливають на перелік операцій будівельних проектів. Для формування складу операцій використовується метод декомпозиції. WBS-структура будівельного проекту, що включає три рівні ієрархії, була доповнена четвертим рівнем – операціями. Наведено приклади елементів деяких із зазначених множин операцій будівельного проекту. Для визначення послідовності операцій обрано метод діаграм передування. Побудовано діаграму передування для рівня робіт структури, із зазначенням входів і виходів. Також побудовано діаграму передування для рівня операцій структури проекту на прикладі завдання розробки проектної документації. **Висновки**: Після встановлення послідовності і логічного взаємозв'язку на рівні операцій з урахуванням діаграми передування на рівні робіт можна побудувати модель послідовності групи операцій, груп робіт, а потім і всього проекту. З урахуванням даних про тривалості операцій дана модель дозволить оцінити тривалість всього проекту. Це дасть змогу отримати достовірні оцінки ресурсів та тривалості операцій. Результатом буде розклад проекту з деталізованим змістом проекту.

Ключові слова: послідовність робіт; ієрархічна структура; рівень операцій; управління змістом та розкладом; будівельний проект.

Вступ

В останні роки в Україні активізувалася будівельна галузь. Актуального значення набуває управління процесами в швидко мінливих умовах, вміння своєчасно адаптуватися до дійсності, відповідати сучасним вимогам якісного продукту. В умовах ринкових відносин актуальною стає проблема системного управління проектами. Це означає комплексне вирішення проблем формування змісту проекту з одночасним аналізом послідовності робіт з метою подальшого управління термінами проекту.

Сучасна практика здійснення будівельних проектів вимагає приділяти підвищену увагу своєчасності завершення робіт і здачі об'єктів в експлуатацію. У будівельній галузі останнім часом спостерігається тенденція до збільшення термінів реалізації проектів. Однак серйозне перевищення термінів, як правило, веде до появи ряду інших проблем, таких як збільшення витрат за проектом, поява ризиків комунікацій, зниження якості робіт через спроби зменшити відставання і ін. Правильне управління термінами дозволяє оцінити можливості дострокового завершення проекту, швидко і якісно приймати управлінські рішення, знижувати, таким чином, ризики, підвищувати контрольованість проекту. Саме тому, впровадження якісного управління є актуальним завданням будівельної галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Методам складання розкладу проекту і

управління його термінами присвячений цілий ряд наукових робіт. Досягнення компромісу між оптимальним розподілом ресурсів по роботах проекту і витратами часу є одними з найбільш складних завдань оптимізації в управлінні проектами. Ці дві проблеми зазвичай розглядаються окремо, оскільки кожна проблема оптимізує різні об'єктивні функції.

Для вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації змісту проекту може бути використаний програмний продукт PTCQR Project Score Optimization. В даному продукті реалізований метод багатокритеріальної оптимізації, заснований на застосуванні узагальненого критерію. Для вирішення завдання експерти повинні задати ваги для кожного із застосовуваних критеріїв, що є досить складним [1].

Іншим методом, за допомогою якого можна розв'язувати завдання, є метод поступок [2]. При застосуванні методу поступок експерти повинні задати пріоритети для критеріїв і допустимий рівень поступки для них.

У статті [3] запропонована інтегрована модель, яка враховує обидві проблеми, коли виконання ряду робіт розділено на групи для кращого використання ресурсів. Сформульовано модель цілочисельного лінійного програмування (MILP), яка розглядає компроміс між пов'язаними з ризиком витратами; враховує прямі і непрямі витрати і витрати ресурсів. Модель використовується як інструмент для прийняття рішення про можливі збої. Проводиться односторонній аналіз чутливості для оцінки загальної економії витрат, досягнутих за рахунок компромісу витрат часу і збереження ресурсів.

Апарат мереж Петрі знайшов застосування в

області імітаційного моделювання проектів. Так в роботах [4] пропонуються моделі для планування, аналізу ресурсів, оцінювання тривалості проектів і витрат по ним. Для задач планування робіт проекту використовуються також багатоагентні моделі, зокрема, двоетапний метод розподілу обмежених часових ресурсів (DRCMPSP). Зазначений метод може бути застосований до мультипроектів при різних ступенях конфліктів ресурсів. [5].

Мережеві моделі (графіки) не тільки показують зв'язки між різними роботами в проекті, але також служать простим інструментом для розрахунку важливих параметрів – так званого критичного шляху (для оцінки тривалості проекту), вартості та ризиків проекту. Однак, у багатьох проектах існує проблема вибору часу початку некритичних робіт. Існує підхід, в якому проблема планування некритичних робіт вирішується з використанням розширеного Cox-Ross-Rubinstein (CRR) біноміального дерева шляхом вирішення двокритеріального завдання [6]. При плануванні виконання проекту з урахуванням невизначеності тривалості робіт запропонований підхід декомпозиції складних (комплексних) робіт на роботи малих і середніх масштабів, тривалість яких має помірний рівень мінливості [7].

Для управління термінами проекту використовуються методи структурного аналізу невідповідностей, їх наслідків та причин виникнення FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Для візуалізації причинно-наслідкових зв'язків факторів, що впливають на тривалість виконання робіт використовується діаграма Ісікави [8]. З метою врахування інтересів стейкхолдерів у виконанні робіт проекту розроблений метод моніторингу вимог, який дозволяє відстежувати виконання вимог зацікавлених сторін проекту в часі. Підхід заснований на інтеграції ієрархічної структури вимог і ієрархічної структури робіт проекту [9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета роботи

Основою для структурного представлення змісту проекту і побудови розкладу робіт є мережеві і ієрархічні моделі. Але залишається невирішеним питання інтеграції цих моделей, так як багаторівнева модель змісту проекту є ієрархічною, в той час як модель нижнього рівня робіт (або операцій) проекту є мережевою. Крім того, основним недоліком зазначених моделей є неможливість розмежування суворої послідовності робіт (операцій проекту) і можливості їх паралельного виконання. Для подальшої оцінки тривалості робіт за допомогою інструментів MSPProject треба проаналізувати послідовність та взаємозв'язок окремих операцій на нижньому рівні ієрархії.

Тому метою даної статті є побудова структурних моделей, які визначають послідовність та взаємозв'язок робіт (або операцій) будівельних проектів. У статті вирішуються наступні завдання:

- побудова моделі процесів управління розкладом проекту,
- формування ієрархічної структури будівельного проекту з урахуванням рівня операцій,
- побудова діаграм послідовності для рівня робіт і операцій.

Модель процесів управління розкладом проекту

Управління термінами проекту включає в себе процеси, що забезпечують своєчасне завершення проекту. Завдання управління термінами проекту тісно пов'язане зі змістом проекту, а також з його розкладом. У відповідності з системним підходом зміст проекту можна розглядати на таких рівнях декомпозиції: цілей, функціональних завдань, робіт та операцій. Для більшості проектів декомпозиція до рівня робіт є достатньою. Але саме для будівельних проектів послідовність та взаємозв'язок окремих операцій має важливу роль.

Керівництво PMBOK [10] описує шість процесів в рамках управління термінами проекту:

- 1) визначення операцій – які визначають нижній рівень ієрархічної структури робіт у змісті проекту;
- 2) визначення послідовності операцій;
- 3) оцінка тривалості операцій;
- 4) розробка розкладу проекту;
- 5) контроль розкладу;
- 6) управління змінами.

Первісний перелік операцій для виконання робіт будівельного проекту є узагальненим, тому для кожного окремого проекту слід визначити найбільш важливі. Визначення ваг операцій (відносної і абсолютної важливості) робиться з урахуванням їх характеристик і параметрів з метою оцінки внеску кожної конкретної операції проекту в загальний результат проекту або в прогрес даної групи робіт.

На етапі контролю розкладу слід оцінювати динаміку виконання робіт (операцій) проекту. Таким інструментом може бути побудова кривих прогресу. По мірі виконання проекту фактичний прогрес порівнюється з базовим планом, в результаті чого визначається поточна тенденція, що є корисним для складання прогнозу виконання термінів проекту. Аналіз виконання робіт здійснюється за допомогою моніторингу зазначених кривих прогресу.

Результатом складання розкладу будівельного проекту є план, який містить відомості про те, як і коли буде здійснюватися будівництво. Цей план також служить інструментом для комунікації і управління очікуваннями зацікавлених сторін.

У будівельних проектах процедури визначення операцій, їх послідовності, оцінка тривалості операцій і розробка моделі розкладу тісно пов'язані. Тому їх розглядають як єдиний процес управління розкладом. Однак, інструменти і методи виконання кожного процесу різні. Розклад проекту має залишатися гнучким на протязі його виконання для коригування з урахуванням набутих знань, більш глибокого розуміння ризиків.

Узагальнюючи вищесказане, побудуємо модель процесів управління розкладом будівельних проектів, яку представимо в нотації IDEF0 (рис.1). Ця модель надає подальшого розвитку процесному підходу в управлінні проектами шляхом застосування його до

будівельних проектів та надає змогу визначити, які методи і інструменти треба використовувати для складання розкладу на певних етапах, а також виходи та виходи процесів управління розкладом проекту.

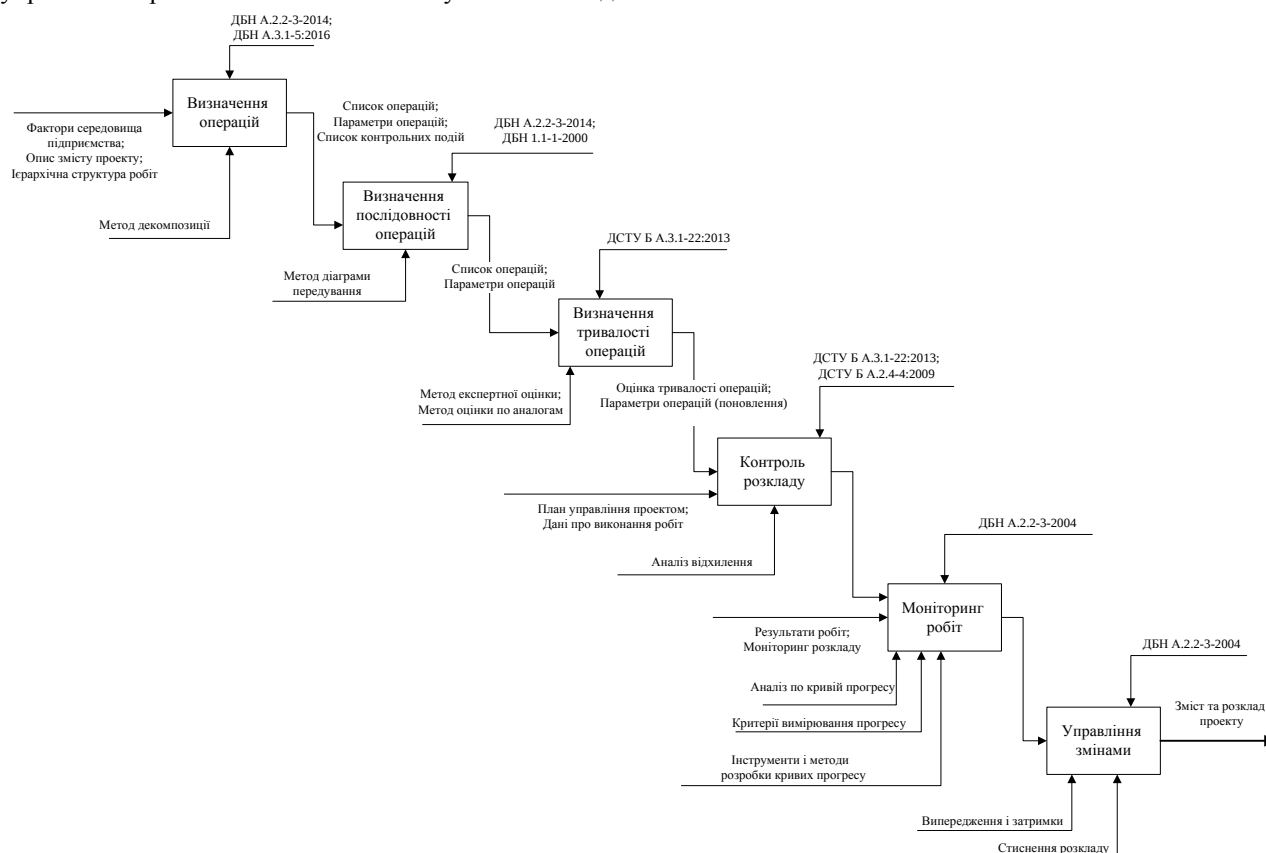


Рис. 1. Модель процесів управління розкладом будівельного проекту

На першому етапі визначення операцій треба враховувати фактори підприємства (а для будівельних проектів – фактори низки підприємств, які задіяні в виконанні проекту) [11]. Серед факторів, які впливають на перелік операцій можна вказати такі:

- організаційна культура і структура виконавців;
- наявність ресурсів в команді управління проектом;
- можливості програмного забезпечення для складання розкладу;
- керівні вказівки і критерії для адаптації набору стандартних процесів і процедур будівництва;
- власні та комерційні бази даних.

Визначення операцій – це процес визначення та документування конкретних дій, які необхідно виконати для створення результатів проекту. Ключова вигода даного процесу полягає в деталізації робіт на виконуваних за розкладом операції, що представляють собою основу для оцінки, складання розкладу, виконання, моніторингу та контролю робіт проекту.

Сформовано склад операцій будівельного проекту шляхом декомпозиції проектних робіт на більш дрібні і більш керовані елементи. Завдяки цьому ми отримуємо точний опис змісту робіт, точне визначення обсягу робіт, вимірний результат виконання робіт. Визначено специфіку операцій

будівельних проектів, яка полягає в наявності договірних контрольних подій. Саме ці події можуть викликати значні затримки в виконання проекту в цілому.

Не слід проводити декомпозицію до дуже дрібних елементів (технологічних операцій), щоб уникнути створення складного некерованого рівня деталізації. Однак також важливо, щоб розбиття проводилось до такого рівня компонентів, який необхідний для забезпечення результативного управління роботами. Рівень деталізації повинен відповідати потребам конкретного проекту. В даному випадку декомпозицію виробляємо до рівня операцій, які закінчуються конкретним результатом, наприклад, складанням певного документа (технічного, експлуатаційного, тощо).

Ієрархічна структура будівельного проекту

Таким чином, WBS-структура портфеля будівельних проектів, що включає три рівні ієрархії (відповідно рівень проекту, групи робіт, роботи) [12], була доповнена четвертим рівнем - операціями. Операції визначають послідовність дій, необхідних для виконання конкретних робіт проекту (рис. 2).

Розроблено WBS-структуру будівельного проекту, що представлена на рис. 2. Зазначимо, що розглянутий проект є одним із тих, що входять до складу портфеля будівельних проектів [13]. На

рисунку представлено фрагмент повної структури проекту, тобто тільки три групи робіт (W_5^{GrTask} , W_6^{GrTask} , W_7^{GrTask}).

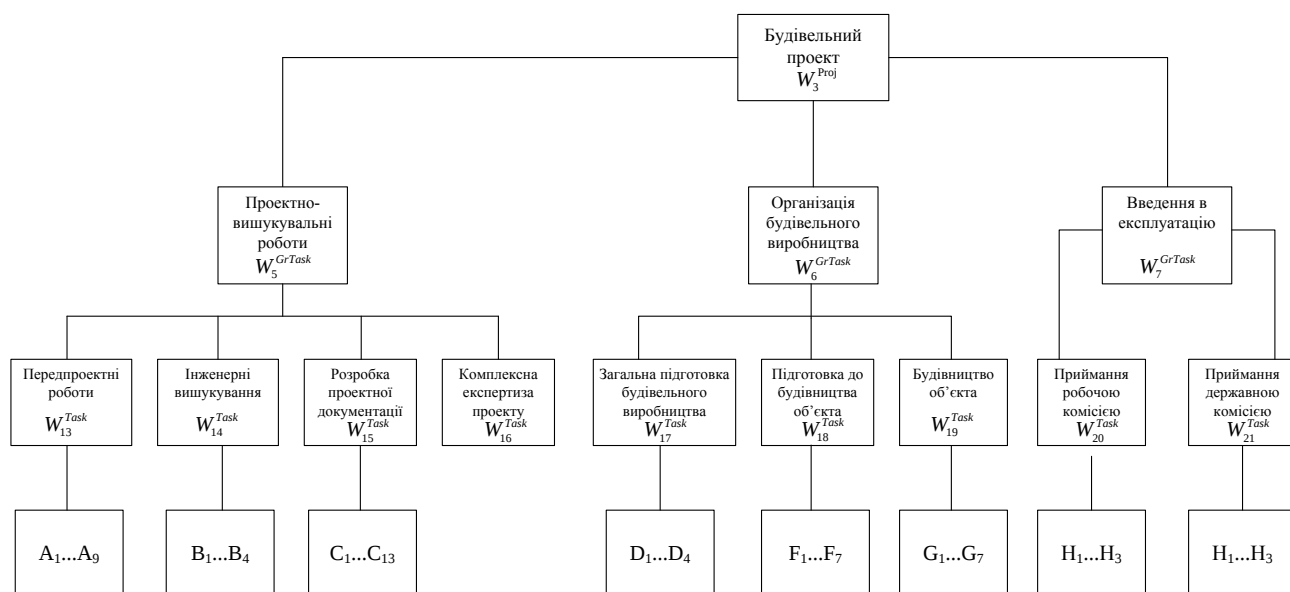


Рис. 2. WBS-структура будівельного проекту: де W^{Proj} – елементи рівня проекту; W^{GrTask} – групи робіт; W^{Task} – окремі роботи проекту.

Сформовано набори множин операцій будівельного проекту на четвертому рівні ієрархії $\{A\}$, $\{B\}$, $\{C\}$, $\{D\}$, $\{F\}$, $\{G\}$, $\{H\}$, $\{J\}$.

Наведемо приклади елементів деяких із зазначених множин ($\{A\}$, $\{B\}$, $\{C\}$):

A_1 – формування листа замовника (заповнення реквізитів);

A_2 – рішення про початок проектування;

A_3 – розробка архітектурно-планувального завдання (АПЗ);

A_4 – узгодження ескізного проекту з головним архітектором міста;

A_5 – опис в загальних рисах основних елементів ескізного проекту;

A_6 – складання технічних умов;

A_7 – складання висновку екологічної експертизи СЕС;

A_8 – висновки про матеріали інженерно-геологічні вишукування;

A_9 – написання техніко-економічного обґрунтування;

B_1 – вибір майданчика для будівництва;

B_2 – виконання досліджень для отримання топографо-геодезичних даних;

B_3 – виконання досліджень для визначення умов ділянки для будівництва (геологія);

B_4 – дослідження екологічної ситуації ділянки під забудову;

C_1 – виконання частини генерального плану (ГП);

C_2 – виконання частини архітектурні рішення (АР);

C_3 – виконання частини конструктивні рішення (КР);

C_4 – виконання частини внутрішні водопровід і каналізація (ВК);

C_5 – виконання частини опалення, вентиляція і кондиціювання повітря (ОВ);

C_6 – виконання частини технологія виробництва (ТХ);

C_7 – виконання частини електропостачання (ЕС);

C_8 – виконання частини системи зв'язку (СЗ);

C_9 – виконання частини газопровідні мережі (ГМ);

C_{10} – виконання частини зовнішні мережі (ЗМ);

C_{11} – виконання кошторисної документації (КД);

C_{12} – написання загальної пояснювальної записки (ЗПЗ);

C_{13} – написання проекту організації будівництва (ПОБ).

Відмітимо, що у першій групі операцій вже присутні операції, що мають організаційно-узгоджувальний характер і не є суто технічними (A_2 – рішення про початок проектування, A_4 – узгодження ескізного проекту з головним архітектором міста), тобто можуть викликати затримки виконання операцій суб'єктивного характеру.

Проведена деталізація робіт проекту до рівня

операцій дозволить визначити:

- склад робіт у вигляді конкретних планових операцій, які необхідно виконати для отримання запланованих результатів робіт проекту;
- взаємозв'язок операцій для виявлення і документування залежностей між плановими операціями;
- види і кількість ресурсів, необхідних для виконання кожної планової операції;
- тривалість операцій у вигляді кількості робочих періодів, необхідних для виконання окремих операцій;
- розклад проекту з урахуванням послідовностей операцій, їх тривалості, вимог до ресурсів і часових обмежень.

Склад операцій сформовано у відповідності до цілей конкретних робіт і всього проекту.

Параметри операції розширюють її опис шляхом визначення ряду компонентів для кожної операції. Компоненти операції можуть змінюватися з плином часу. На початкових стадіях проекту атрибути операцій містять її ідентифікатор (в WBS-структурі), перелік операцій, що передують, та наступні операції, логічні зв'язки, можливі випередження і затримки, потреби в ресурсах, дати виконання, обмеження і допущення. З урахуванням особливостей проекту за допомогою експертів можуть бути визначені вагові коефіцієнти відносної важливості операцій для досягнення результату роботи. Параметри операції можна використовувати для зазначення місця, де роботу необхідно провести, та визначення трудовитрат з її виконання. Параметри операцій використовуються для розробки розкладу проекту.

Після формування складу операцій та визначення їх параметрів слід розробити модель послідовності операцій, яка дозволить визначити та документувати зв'язки між операціями проекту. При цьому слід відобразити логічну послідовність виконання робіт проекту з метою найбільш ефективного досягнення цілей проекту з урахуванням обмежень. Для визначення послідовності операцій часто застосовують такі методи:

- метод діаграм передування;
- визначення залежностей;
- застосування випередження та затримок;
- шаблони мережі.

Діаграми передування для рівнів робіт і операцій

В даній статті запропоновано модель послідовності операцій будівельного проекту на основі побудови діаграм передування. Метод діаграм передування застосовується в методології критичного шляху для побудови мережевої діаграми проекту, в якій операції зображуються у вигляді квадратів або прямокутників (званих вузлами), а логічні взаємозв'язки, що існують між ними – стрілками із зазначенням типу залежності. Даний метод також називається операціями в вузлах,

він використовується в більшості пакетів програм управління проектами.

Програми можна розділити на дві групи продуктів: пакети для складання розкладів і комплексні системи. Пакети для складання розкладів (Project Schedulers) орієнтовані на разове (випадкове) планування. Вони дозволяють задавати взаємозв'язок між роботами, будувати діаграми Гантта і мережні діаграми, розраховувати критичний шлях, спрощено оцінювати завантаження ресурсів, вартість проекту та ін. Комплексні системи призначені для створення середовища управління складними проектами (multi-project environment). Вони містять професійні інструменти для планування, аналізу та контролю за виконанням проектів, а також засоби для організації комунікацій між учасниками проектних команд.

Розклад проекту визначає взаємопов'язані операції з запланованими датами їх виконання, контрольними подіями та основними ресурсами. Розклад вказує дату старту і фінішу кожної операції проекту, тобто, розподіляє ваги операції в часі. На стадії формування змісту проекту його розклад є попереднім до детального розподілу ресурсів та затвердження розрахункових дат старту та фінішу, тобто до підтвердження змісту. Розклад проекту може бути представлено в укрупненому вигляді.

Метод діаграм передування включає чотири типи залежностей, або логічних взаємозв'язків:

1. Фініш - старт (FS). Ініціація наступної операції залежить від завершення попередньої операції.
2. Фініш - фініш (FF). Завершення наступної операції залежить від завершення попередньої операції.
3. Старт - старт (SS). Ініціація наступної операції залежить від ініціації попередньої операції.
4. Старт - фініш (SF). Завершення наступної операції залежить від ініціації попередньої операції [14].

Кожен елемент діаграми, за винятком першого та останнього, має бути пов'язаний відповідним логічним зв'язком, хоча б одним з попередніх та наступних елементів.

Побудовано діаграму передування для рівня робіт структури, із зазначенням входів і виходів (рис. 3).

Запропонована структура відображає логіку зв'язків саме для будівельного проекту. Незважаючи на те, що стадійність проектних робіт в колишньому розумінні цього слова в останніх стандартах була переглянута, і робоча документація іноді розробляється одночасно з проектною, можна виділити умовний етап, який повинен передувати всім цим роботам – етап передпроектних робіт – W_{13}^{Task} . На цьому етапі розробляється концепція майбутнього об'єкту, визначаються основні техніко-економічні характеристики. Ескізний проект дає розуміння того, як об'єкт буде "посаджений" на місцевості, як буде виглядати його конструктивна схема і яким способом здійснено об'ємно-просторове рішення.

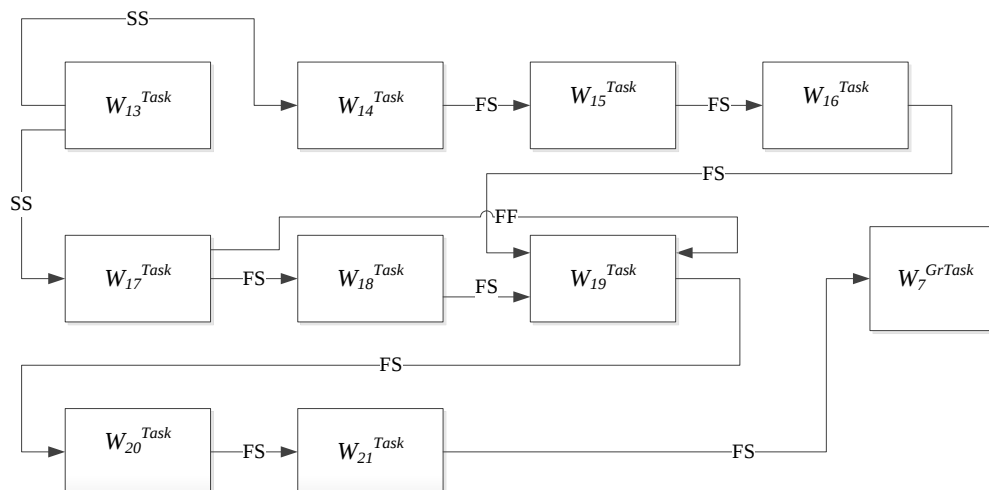


Рис. 3. Діаграма передування для рівня робіт структури

Таким чином, передпроектні роботи – W_{13}^{Task} розглядаються спільно з інженерно-дослідницькими – W_{14}^{Task} . Саме тому між W_{13}^{Task} і W_{14}^{Task} зв'язок старт – старт (SS). Тип зв'язку фініш – старт (FS), найчастіше використовується зв'язок передування в будівельних проектах. Початок розробки проектної документації W_{15}^{Task} можливо лише після отримання остаточних результатів передпроектних і інженерно-вишукувальних робіт W_{13}^{Task} і W_{14}^{Task} .

Зв'язок передування фініш - фініш (FF) в будівельному проекті бачимо на діаграмі між W_{17}^{Task} і

W_{19}^{Task} . Це пояснюється тим, що згідно з існуючими будівельними нормами і правилами, закінчення будівництва об'єкта залежить від закінчення розробки комплексу спільних заходів щодо підготовки будівельного виробництва, що сприяють планомірному розгортанню і ходу будівництва в задані терміни.

Розроблено діаграми передування рівня операцій будівельного проекту. На рисунку 4 представлена така діаграма для завдання розробки проектної документації.

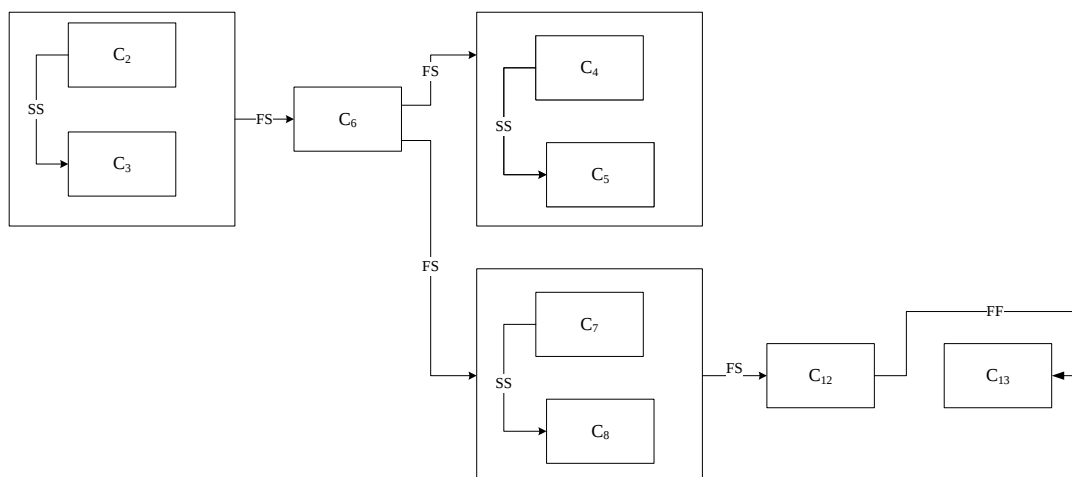


Рис. 4. Діаграма передування для рівня операцій структури проекту (на прикладі завдання розробки проектної документації)

Опишемо логіку зв'язків запропонованої діаграми. Тип зв'язку старт - старт (SS) між C_2 і C_3 визначено з таких міркувань: початок роботи над розділом конструктивних рішень – C_3 залежить від початку роботи по розділу архітектурні рішення – C_2 , в якому викладено авторське бачення архітектурного об'єкта. Паралельна робота над операціями C_2 і C_3 дала можливість об'єднати їх в один блок. Подібна ситуація відбувається між C_4 , C_5 і C_7 , C_8 . Взаємозв'язок між цими блоками (операціями)

забезпечуються зв'язком передування фініш - старт (FS). На виході рівня операцій C_{13} , яка має логічний зв'язок фініш - фініш (FF) з C_{12} . Завершення написання розділу "проект організації будівництва" (ПОБ) залежить від завершення написання загальної пояснювальної записки за проектом – C_{12} .

Після встановлення послідовності і логічного взаємозв'язку на рівні операцій з урахуванням діаграми послідовностей на рівні робіт отримано модель послідовності групи операцій та груп робіт, а потім і всього проекту. З урахуванням даних про

тривалості операцій дана модель дозволить оцінити тривалість всього проекту. Крім того, з урахуванням даної моделі можна скласти розклад будівельного проекту.

В розроблених діаграмах передування можна зазначити можливі випередження або затримки для точного визначення логічного зв'язку. Використання затримок і випереджень не повинно замінювати логіки розкладу.

З різних причин в ході будівництва виникають незаплановані ситуації, які впливають на розклад. Через це може виникнути необхідність проведення їх оцінки, а це може зажадати змін проекту або привести до претензій зацікавлених сторін проекту. Запропонована модель дозволяє застосовувати ціннісний підхід шляхом урахування операцій узгодження інтересів зацікавлених сторін в структурі конкретних робіт проекту.

Висновки

В статті проведено аналіз процесів управління розкладом проекту згідно стандарту РМВОК. Розглянуто їх особливості стосовно будівельних проектів. В результаті побудовано модель процесів управління розкладом будівельних проектів, яку представлено в нотації IDEF0. Таким чином, отримав подальший розвиток процесний підхід в управлінні проектами шляхом розробки моделі управління розкладом будівельних проектів, яка відображає

вхідні, проміжні та вихідні дані послідовних етапів, вимоги (стандарт) та методи їх реалізації.

Запропоновано розглядати рівень операцій в ієрархічній структурі будівельного проекту. Визначено фактори підприємства, які впливають на перелік операцій. Для формування складу операцій використовується метод декомпозиції. Таким чином, WBS-структура будівельних проектів, що включає три рівні ієрархії, була доповнена четвертим рівнем - операціями. Наведено приклади елементів деяких із зазначених множин операцій будівельного проекту.

Розроблено діаграму передування для рівня робіт структури проекту. Також розроблено діаграму передування для рівня операцій на прикладі завдання розробки проектної документації.

Запропоновані моделі дозволяють відобразити послідовність та логічний взаємозв'язок операцій будівельного проекту з урахуванням діаграми послідовностей на рівні робіт. Вони є основою для формування моделі послідовності груп робіт (завдань), а також і всього проекту. З урахуванням даних про тривалості операцій моделі дозволять оцінити тривалість всього проекту. Результатом буде розклад проекту з деталізованим змістом проекту. Таким чином, удосконалено модель змісту будівельного проекту шляхом розробки діаграм послідовності робіт та операцій, застосування яких надасть змогу підвищити достовірність оцінки ресурсів та тривалості проекту.

Список літератури

1. Кононенко І.В., Колесник М. Э., Лобач Е.В. Процесс многокритериальной оптимизации содержания проекта при использовании методологии РМВОК. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2014. № 2 (1045). С. 11–17.
2. Кононенко І. В., Лобач Е. В., Харазий А. В. Многокритериальная оптимизация содержания проекта при заданных приоритетах для критериев. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Сб. науч. трудов. Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ". 2013. № 59. С. 6–13.
3. Hariga, M. (2016), "Integrated time–cost tradeoff and resources leveling problems with allowed activity splitting", *International Transactions in Operational Research International Federation of Operational Research Societies Published by John Wiley & Sons Ltd*, 9600 Garsington Road, Oxford OX4 2DQ, UK and 350 Main St, Malden, MA02148, USA, P. 80–99.
4. Mejna, G., Nico, K., Montoya, C., Sbnchez, M. A., Palacios, J. and Amodeo, L. (2016), "A Petri Net-based Framework for Realistic Project Management and Scheduling: An application in Animation and Videogames", *Computers & Operations Research*, Vol. 66, P. 190–198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.08.011>.
5. Li, F., Xu, Z. (2018), "A multi-agent system for distributed multi-project scheduling with two-stage decomposition", *PLoS ONE*, No. 13 (10). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205445>.
6. Targiel, K., Maciej Nowak, M., Trzaskalik, T. (2018), "Scheduling non-critical activities using multicriteria approach", *Central European Journal of Operations Research*, No. 3, P. 585–598. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-018-0542-y>.
7. Creemers, S. (2015), "Minimizing the expected makespan of a project with stochastic activity durations under resource constraints", *Journal of Scheduling*, No. 18 (3), P. 263–273. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10951-015-0421-5>.
8. Кадикова І. М., Каліненко Б. Д., Ларіна С. О., Чумаченко І. В. Модель управління часом у системі стратегічного проектного менеджменту. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2017. № 2 (2). С. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.029>.
9. Martynenko, O., Husieva, Yu., Chumachenko, I. (2017), "The method of earned requirements for project monitoring", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 58–63. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.058>.
10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® guide), Sixth edition, USA : PMI Inc, 2017, 735 p.
11. Дорохіна А. А., Старостіна А. Ю., Артюх Р. В. Концептуальна модель проекту будівництва з урахуванням інтересів стейкхолдерів. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 17–22. DOI: <http://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.03>.
12. Дорохіна А. А., Старостіна А. Ю., Артюх Р. В., Гопеєнко В. Розробка механізму систематизації компонентів змісту портфелю будівельних проектів. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2018. № 3 (5). С. 17–25. DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.017>.
13. Дорохіна А. А., Старостіна А. Ю., Артюх Р. В. Структурні моделі портфелю інвестиційно-будівельних проектів. Монографія науково-практичної конференції "Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами і програмами (ММП-2018)". Харків-Коблево, 2018. С. 233–242.

14. Уляниченко О. В., Цигікал П. Ф. Управління проектами : навчальний посібник. Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва. 2010. С. 109–111.

References

1. Kononenko, I., Lobach, E., Kolesnik, M. (2014) "The process of multi-criteria optimization of project content using PMBoK methodology". Bulletin of the National Technical University "KhPI". Seriya: Strategic management, portfolio management, software and projects.No. 2 (1045). P. 11–17.
2. Kononenko, I., Lobach, E., Kharazi, A. (2013), "Multicriteria optimization of the content of the project with the given priorities for the criteria", *Open information and computer integrated technologies. Sat scientific of labor. National Aerospace University KhAI*, No. 59, P. 6–13.
3. Hariga, M. (2016), "Integrated time–cost tradeoff and resources leveling problems with allowed activity splitting", *International Transactions in Operational Research International Federation of Operational Research Societies Published by John Wiley & Sons Ltd*, 9600 Garsington Road, Oxford OX4 2DQ, UK and 350 Main St, Malden, MA02148, USA, P. 80–99.
4. Mejna, G., Nico, K., Montoya, C., Sbnchez, M. A., Palacios, J. and Amodeo, L. (2016), "A Petri Net-based Framework for Realistic Project Management and Scheduling: An application in Animation and Videogames", *Computers & Operations Research*, Vol. 66, P. 190–198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.08.011>.
5. Li, F., Xu, Z. (2018), "A multi-agent system for distributed multi-project scheduling with two-stage decomposition", *PLoS ONE*, No. 13 (10). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205445>.
6. Targiel, K., Maciej Nowak, M., Trzaskalik, T. (2018), "Scheduling non-critical activities using multicriteria approach", *Central European Journal of Operations Research*, No. 3, P. 585–598. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-018-0542-y>.
7. Creemers, S. (2015), "Minimizing the expected makespan of a project with stochastic activity durations under resource constraints", *Journal of Scheduling*, No. 18 (3), P. 263–273. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10951-015-0421-5>.
8. Kadikova, I., Kalinenko, B., Larina, S., Chumachenko, I. (2017), "Model of time management in the system of strategic project management", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.029>.
9. Martynenko, O., Husieva, Yu., Chumachenko, I (2017), "The method of earned requirements for project monitoring", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 58–63. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.058>.
10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® guide), Sixth edition, USA : PMI Inc, 2017, 735 p.
11. Dorokhina, A., Starostina, A., Artyukh, R. (2018), "Conceptual model of construction project taking into account the interests of stakeholders", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, P. 17–22. DOI: <http://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.03>.
12. Dorokhina, A., Starostina, A., Artyukh, R. Gopejenko V. (2018), "Developing the mechanism for systematizing the components of the content of the construction projects portfolio", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (5), P. 17–25. DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.017>.
13. Dorokhina, A., Starostina, A., Artyukh, R. (2018), "Structural models of the portfolio of investment and construction projects", *Monograph Scientific-Practical conference "Mathematical modeling of processes in economics and management of projects and programs (MMP-2018)*, Kharkiv-Koblevo, P. 233–242.
14. Ulyanchenko, O., Tsigikal, P. (2010), "Project Management", *Tutorial. Kharkiv National Agrarian university them V. V. Dokuchaev*, P. 109–111.

Надійшла (Received) 09.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дорохіна Анна Анатоліївна – Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", провідний архітектор, Харків, Україна; e-mail: annadorokhina2018@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5073-7383>.

Дорохина Анна Анатольевна – Государственное предприятие "Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности", ведущий архитектор, Харьков, Украина.

Dorokhina Anna – State Enterprise "National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Lead Architect, Kharkiv, Ukraine.

Старостіна Альона Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, начальник науково-дослідної частини кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві, Харків, Україна; e-mail: Starostina-2010@yandex.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4923-0320>.

Старостина Алёна Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, начальник научно-исследовательской части кафедры управления проектами в городском хозяйстве и строительстве, Харьков, Украина.

Starostina Alona – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy, Head of the Research Center at the Department of Project Management in Municipal Services and Building, Kharkiv, Ukraine.

Артюх Роман Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", директор, Харків, Україна; e-mail: roman.artiyuh77@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5129-2221>.

Артюх Роман Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Государственное предприятие "Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности", директор, Харьков, Украина.

Artiukh Roman – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, State Enterprise "National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Director, Kharkiv, Ukraine.

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАБОТ И ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЕМ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

Предметом исследования являются вопросы управления содержанием и расписанием строительных проектов. **Цель работы** – построение структурных моделей, которые определяют последовательность и взаимосвязь работ (и операций) строительных проектов. В статье решаются следующие **задачи**: построение модели процессов управления расписанием проекта, формирование иерархической структуры строительного проекта с учетом уровня операций, построение диаграмм предшествования для уровня работ и операций. Используются следующие **методы**: проектный подход, процессное моделирование с помощью диаграмм IDEF0, методы декомпозиции, метод диаграмм предшествования. Получены следующие **результаты**: в статье проведен анализ процессов управления расписанием проект согласно стандарту PMBOK. Рассмотрены их особенности относительно строительных проектов. В результате построена модель процессов управления расписанием строительных проектов, представленная в нотации IDEF0. Рассмотрены последовательность и взаимосвязь операций в иерархической структуре строительного проекта. Указаны факторы предприятия, которые влияют на перечень операций. Для формирования состава операций используется метод декомпозиции. Таким образом, WBS-структура портфеля строительных проектов, включающая три уровня иерархии, была дополнена четвертым уровнем - операциями. Приведены примеры элементов некоторых из указанных множеств операций строительного проекта. Для определения последовательности операций выбран метод диаграмм предшествования. Построена диаграмма предшествования для уровня работ структуры, с указанием входов и выходов. Также построена диаграмма предшествования для уровня операций структуры проекта на примере задачи разработки проектной документации. **Выводы**: После установления последовательности и логической взаимосвязи на уровне операций, с учетом диаграммы предшествования на уровне работ, можно построить модель последовательности группы операций, групп работ, а затем и всего проекта. С учетом данных о продолжительности операций данная модель позволит оценить продолжительность всего проекта. Это позволит получить достоверные оценки ресурсов и продолжительности операций. Результатом будет расписание проекта с детализированным содержанием проекта

Ключевые слова: последовательность работ; иерархическая структура; уровень операций; управление содержанием и расписанием; строительный проект.

THE MODEL FOR DETERMINING THE SEQUENCE OF WORKS AND OPERATIONS TO MANAGE THE TIMETABLE OF A CONSTRUCTION PROJECT

The **subject matter** is the issue of managing the content and schedule of a construction project. The **goal** of the article is to build structural models that determine the sequence and interrelation of works (and operations) of construction projects. The following **tasks** were solved: a model of the processes of project schedule management was built, a hierarchical structure of a construction project was developed taking into account the operation level, a precedence diagram was constructed for the level of works and operations. The following **methods** were used: the project approach, process modelling using IDEF0 diagrams, decomposition methods, the method of a precedence diagram. The following **results** were obtained: the processes for managing the schedule of a project according to the PMBoK standard were analyzed, their features with were considered with reference to construction projects, as a result, a model of processes for managing construction project schedules presented in IDEF0 notation was built; the level of operations of the hierarchical structure of a construction project was considered; the factors of an enterprise that affect the list of operations were indicated; to compose operations, the decomposition method was used; the WBS-structure of the portfolio of construction projects, including three levels of hierarchy, was supplemented with the fourth level – operations; the examples of some elements of the specified sets of construction project operations were given; the method of precedence diagrams was chosen for determining the sequence of operations; a precedence diagram which indicates inputs and outputs was constructed for the level of the structure operations; a precedence diagram for the level of operations of the project structure was also built in the context of the task of the project documentation development. **Conclusions**. After establishing the sequence and logical relationship at the level of operations, taking into account the precedence diagram at the level of work, a model of the sequence of a group of operations, groups of work and then the entire project can be built. Taking into consideration the data on the duration of operations, this model will enable assessing the duration of the entire project. This will provide a reliable assessment of resources and the duration of operations. The result will be a project schedule with detailed project content.

Keywords: work sequence; hierarchical structure; level of operations; content and schedule management; construction project.

П. Є. ЖЕРНОВА, Є. В. БОДЯНСЬКИЙ

**ЯДЕРНА НЕЧІТКА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ПОТОКІВ ДАНИХ НА ОСНОВІ
АНСАМБЛЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

Предметом дослідження в статті є кластерування даних на основі ансамблю нейронних мереж. **Мета** роботи – створення нового підходу в задачах кластерування потоків даних, коли інформація надходить в online режимі спостереження за спостереженням. У статті вирішуються наступні **завдання**: формування моделі ансамблів нейронних мереж для кластерування даних, розробка методів кластерування даних при роботі з даними великих розмірностей, розробка методів онлайн кластерування даних з використанням ансамблів нейронних мереж, які працюють у паралельному режимі. Отримані наступні **результати**: сформульовано принципи роботи ансамблів нейронних мереж Т. Кохонена, і визначені практичні вимоги для роботи з даними великої розмірності. Показані можливі підходи для вирішення перерахованих завдань. Досліджено принцип роботи ансамблю паралельно налаштованих кластерувальних мереж Т. Кохонена. Для навчання шарів ансамблю нейронних мереж використовувалися процедури, які працюють за принципом WTA і WTM. Були використані радіально-базисні функції для підвищення розмірностей вхідного простору. Розроблено математичну модель для вирішення задачі кластерування даних в online режимі. Розроблено математичну модель для визначення якості кластерування з використанням індексу Девіса-Булдена, який був переформульований для online режиму. **Висновки**: В роботі запропоновано новий підхід до завдання кластерування потоків даних, коли інформація надходить в online режимі спостереження за спостереженням за умов, що кількість і форма кластерів заздалегідь невідома. Основна ідея підходу базується на ансамблі нейронних мереж, який складається з самоорганізованих мап Кохонена. Всі члени ансамблю обробляють інформацію, яка послідовно подається в систему в паралельному режимі. Експериментальні результати підтвердили той факт, що система може бути використана для вирішення широкого кола завдань Data Stream Mining.

Ключові слова: кластерування; метод X -середніх; самоорганізована мапа Кохонена; ансамбль нейронних мереж; самонавчання.

Вступ

Проблема кластеризації масивів даних є складовою частиною комплексу завдань, що вирішуються в рамках Data Mining, а для її вирішення на сьогодні розроблено безліч підходів, методів та алгоритмів [1–3], що відрізняються один від одного як вихідними припущеннями, так і використанням математичним апаратом. Одним з найбільш популярних методів кластерування є метод K -середніх, завдяки наочності отриманих результатів, простоті використовуваного математичного апарату і чисельної реалізації. В рамках цього підходу передбачається, що вихідний масив даних $X = \{x(1), \dots, x(k), \dots, x(N)\}$, $x(k) = (x_1(k), \dots, x_i(k), \dots, x_n(k))^T \in R^n$, $k = 1, 2, \dots, N$, повинен бути розбитий на m неперетинних опуклих лінійно розділених класів, при цьому число цих класів m задається апріорно, виходячи з тих чи інших, як правило, емпіричних припущень.

Альтернативою емпіричному підходу є досить формалізований метод X -середніх [4, 5], вельми громіздкий з обчислювальної точки зору і пов'язаний з досить суворими апріорними статистичними припущеннями про характер розподілу вихідних даних. Крім того, обидва ці методи вимагають багаторазового перебору даних у вихідному масиві X , що обмежує їх можливості в задачах обробки великих масивів інформації (Big Data) і потоків даних, коли інформація подається на вхід кластерувальної системи послідовно спостереження за спостереженням в online режимі (Data Stream Mining). У цій ситуації номер спостереження k набуває сенсу поточного дискретного

часу, а обсяг даних N практично не обмежений.

У подібних ситуаціях дуже ефективними показали себе кластерувальні самонавчання штучні нейронні мережі [6–9] і, перш за все, самоорганізовані мапи Т. Кохонена (SOM) [10], що обробляють дані в послідовному режимі. Результат роботи SOM збігається з результатами K -середніх, при цьому число кластерів m також задається апріорно.

Зберегти можливість online обробки за допомогою SOM і встановлення числа кластерів m за допомогою X -середніх можна, скориставшись ідеєю кластерувальних ансамблів [11–14], при цьому в якості елементів ансамблю використовувати кластерувальні нейронні мапи Кохонена SOM^m [15], кожна з яких розрахована на різне число можливих класів $m = 2, 3, \dots, M$. В рамках такого підходу перший член ансамблю SOM^2 в шарі Кохонена містить всього два нейрони з векторами синаптичних ваг w_1^2, w_2^2 , а останній SOM^M – M нейронів з вагами-центроїдами $w_1^M, w_2^M, \dots, w_M^M$.

В процесі роботи ансамблю всі SOM^m функціонують паралельно, а в якості фінального результату обирається кластерувальна мережа-переможець, яка показала найкращий результат у сенсі застосовуваного критерію якості кластеризації [2, 16].

Відзначимо, що подібно до того, як в кожній з SOM^m на кожному кроці обробки інформації k обирається свій нейрон-переможець, так і в ансамблі на кожному кроці обирається нейронна мережа-переможець, яка забезпечує найкращий результат кластеризації.

Суттєвим обмеженням, що знижує можливості подібного підходу, є вимога лінійної роздільності і опуклості формованих кластерів, в той час як реальні дані можуть утворювати класи абсолютно довільної форми. У подібних ситуаціях дуже корисним може виявитися використання теореми Ковера (Т. Cover) про лінійну роздільність в просторах ознак підвищеної розмірності [17] і ядр Мерсера (J. Mercer) [18], що забезпечують це підвищення. На основі такого підходу були розроблені, так звані, ядерні самоорганізовані мапи (KSOM) [19,20], які показали гарні результати в умовах класів досить довільної форми при відомій їх

кількості m і в умовах фіксованого обсягу оброблюваної вибірки N .

У зв'язку з цим є доцільною розробка ансамблю ядерних кластерувальних нейронних мереж, призначеного для online обробки потоків даних в умовах невідомої або змінної кількості класів.

Архітектура ансамблю ядерних кластерувальних нейронних мереж

На рис. 1 наведена архітектура ансамблю ядерних кластерувальних нейронних мереж, яка містить п'ять шарів обробки інформації.

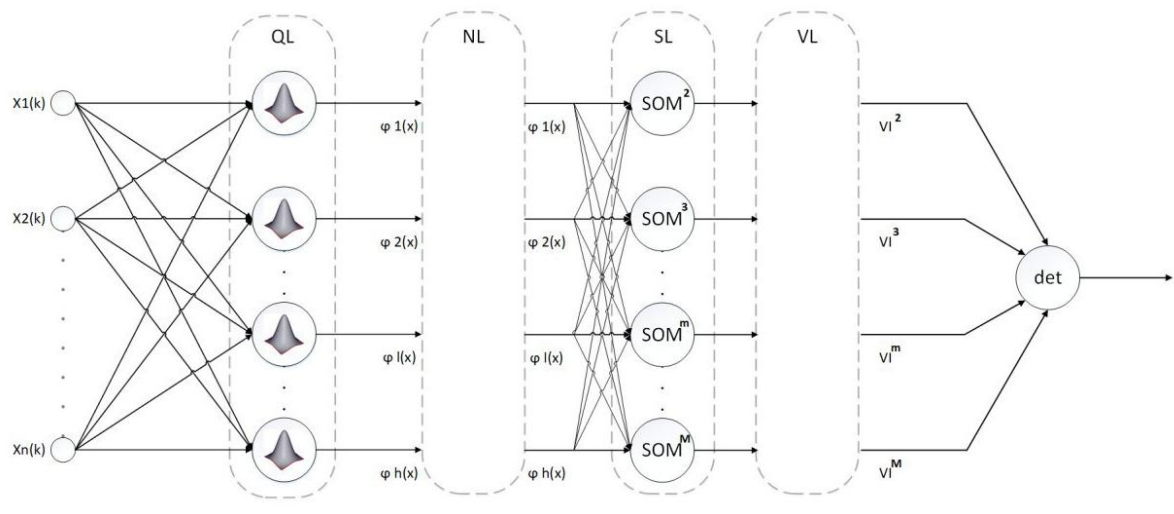


Рис. 1. Архітектура ансамблю ядерних кластерувальних нейронних мереж

Вихідна інформація, яка підлягає кластеруванню, подається на нульовий (вхідний) шар системи у вигляді послідовності $x(1), x(2), \dots, x(k), \dots, x(N), \dots$, звідки надходить на перший прихований шар (RL) радіально-базисних функцій, утворений R -нейронами. Саме в цьому шарі відбувається підвищення розмірності вхідного простору за допомогою системи ядерних функцій $\varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots, \varphi_l(x), \dots, \varphi_h(x)$, $h > n$, в якості яких використовуються або традиційні гауссіани, або інші дзвонуваті функції, наприклад,

$$\varphi_l(x) = \left(1 + \frac{\|x - c_l\|^2}{\gamma_\varphi} \right)^{-1} = \frac{\gamma_\varphi}{\gamma_\varphi + \|x - c_l\|^2},$$

де $c_l - (n \times 1)$ – вектор, що задає "центр" радіально-базисної функції $\varphi_l(x)$, γ_φ – скалярний параметр, що визначає область рецепторного поля – "ширину" цієї функції.

Таким чином, при надходженні на вхід системи векторного сигналу $x(k) = (x_1(k), \dots, x_n(k))^T \in R^n$, на виході першого прихованого шару RL формується векторний сигнал $\varphi(x(k)) = (\varphi_1(x(k)), \dots, \varphi_l(x(k)), \dots, \varphi_h(x(k)))^T \in R^h$, $h > n$.

Другий прихований шар NL реалізує елементарну операцію нормалізації сигналу $\varphi(x(k))$

виду $\tilde{\varphi}(x(k)) = \frac{\varphi(x(k))}{\|\varphi(x(k))\|}$ необхідну для ефективної роботи третього прихованого шару SL, утвореного $(M-1)$ самоорганізованими мапами Кохонена SOM^m , кожна з яких працює в припущенні, що в оброблюваній вибірці даних міститься m класів.

Якість кластеризації, що забезпечується кожною SOM^m , оцінюється за допомогою того чи іншого індексу валідації [2] в четвертому прихованому шарі VL, де обчислюються відповідні індекси $VI^2, VI^3, \dots, VI^m, \dots, VI^M$ для кожного з можливих $m = 2, 3, \dots, M$.

І, нарешті, у вихідному шарі, що містить єдиний вузол - детектор оптимуму, визначається конкретна SOM^{m^*} , що забезпечує найкращу якість кластеризації, при цьому вважається, що в аналізованому масиві даних міститься m^* кластерів.

Самонавчання ядерної кластерувальної системи на основі ансамблю нейронних мереж

Процес самонавчання даної системи реалізується на рівні першого шару RL, де налаштовуються центри c_l , $l = 1, 2, \dots, h$ ядерних функцій $\varphi_l(x)$, і третього прихованого шару SL, де уточнюються синаптичні

ваги w_j^m , $m = 2, 3, \dots, M$, $j = 1, 2, \dots, m$ кожної нейронної мережі SOM^m ансамблю.

Розглянемо спочатку процес налаштування центрів ядерних функцій, що складається з послідовності наступних кроків [21]:

Крок 0: задати порогове значення Δ , що визначає рівень нерозрізненості двох сусідніх ядерних функцій, максимально можливу кількість цих функцій h і параметр рецепторного поля γ_ϕ .

Крок 1: при подаванні на вхід системи першого вектора – спостереження $x(1)$ формується перший центр c_1 і перша радіально-базисна функція

$$\phi_1(x) = \frac{\gamma_\phi}{\gamma_\phi + \|x - c_1\|^2},$$

де $c_1 = x(1)$.

Крок 2: при подаванні на вхід системи другого спостереження $x(2)$ перевіряється нерівність

$$\|x(2) - c_1\| \leq \Delta$$

і якщо вона виконується, то $x(2)$ не формує новий центр, якщо ж виконується умова

$$\Delta < \|x(2) - c_1\| \leq 2\Delta, \quad (1)$$

то c_1 коригується відповідно до правила самонавчання Т. Кохонена "Переможець отримує все" [10]:

$$c_1(2) = c_1(1) + \eta(2)(x(2) - c_1(1)), \quad (2)$$

де $c_1(1) = x(1)$, $0 < \eta(2) < 1$ – параметр кроку навчання.

Якщо ж виконується умова

$$2\Delta < \|x(2) - c_1\|,$$

то формується нова ядерна функція

$$\phi_2(x) = \frac{\gamma_\phi}{\gamma_\phi + \|x - c_2\|^2} = \frac{\gamma_\phi}{\gamma_\phi + \|x - x(2)\|^2}.$$

Цей процес реалізується при надходженні кожного нового спостереження $x(k)$. Якщо ж на кроці N буде сформовано h радіально-базисних функцій, то в подальшому їх кількість не збільшується, а уточнення вже сформованих центрів c_l , $l = 1, 2, \dots, h$ може проводитися тільки згідно з умовою (1) і правилом самонавчання (2).

Процес налаштування третього прихованого шару також складається з трьох етапів [10]: конкуренції, кооперації і синаптичної адаптації і реалізується для кожної SOM^m ансамблю, при цьому

вектори синаптичних ваг w_j^m описують h -вимірні центроїди формованих кластерів.

На етапі конкуренції сигнал c виходу другого прихованого шару $NL \phi(x(k)) \in R^h$ надходить на входи всіх SOM^m , де порівнюється з кожним з векторів синаптичних ваг $w_j^m(k-1)$ в сенсі відстані

$$D(\phi(x(k)), w_j^m(k-1)) = \|\phi(x(k)) - w_j^m(k-1)\|, \quad (3)$$

$j = 1, 2, \dots, m$; $m = 2, 3, \dots, M$. Оскільки $\|\phi(x(k))\| = 1$, то замість евклідової метрики (3) набагато простіше використовувати косинусну міру подібності

$$\text{sim}(\tilde{\phi}(x(k)), w_j^m(k-1)) = \tilde{\phi}^T(x(k))w_j^m(k-1),$$

за допомогою якої для кожної SOM^m визначається свій нейрон-переможець, для якого

$$\tilde{\phi}^T(x(k))w_j^{m*}(k-1) = \max_j \tilde{\phi}^T(x(k))w_j^m(k-1).$$

На етапі кооперації все $M-1$ нейронів-переможців ансамблю формують області топологічного сусідства, в яких налаштовуються не тільки ці переможці, а й їхні найближчі сусіди. Ця область описується функціями сусідства $\phi(j, l)$, в якості яких можуть бути використані ядерні функції аналогічні радіально-базисним функціям першого прихованого шару:

$$\phi(j, l) = \frac{\gamma}{\gamma + \|w_l^m(k-1) - w_j^{m*}(k-1)\|^2}.$$

На етапі синаптичної адаптації відбувається уточнення синаптичних ваг-центроїдів кожної з SOM^m за допомогою правила самонавчання Т. Кохонена "Переможець отримує більше":

$$w_l^m(k) = w_l^m(k-1) + \eta(k)\phi(j, l)(\phi(x(k)) - w_l^m(k-1)). \quad (4)$$

Нескладно бачити, що для переможця w_j^{m*} (4) збігається з правилом навчання (2). Необхідно зауважити, що в правилі самонавчання (4) параметри кроку $\eta(k)$ і γ обираються, як правило, виходячи з емпіричних міркувань і повинні монотонно зменшуватися в процесі налаштування.

Цей процес зручно організувати за допомогою системи співвідношень:

$$\begin{cases} \eta(k) = r^{-1}(k); & r(k) = \alpha r(k-1) + \|\tilde{\phi}(x(k))\|^2 = \alpha r(k-1) + 1, \\ \gamma(k) = \eta(k)\gamma(k-1), & 0 < \alpha \leq 1, \end{cases}$$

які при $\alpha = 1$ автоматично перетворюються в процедуру стохастичної апроксимації.

Нескладно помітити, що перший і третій шари системи фактично навчаються згідно однотипним процедурам типу WTA і WTM [10].

Налаштування четвертого прихованого шару

У четвертому прихованому шарі системи проводиться оцінка якості кластеризації за допомогою того чи іншого індексу валідації VI^m [1], при цьому

$$DB(m) = \sum_{j=1}^m \max_{\substack{1 \leq q \leq m \\ q \neq j}} \frac{s(w_j^m(k), u_j(k), \tilde{\varphi}(x(k)) - s(w_q^m(k), u_q(k), \tilde{\varphi}(x(k))))}{D(w_j^m(k), w_q^m(k))},$$

де $D(w_j^m(k), w_q^m(k))$ – відстань між центроїдами:
 $D(w_j^m(k), w_q^m(k)) = \|w_j^m(k) - w_q^m(k)\|,$

цей індекс розраховується для кожної з мап Кохонена SOM^m , $m = 2, 3, \dots, M$. В якості такого індексу зручно використовувати критерій Девіса-Булдена (Davies DL, Bouldin DW) [22], за допомогою якого можна оцінювати якість кластеризації навіть у разі несферичних класів. Для випадку m кластерів цей індекс може бути записаний у вигляді

$s(w_j^m(k), u_j(k), \tilde{\varphi}(x(k)))$ – характеристики внутрішньокластерного розсіювання для j -го кластеру:

$$s(w_j^m(k), u_j(k), \tilde{\varphi}(x(k))) = \left(\frac{\sum_{k=1}^N u_j(k) \|\tilde{\varphi}(x(k)) - w_j^m(k)\|^2}{\sum_{k=1}^N u_j(k)} \right)^{\frac{1}{2}},$$

$u_j(k)$ – чітка функція належності вектора $\tilde{\varphi}(x(k))$ до j -го кластеру вигляду:

$$u_j(k) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \tilde{\varphi}(x(k)) \text{ віднесено до } j\text{-го кластеру,} \\ 0 & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

В якості оптимальної кількості кластерів m^* обирається значення, що забезпечує мінімум $DB(m)$, тобто $DB(m^*) = \min_m \{DB(2), DB(3), \dots, DB(M)\},$

який розраховується у вихідному шарі.

При обробці нестационарних даних, що надходять в online режимі, індекс $DB(m)$ доцільно модифікувати для роботи в режимі "ковзного вікна" розмірності $1 < s < N$. При цьому модифікації піддаються тільки характеристика міжкластерної відстані, які розраховуються на "ковзному вікні" за допомогою виразу

$$s(w_j^m(k), u_j(k), \tilde{\varphi}(x(k)), s) = \left(\frac{\sum_{\tau=k-s+1}^k u_j(\tau) \|\tilde{\varphi}(x(\tau)) - w_j^m(k)\|^2}{\sum_{\tau=k-s+1}^k u_j(\tau)} \right)^{\frac{1}{2}};$$

при цьому передбачається, що обсяг вибірки N необмежений, а зростає з плином часу $k = 1, 2, \dots, N, N+1, \dots$

методу була порівняна з відомим алгоритмом K-means та наведена у таблиці 1.

Результати моделювання

Ми випробували запропонований метод із двома різними навчальними наборами даних. Перший набір даних штучно створено так, що він містить 3 кластери, 300 спостережень, кожне спостереження має 3 функції. Другий набір даних "Ірис" взято з UCI-репозиторію [24]. Цей набір даних складається з 150 спостережень, які поділяються на 3 класи, де кожне спостереження має 3 випадкові функції. Кластери чітко видно в штучному створеному наборі даних і показані на рисунку 2.

Обчислювальна точність запропонованого

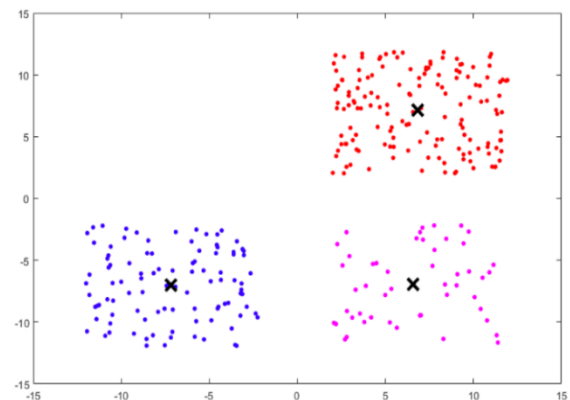


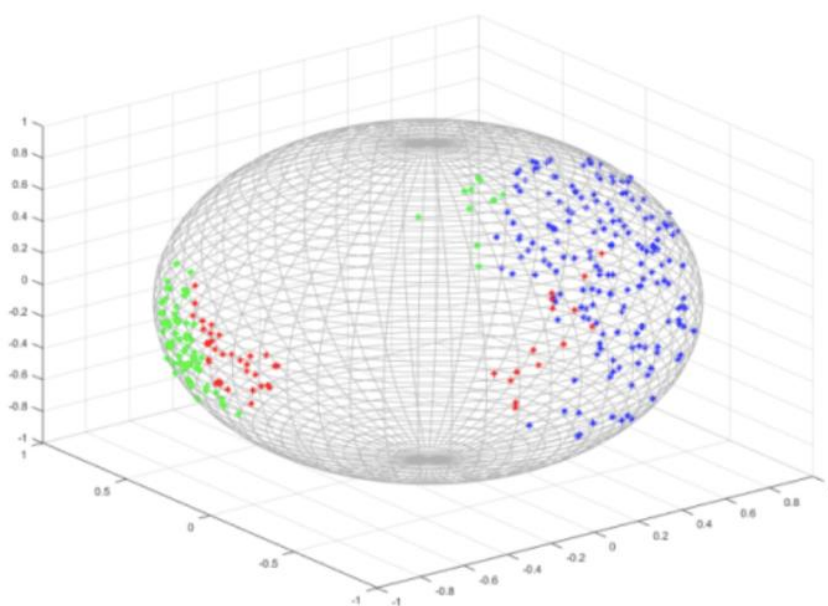
Рис. 2. Штучно згенерований набір даних

Таблиця 1. Результати кластерування для різної кількості кластерів

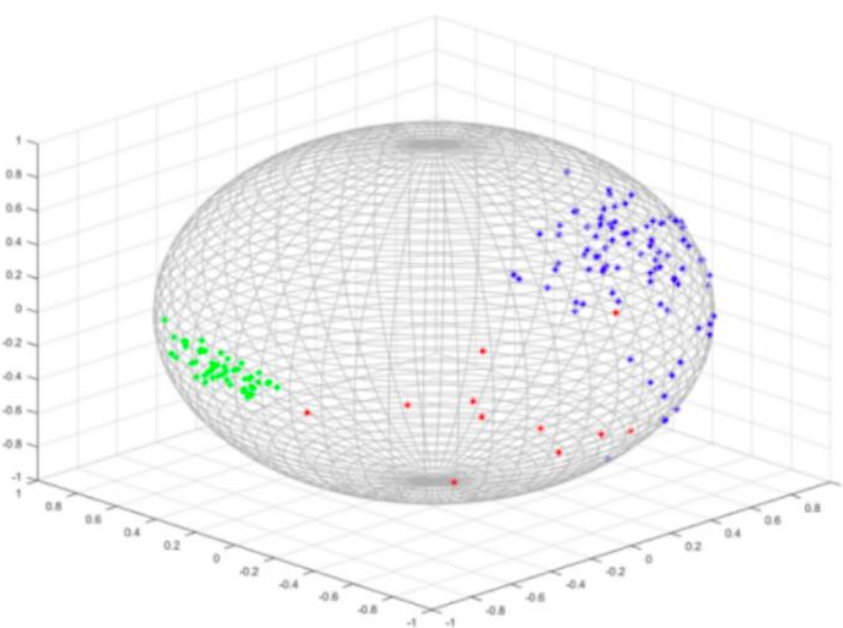
	SOM ^m	k-means
Штучно згенерований набір даних		
точність кластеризації для 2-х кластерів	0,71	0,70
точність кластеризації для 3-х кластерів	0,89	0,76
точність кластеризації для 4-х кластерів	0,68	0,67
"Іриси Фішера"		
точність кластеризації для 2-х кластерів	0,84	0,83
точність кластеризації для 3-х кластерів	0,91	0,87
точність кластеризації для 4-х кластерів	0,72	0,73

Для візуалізації взяті набори даних проектували за допомогою методу PCA (аналіз основних компонент) на три основні компоненти.

Результати роботи ансамблю нечіткої кластерування потоків даних наведено на рисунку 3.



а) Штучно згенерований набір даних



б) "Іриси Фішера"

Рис. 3. Результати візуалізації запропонованого ансамблю

Висновки

У статті пропонується нейромережевий підхід до задачі кластеризації потоків даних, які в online режимі надходять на обробку, в припущенні, що заздалегідь невідомі кількість кластерів та їх форма. В основі підходу лежить ідея ядерної кластеризації та

ансамблю нейронних мереж, елементами якого є самоорганізовані мапи Т. Кохонена. Запропонована система характеризується простотою чисельної реалізації, високою швидкістю і може бути використана для вирішення широкого класу задач обробки потоків даних в умовах апріорної невизначеності про їх властивості.

Список літератури

1. Gan G., Ma Ch., Wu J. *Data Clustering: Theory, Algorithms and Applications*. Philadelphia : SIAM, 2007.
2. Xu R., Wunsch D. C. *Clustering*. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc., 2009. IEEE Press Series on Computational Intelligence.
3. Aggarwal C. C., Reddy C. K. *Data Clustering. Algorithms and Application*. Boca Raton : CRC Press, 2014.
4. Pelleg D., Moor A. X-means: extending K-means with efficient estimation of the number of clusters. In: *Proc. 17th Int. Conf. on Machine Learning*. San Francisco : Morgan Kaufmann, 2000. P. 727–730.
5. Ishioka T. An expansion of X-means for automatically determining the optimal number of clusters. In: *Proc. 4th IASTED Int. Conf. Computational Intelligence*. Calgary, Canada : Proceedings of International Conference on Computational Intelligence, 2005. P. 91–96.
6. Rutkowski L. *Computational Intelligence. Methods and Techniques*. Berlin-Heidelberg : Springer-Verlag, 2008.
7. Mumford C., Jain L. *Computational Intelligence. Collaboration, Fuzzy and Emergence*. Berlin : Springer-Vergal, 2009.
8. Kruse R., Borgelt C., Klawonn F., Moewes C., Steinbrecher M., Held P. *Computational Intelligence. A Methodological Introduction*. Berlin : Springer, 2013.
9. Du K. L., Swamy M. N. S. *Neural Networks and Statistical Learning*. London : Springer-Verlag, 2014.
10. Kohonen T. *Self-Organizing Map*. Berlin : Springer-Verlag, 1995.
11. Strehl A., Ghosh J. Cluster ensembles – A knowledge reuse framework for combining multiple partitions. *Journal of Machine Learning Research*. 2002. P. 583–617.
12. Topchy A., Jain A. K., Punch W. Clustering ensembles: models of consensus and weak partitions. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2005.No. 27. P. 1866–1881.
13. Alizadeh H., Minaei-Bidgoli B., Parvin H. To improve the quality of cluster ensembles by selecting a subset of base clusters. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*. 2013. No. 26. P. 127–150.
14. Charkhabi M., Dhot T., Mojarad S. A. Cluster ensembles, majority vote, voter eligibility and privileged voters. *Int. Journal of Machine Learning and Computing*. 2014. No. 4. P. 275–278.
15. Bodyanskiy Ye. V., Deineko A. A., Zhernova P. Ye., Riepin V. O. Adaptive modification of X-means method based on the ensemble of the T. Kohonen's clustering neural networks. Odessa : Materials of the VI Int. Sci. Conf. "Information Managements Systems and Technologies", 2017. P. 202–204.
16. Bezdek J. C., Keller J., Krishnapuram R., Pal N. *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing. The Handbook of Fuzzy Sets*. Dordrecht, Netherlands : Springer, 1999. Vol. 4.
17. Cover T. M. Geometrical and statistical properties of systems of linear inequalities with applications in pattern recognition. *IEEE Trans. on Electronic Computers*. 1965. No. 14. P. 326–334.
18. Girolami M. Mercer kernel-based clustering in feature space. *IEEE Trans. on Neural Networks*. 2002. No. 3. Vol. 13. P. 780–784.
19. MacDonald D., Fyfe C. Clustering in data space and feature space. Belgium : ESANN'2002 Proc. European Symp. on Artificial Neural Networks. Bruges (24-26 April 2002), 2002. P. 137–142.
20. Camastra F., Verri A. A novel kernel method for clustering. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2005. No. 5. P. 801–805.
21. Bodyanskiy Ye. V., Deineko A. A., Kutsenko Y. V. On-line kernel clustering based on the general regression neural network and T. Kohonen's self-organizing map. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2017. No. 51. P. 55–62.
22. Davies D. L., Bouldin D. W. A Cluster Separation Measure. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1979. No. 4. P. 224–227.
23. Murphy P. M., Aha D. UCI Repository of machine learning databases. Department of Information and Computer Science, CA : University of California, 1994. URL : <http://www.ics.uci.edu/mllearn/MLRepository.html>.

References

1. Gan, G., Ma, Ch., Wu, J. (2007), *Data Clustering: Theory, Algorithms and Applications*, Philadelphia : SIAM.
2. Xu, R., Wunsch, D. C. (2009), *Clustering*, Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc., IEEE Press Series on Computational Intelligence.
3. Aggarwal, C. C., Reddy, C. K. (2014), *Data Clustering, Algorithms and Application*, Boca Raton : CRC Press.
4. Pelleg, D., Moor, A. (2000), "X-means: extending K-means with efficient estimation of the number of clusters", In: *Proc. 17th Int. Conf. on Machine Learning*, Morgan Kaufmann, San Francisco, P.727–730.
5. Ishioka, T. (2005), "An expansion of X-means for automatically determining the optimal number of clusters", In: *Proc. 4th IASTED Int. Conf. Computational Intelligence*, Calgary, Alberta, P. 91–96.
6. Rutkowski, L. (2008), *Computational Intelligence. Methods and Techniques*, Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
7. Mumford, C. and Jain, L. (2009), *Computational Intelligence. Collaboration, Fuzzy and Emergence*, Berlin : Springer-Vergal.
8. Kruse, R., Borgelt, C., Klawonn, F., Moewes, C., Steinbrecher, M. and Held, P. (2013), *Computational Intelligence. A Methodological Introduction*, Berlin : Springer.
9. Du, K. L. and Swamy, M. N. S. (2014), *Neural Networks and Statistical Learning*, London : Springer-Verlag.
10. Kohonen, T. (1995), *Self-Organizing Maps*, Berlin : Springer-Verlag.
11. Strehl, A., Ghosh, J. (2002), "Cluster ensembles – A knowledge reuse framework for combining multiple partitions", *Journal of Machine Learning Research*, P. 583–617.

12. Topchy, A., Jain, A. K., Punch, W. (2005), "Clustering ensembles: models of consensus and weak partitions", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, No. 27, P. 1866–1881.
13. Alizadeh, H., Minaei-Bidgoli, B., Parvin, H. (2013), "To improve the quality of cluster ensembles by selecting a subset of base clusters", *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, No. 26, P. 127–150.
14. Charkhabi M., Dhot T., Mojarad S. A. (2014), "Cluster ensembles, majority vote, voter eligibility and privileged voters", *Int. Journal of Machine Learning and Computing*, No. 4, P. 275–278.
15. Bodyanskiy, Ye. V., Deineko, A. A., Zhernova, P. Ye., Riepin, V. O. (2017), "Adaptive modification of X-means method based on the ensemble of the T. Kohonen's clustering neural networks", *Materials of the VI Int. Sci. Conf. "Information Managements Systems and Technologies"*, Odessa, P. 202–204.
16. Bezdek, J. C., Keller, J., Krishnapuram, R., Pal N. (1999), *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing*, The Handbook of Fuzzy Sets, Kluwer, Dordrecht, Netherlands : Springer, Vol. 4.
17. Cover, T. M. (1956), "Geometrical and statistical properties of systems of linear inequalities with applications in pattern recognition", *IEEE Trans. on Electronic Computers*, No. 14, P. 326–334.
18. Girolami, M. (2002), "Mercer kernel-based clustering in feature space", *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 13, No. 3, P. 780–784.
19. MacDonald, D., Fyfe, C. (2002), "Clustering in data space and feature space", *ESANN'2002 Proc. European Symp. on Artificial Neural Networks*, Bruges (Belgium), P. 137–142.
20. Camastra, F., Verri, A. (2005), "A novel kernel method for clustering," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, No. 5, P. 801–805.
21. Bodyanskiy, Ye. V., Deineko, A. A., Kutsenko, Y. V., "On-line kernel clustering based on the general regression neural network and T. Kohonen's self-organizing map", *Automatic Control and Computer Sciences*, No. 51 (1), P. 55–62.
22. Davies, D. L., Bouldin, D. W. (1979), "A Cluster Separation Measure", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, No. 4, P. 224–227.
23. Murphy, P. M., Aha, D. (1994), *UCI Repository of machine learning databases*, available at : <http://www.ics.uci.edu/mllearn/MLRepository.html>, Department of Information and Computer Science, CA : University of California.

Надійшла (Received) 26.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Жернова Поліна Євгенівна – Харківський національний університет радіоелектроніки, асистент кафедри системотехніки, Харків, Україна, e-mail: polina.zhernova@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2154-4766>.

Жернова Полина Евгеньевна – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, ассистент кафедры системотехники, Харьков, Украина.

Zhernova Polina – Kharkiv National University of Radio Electronics, Assistant Lecturer at the Department of System Engineering, Kharkiv, Ukraine.

Бодянський Євгеній Володимирович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри штучного інтелекту, науковий керівник ПНДІ АСУ, Харків, Україна, e-mail: yevgeniy.bodyanskiy@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5418-2143>.

Бодянский Евгений Владимирович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры искусственного интеллекта, научный руководитель ПНДІ АСУ, Харьков, Украина.

Bodyanskiy Yevgeniy – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor at the Department of Artificial Intelligence, Scientific Head at the CSRL, Kharkiv, Ukraine.

ЯДЕРНАЯ НЕЧЕТКАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПОТОКОВ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Предметом исследования в статье является кластеризация данных на основе ансамбля нейронных сетей. **Цель работы** – создание нового подхода в задачах кластеризации потоков данных, когда информация поступает в online режиме наблюдения за наблюдением. В статье решаются следующие **задачи**: формирование модели ансамблей нейронных сетей для кластеризации данных, разработка методов кластеризации данных при работе с данными больших размерностей, разработка методов онлайн кластеризации данных с использованием ансамблей нейронных сетей, работающих в параллельном режиме. Получены следующие **результаты**: сформулированы принципы работы ансамблей нейронных сетей Т. Кохонена, и определены практические требования для работы с данными большой размерности. Показаны возможные подходы для решения перечисленных задач. Исследован принцип работы ансамбля параллельно настроенных кластеризующих сетей Т. Кохонена. Для обучения слоев ансамбля нейронных сетей использовались процедуры, работающие по принципу WTA и WTM. Были использованы радиально-базисные функции для повышения размерностей входного пространства. Разработана математическая модель для решения задачи кластеризации данных в online режиме. Разработана математическая модель для определения качества кластеризации с использованием индекса Дэвиса-Булдена, который был переформулирован для online режима. **Выводы**: В работе предложен новый подход к задаче кластеризации потоков данных, когда информация поступает в online режиме наблюдения за наблюдением при условии, что количество и форма кластеров заранее неизвестны. Основная идея этого подхода базируется на ансамбле нейронных сетей, который состоит из самоорганизующихся карт Кохонена. Все члены ансамбля обрабатывают информацию, которая последовательно подается в систему в параллельном режиме. Экспериментальные результаты

подтвердили тот факт, что рассматриваемая система может быть использована для решения широкого круга задач Data Stream Mining.

Ключевые слова: кластеризация; метод X-средних; самоорганизующаяся карта Кохонена; ансамбль нейронных сетей; самообучение.

KERNEL FUZZY CLUSTERING OF DATA streams BASED ON THE ENSEMBLE OF NEURAL NETWORKS

The **subject matter** of the study is data clustering based on the ensemble of neural networks. The **goal** of the work is to create a new approach to solving the tasks of clustering in data streams when information is fed observation-by-observation in online mode. The following **tasks** were solved in the article: the model of neural network ensembles for data clustering was created, the methods of data clustering to process mass data were developed, the methods of online data clustering of data using neural network ensembles working in the parallel mode were developed. The following **results** were obtained: the operation principles of the ensembles of the Kohonen neural network were formulated and practical requirements for dealing with mass data were specified. The probable approaches to solving these problems were indicated. The operation principle of the ensemble of parallel tuned Kohonen clustering networks was studied. The procedures based on the WTA and WTM principles were used to train layers of the neural network ensemble. Radial basis functions were used to increase the dimension of the input space. The mathematical model was developed for solving the problem of data clustering in online mode. The mathematical model was developed to determine the quality of clustering using the Davies-Bouldin index, which was rewritten for online mode. **Conclusions.** The paper proposes a new approach to solving the problem of clustering data streams when information is fed observation-by-observation in online mode, provided that the number and shape of clusters are unknown in advance. The main idea of this approach is based on the ensemble of neural networks, which consists of Kohonen self-organizing maps. All members of the ensemble process information that is sequentially fed into the system in parallel mode. Experimental results confirmed the fact that the considered system can be used to solve a wide range of Data Stream Mining tasks.

Keywords: clustering; X-means method; Kohonen self-organizing map; neural network ensemble; self-learning.

А. Я. Кузишин, А. В. Батіг

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ЩОДО РОЗРАХУНКУ КРИТЕРІЇВ БЕЗПЕКИ РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Предметом дослідження даної роботи є методи визначення параметрів безпеки від сходу колеса з рейки. **Об'єктом** дослідження є взаємодія колії та рухомого складу. **Метою** даної роботи є дослідження підходів, які застосовують вітчизняні та закордонні вчені, при оцінці безпеки від сходу колеса з рейки. Проаналізувати аналітичні умови вкочування гребеня колеса на головку рейки, які є критеріями безпеки від сходу колеса з рейки при виконанні залізнично-транспортних експертиз. **Методами** дослідження, які використовуються у даній роботі, є: системний, логічний та історичний підходи; аналізу і синтезу, індукції та дедукції; моделювання. **Задачі** статті полягають у такому: здійснити аналіз методів визначення критеріїв безпеки від сходу колеса з рейки; оцінити важливість всіх методів та підходів, виявити їх недоліки і переваги, зробити рекомендації щодо удосконалення методу оцінки стійкості рейкових екіпажів на залізницях України. **Результати.** Проаналізовані праці вітчизняних та закордонних вчених, які присвячені питанню оцінки безпеки від сходу колеса з рейки. Встановлено, що для наближення результатів математичного моделювання рухомого складу до реальних умов експлуатації задачу сходу колісної пари з рейкової колії слід виконувати з використанням динамічних рівнянь просторових коливань. Було запропоновано при визначенні оцінки безпеки від сходу колеса з рейки враховувати аналітичні умови вкочування гребеня колеса на головку рейки, які були запропоновані д. т. н. Соколом Е.М. при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз. **Висновки.** Більшість розглянутих методик оцінюють імовірність сходу по одній колісній парі, не враховуючи впливу інших колісних пар, що може призвести до хибних результатів. Встановлено, що для наближення результатів теоретичних розрахунків до експериментальних даних, задачу сходу колеса з рейки слід розв'язувати з використанням рівнянь просторових коливань вагона.

Ключові слова: схід колеса; колісна пара; гребень колеса; залізнично-транспортна експертиза; безпека руху.

Вступ

Здатність залізничного транспорту забезпечувати захист життя пасажирів, збереження вантажів і довкілля в процесі його експлуатації в цілому визначає його розвиток і досягнення ним провідних позицій на ринку перевезень. Найважливішою проблемою на залізничному транспорті є забезпечення безпеки руху рейкових екіпажів, як на етапі проектування, так і в процесі їх експлуатації. При цьому запобігання аваріям і сходам являється першочерговим завданням. Слід зазначити, що рівень безпечної експлуатації рухомого складу на залізницях визначається, в головній мірі, наявністю запасу стійкості рейкового екіпажу. Тому вивченню питання про схід рейкових екіпажів із залізничної колії надається велике значення в багатьох експериментальних і теоретичних дослідженнях.

Виклад основного матеріалу

В теорії Надаля вихідним положенням колеса вважається таке, при якому його поверхня кочення піднялась над головкою рейки, і контактує з рейкою тільки в точці, яка розташована на кінцевій частині гребеня. Прийнято, що схід колеса з рейки не відбудеться, якщо співвідношення прикладених до колеса сил – горизонтальної поперечної Y і вертикальної Q (при дії максимальної сили сухого тертя $T = \mu N$) буде таким, що гребінь відносно рейки буде ковзати вниз (рис. 1).

Зазначена вище умова виражається наступною нерівністю:

$$Q \sin \beta > Y \cos \beta + \mu (Q \cos \beta + Y \sin \beta), \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт тертя; N – вертикальна сила від дії колеса на головку рейки; β – кут нахилу твірної гребеня до горизонталі.

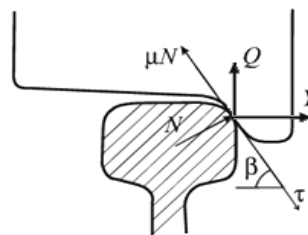


Рис. 1. Сили, що діють в точці контакту при ковзанні гребеня вниз відносно головки рейки

Із формули (1) випливає, що:

$$\frac{Y}{Q} < \frac{\tan \beta - \mu}{1 + \mu \tan \beta}. \quad (2)$$

Нерівність (2) визначає область значень відношення Y/Q , при яких не відбувається вкочування гребеня колеса на головку рейки.

У задачі Надаля розглядається окремо взяте колесо і не береться до уваги, що в процесі сходу колісна пара котиться по рейках, а не просто видавлюється із колії. Також передбачається, що всі діючі на колесо сили проходять через одну точку, хоча в дійсності це не так. Тому врахування сил взаємодії другого (ненабігаючого) колеса з рейкою призводить

до модифікації умови сходу колеса з рейки.

При додатному куті набігання α необхідно ввести поправку, прийнявши до уваги коефіцієнт тертя ковзання для ненабігаючого колеса і рейки.

При цьому формула (2) прийме наступний вигляд:

$$\frac{Y}{Q} < \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \beta} - \frac{Q'}{Q} \cdot \mu', \quad (3)$$

де Q' – навантаження на рейку від ненабігаючого колеса; μ' – відповідний коефіцієнт тертя ковзання.

Випадки сходу при від'ємному куті набігання відбуваються частіше з колесами другої колісної пари візка, особливо під час руху у кривих ділянках колії. Умову сходу колеса з рейки в цьому випадку можна отримати, помінявши у виразі (3) знаки μ і μ' .

Слід зазначити, що коли кут набігання дорівнює нулю, то нерівність (3) приймає вигляд:

$$\frac{Y}{Q} < \operatorname{tg} \beta. \quad (4)$$

Однак дана формула виведена без урахування обертання колеса і тертя реборди об головку рейки, а тому сила тертя повністю використана на переміщення колеса по лінії ковзання.

Подальший розвиток теорії безпеки від сходу колеса з рейки був наведений у роботі [1]. У даній роботі був запропонований метод оцінки стійкості руху проти сходу колеса з рейок за уточненою формулою, яка визначає критичну величину відношення горизонтальної рамної сили і вертикальної сили при даному розподілі вертикальних навантажень на осі однієї і тієї ж колісної пари. Наведена в цих роботах уточнена умова знайшла широке застосування в експериментальних роботах по визначенню гранично допустимих швидкостей руху нових і модернізованих одиниць рухомого складу.

$$\frac{Y_p}{P_1} \leq \frac{P_2}{P_1} \cdot k_1 - k_2 + k_3 \cdot \frac{K}{P_1}, \quad (5)$$

де Y_p – рамна сила; P_1, P_2 – сили, що діють на колісні пари від надресорної будови екіпажу; K – половина ваги колісної пари; I_1, I_2 – вертикальні сили інерції колісної пари (рис. 3).

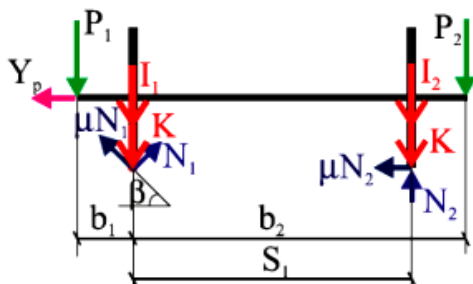


Рис. 3. Схема сил прикладених до колісної пари

Слід зауважити, що це відношення залежить не тільки від μ і β але й ще від величини відношень $\frac{P_2}{P_1}$, $\frac{I_2}{I_1}$, $\frac{I_1}{P_1}$ і $\frac{K}{P_1}$. Найбільш небезпечним, як відмічають автори являється випадок коли відношення $\frac{P_2}{P_1}$ є максимальним.

В роботі [2] формулюється енергетичне трактування вкочування колеса на головку рейки. На думку авторів, це можливо тоді, коли кінетична енергія руху, яка припадає на колісну пару, перевершує ту роботу сил, що виникають в контакті поверхонь гребеня і колеса, яку вони здійснюють при підйомі на висоту гребеня. На думку авторів, запропонована схема оцінки запасу стійкості враховує вплив основних факторів, що спричиняють виникнення аварійного стану.

В роботі [3] автори розробили уточнений метод, де на кожному кроці інтегрування в процесі комп'ютерного моделювання руху рухомого складу відбувається процедура порівняльної оцінки значень трьох коефіцієнтів запасу стійкості, що розраховуються за формулою Мар'є $k_{\text{ст. Мар'є}}$, по тиску в плямі контакту $k_{\text{ст.т}}$ і по енергетичному співвідношенню $k_{\text{ст.ен}}$. Після цього вибирається мінімальне значення коефіцієнта стійкості, фіксується його значення і виводиться на графік в якості підсумкового значення у вигляді комбінованого коефіцієнта.

В роботі [4] пропонується метод оцінки достатньої умови стійкості колеса на рейці з урахуванням ймовірного характеру сил, що діють в точці контакті, а також кута набігання колеса на рейку.

Представлена у даній роботі оцінка є достатньою, але не необхідною умовою стійкості колеса на рейці, при виконанні якої ймовірність стійкості буде задалегідь забезпечуватися.

Автор роботи [5] зазначає, що існує декілька критеріїв оцінки стійкості рухомого складу проти сходу колеса з рейок: по зрушенню рейко-шпальної решітки, по вкочуванню гребеня колеса на головку рейки, по опрокидуванню екіпажу, по руйнуванню рейко-шпальної решітки та по руйнуванню рейкової колії.

Практика показує, що зрушення рейко-шпальної решітки не відбувається, якщо відношення рамної сили, що діє на колісну пару екіпажу, до вертикального навантаження на колесо менше 0,4 [6]. При цьому автор пропонує для практичних цілей створити узагальнений критерій стійкості рухомого складу проти сходу колеса з рейок, що відображає допустимий рівень динамічної взаємодії між колесом і рейкою.

В роботі [7] авторами обговорюються деякі логічні суперечності, які стосуються критеріїв вкочування колеса на головку рейки.

Вони вважають, що при логічному підході значення Y/Q мають визначатися з фактичних геометричних умов сходу колеса з рейки, встановлених в результаті вирішення трьохвимірної нелінійної задачі кочення колеса по рейці. Наприклад, можна вважати, що граничним являється стан системи, коли контакт між гребенем і рейкою відбувається в крайній точці прямолінійної ділянки профілю гребеня колеса.

При цьому задаючи певний коефіцієнт запасу, перейти до визначення відповідного співвідношення Y/Q .

Численні дослідження щодо проблем безпеки руху були проведені науково-дослідним інститутом залізничного транспорту японських національних залізниць при створенні рухомого складу для нової лінії Токайдо. Серед численних випробувань особлива увага приділялася питанням сходу вагона з рейок.

В роботі [8] порівнюються північноамериканський, британський і європейський підходи щодо оцінки безпеки руху. Автори приходять до висновку, що британські та європейські критерії містять граничні значення сил, які передаються від екіпажу на колію. Північноамериканський підхід не обмежує максимальні сили, що діють на колію, а обмежує статичні навантаження.

У Британському підході є обмеження і на вертикальні, і на горизонтальні сили, а в європейському – тільки на горизонтальні поперечні.

Для динамічного моделювання можливості сходу колісної пари з рейки в роботі [9] пропонується використовувати сучасні програмні пакети. Це дає можливість моделювати рух цілого екіпажу, а не лише окремо взятої колісної пари.

У роботі [10] порівнюються два критерії безпеки від сходу колеса з рейки. Перший – заснований на формулах Надаля, другий – енергетичний. Було відмічено, що енергетичний критерій є зручнішим для моніторингу стану залізничного транспорту, оскільки не потребує вимірювання контактних сил.

У роботі [11] досліджувалися та порівнювалися кінематичний та геометричний критерії безпеки від сходу колеса з рейки.

У роботах [12, 13] були проведені дослідження стосовно модифікації критеріїв сходу, які враховують кут набігання колеса на головку рейки і встановлено, що врахування кута набігання при визначенні можливості сходу колісної пари з рейки підвищує точність розрахунків.

В чинній нормативній літературі [14–17] при оцінці сходу колеса з рейки пропонується використовувати "коефіцієнт запасу стійкості проти вкочування колеса на головку рейки". При цьому вважається, що у випадку, коли значення цього коефіцієнта менше одиниці, колісна пара може зійти з рейок. Однак при виведенні цього критерію не враховувалися багато факторів, в тому числі і такі як кут набігання колісної пари і тривалість дії сил.

У роботах [18, 19] на основі детальної математичної моделі взаємодії колісної пари з

рейковою колією були надані уточнені уявлення про процес сходу колісної пари, але з використанням її спрощеної моделі.

Слід відмітити, що в роботі [20] для визначення умови безпеки від сходу колісної пари з рейки автор пропонує розглядати не схід одного окремо взятого колеса, а колісної пари в цілому, причому приймати її як тверде тіло. При цьому необхідно розглянути можливий рух колісної пари при ковзанні в вертикальній поперечній площині гребеня колеса, яке набігає на головку рейки (рис. 4).

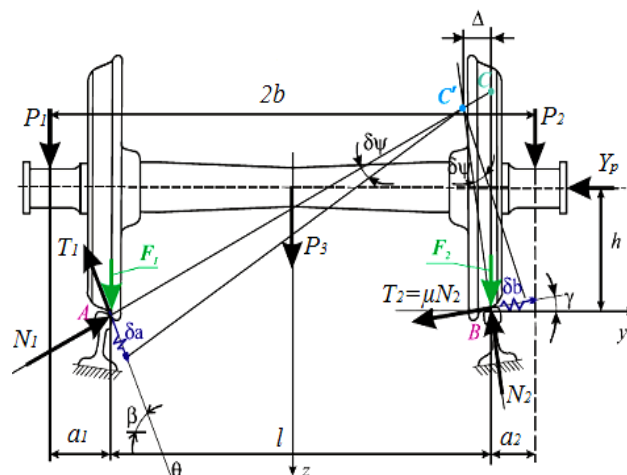


Рис. 4. Схема колісної пари і прикладені навантаження

де P_1, P_2 – динамічні вертикальні навантаження, що діють на шийки осі колісної пари; P_3 – вага не обресореної частини колісної пари; Y_p – горизонтальна поперечна – рамна сила, яка діє на колісну пару зі сторони рами візка; N_1, N_2 і T_1, T_2 – відповідно реакції рейок і сили тертя, які передаються від рейок на колеса колісної пари; μ – коефіцієнт тертя; h – висота від рівня головки рейки, на якій прикладена рамна сила; β – кут нахилу твірної конуса гребеня бандажа до горизонталі.

При виборі розрахункової схеми було введено уточнення, яке пов'язане з тим, що реакція ненабігаючого колеса не є вертикальною через нахил поверхні кочення колеса.

Таким чином умова безпеки від сходу колісної пари приймає наступний вигляд:

$$\frac{Y_p}{F_1} < k_1 - k_2 \cdot \frac{F_2}{F_1} - k_3 \cdot \frac{\sum P_i}{F_1}, \quad (6)$$

В даній роботі була отримана оцінка впливу нахилу поверхні кочення колеса, яке не набігає на головку рейки. При цьому точність результату показала, що найбільша похибка склала 6,2%. Тому у розрахунках можна прийняти, що $\Delta = 0$.

На основі цього припущення умова безпеки від сходу колісної пари з рейки прийме наступний вигляд:

$$\frac{Y_p}{F_1} < k_1 - k_2 \cdot \frac{F_2}{F_1}, \quad (7)$$

Також в даній роботі був уточнений коефіцієнт запасу стійкості проти вкочування колеса на головку рейки. Автором було прийнято, що інтенсивність ковзання колеса вниз, перш за все, залежить від співвідношення сил, які діють у напрямку ковзання, тобто по напрямку дотичної або просто вздовж по направляючій конічній частині профілю.

При цьому коефіцієнт запасу стійкості проти вкочування колеса на головку рейки має наступний вигляд:

$$K'_y = \frac{tg\beta}{1 + \mu \cdot tg\beta + \frac{Q}{Y} \cdot \mu} \cdot \frac{Q}{Y} = \lambda_2 \left(\frac{Q}{Y} \right) \cdot \frac{Q}{Y}. \quad (8)$$

Також слід відмітити підходи д.т.н. Сокола Е.М., які використовуються при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз [21].

Слід зазначити, що колесо, яке рухається по зовнішній рейці, взаємодіє з рейкою двома точками. Перша – це точка взаємодії поверхонь кочення рейки і бандажа; друга – точка взаємодії поверхні гребеня і бокової робочої грані рейки.

Отже, момент часу, в який реакція рейки в першій точці взаємодії стає рівною нулю, можна розглядати як початок вкочування гребеня колеса на головку рейки (рис. 5).

Рух колісної пари розглядається як складний, також як сукупність поступального руху разом з центром мас і сферичного руху навколо центру мас. Дослідження руху колісної пари проводиться з використанням чотирьох систем координатних осей.

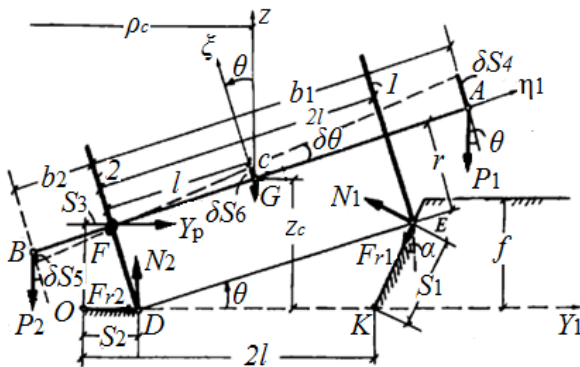


Рис. 5. Рух колісної пари при вкочування колеса на головку рейки

де P_1, P_2 – динамічні навантаження на колеса колісної пари; Y_p – рамна сила, яка діє на вісь колісної пари; G – власна вага колісної пари; N_1, N_2, F_{r1}, F_{r2} – реакції рейкових поверхонь.

Рух колісної пари під дією прикладених до неї сил описується системою диференціальних рівнянь, вирішення яких дозволяє аналітично визначити умови сходу з рейок рухомого складу при вкочуванні гребеня колеса на головку рейки.

Автор даної роботи зазначає, що для вкочування гребеня колеса на головку рейки потрібне виконання як мінімум двох умов: необхідної та достатньої.

Аналітичний вираз необхідної умови вкочування гребеня колеса на головку рейки має вигляд:

$$P_1 < P_1^*, \quad (9)$$

де P_1 – фактичне навантаження на колесо; P_1^* – навантаження на колесо при якому починається процес вкочування.

$$P_1^* = \frac{Cb_2 + Y_p r - Gl}{b_1 + b_2}, \quad (10)$$

де $C = (P_1 + P_2)$ – статичне навантаження на вісь колісної пари; r – радіус колеса; G – вага колісної пари; Y_p – рамна сила.

Виконання необхідної умови ще не означає факт сходу рухомого складу, так як колісна пара, здійснюючи рух в показаному на (рис. 5) напрямку відліку кута θ , не вкотившись на поверхню кочення головки рейки, може почати рух у зворотному напрямку. Тому потрібно ще перевіряти виконання достатньої умови вкочування колеса колісної пари на головку рейки.

Вважається, що схід з рейок рухомого складу є здійсненим фактом, якщо колісна пара зорієнтується таким чином, що гребінь колеса вже знаходиться на поверхні кочення головки рейки.

Таким чином достатня умова вкочування колеса на головку рейки приймає наступний вигляд:

$$2l \cdot \sin \theta_{\max} = f, \quad (11)$$

де $\theta_{\max}$ – значення кута, при якому гребінь колеса вже знаходиться на поверхні кочення головки рейки; f – висота, на яку має піднятися колесо, щоб його гребінь опинився на поверхні кочення головки рейки.

Виконаний аналіз публікацій та нормативних документів показав, що більшість розглянутих методик оцінюють імовірність сходу по одній колісній парі, не враховуючи впливу інших колісних пар, що може призвести до хибного встановлення причин сходу колісної пари з рейок. Крім того не враховуються горизонтальні та вертикальні нерівності колії, хоча, як показує досвід, основними причинами аварій і сходів на залізницях України є, передусім, відхилення в стані рейкової колії і ходових частин рухомого складу від норм їх утримання.

Тому для наближення результатів математичного моделювання до реальних умов експлуатації автори статті пропонують вирішувати задачу сходу колісної пари шляхом вкочування колеса на головку рейки з використанням динамічних рівнянь просторових коливань вагону, які виникають внаслідок геометричних нерівностей колії в горизонтальному та вертикальному напрямках.

Отже, підсумовуючи вищесказане, питання стосовно визначення оцінки безпеки від сходу колеса з рейки є актуальним і має важливе значення для забезпечення безпеки руху рухомого складу.

Висновки

1. Питанню оцінки безпеки від сходу колеса з рейки присвячена значна кількість праць, кожна з яких має свої підходи до встановлення стійкості рейкового екіпажу.

2. Більшість розглянутих методик оцінюють імовірність сходу по одній колісній парі, не враховуючи впливу інших колісних пар, що може

привести до хибного встановлення причин сходу колісної пари з рейок.

3. Встановлено, що для наближення результатів теоретичних розрахунків до експериментальних даних, задачу сходу колеса з рейки слід розв'язувати з використанням рівнянь просторових коливань вагона.

4. При дослідженні стійкості рухомого складу слід враховувати відхилення в стані рейкової колії і ходових частин рухомого складу від норм їх утримання.

Список літератури

1. Маслиев В. Г. Динамика локомотива с устройством для радиальной установки колесных пар в кривых. *Вісник Східноукр. нац. ун-ту. Технічні науки. Серія Транспорт*. 2002. № 6 (52). С. 69–74.
2. Азовский А. П., Котуранов В. Н., Овечников М. Н., Плотников И. В. Об оценке запаса устойчивости колеса от выкатывания на головку рельса. *Сборник статей международной конференции "Безопасность движения поездов"*. М. : МИИТ, 2007. С. VI-1–VI-2.
3. Котуранов В. Н., Иванов Д. В., Петров А. Г. Метод расчета запаса устойчивости колеса против схода с рельса. *Труды конференции "Безопасность движения"*. М. : МИИТ, 2010. С. VII-24.
4. Коган А. Я., Черняков Е. А. Оценка достаточного условия устойчивости колеса на рельсе с учетом вероятностного характера влияющего на нее некоторых факторов. *Вестник ВНИИЖТ*. 2008. № 2. С. 36–41.
5. Трофимов А. Н. Об устойчивости подвижного состава против схода с рельсов. *Труды ДИИТ*. 1983. Вып. 228/25. С. 23–26.
6. Прокудин И., Виноградов В., Воробьев Э. Пора выйти из тени. *Гудок*. 06.08.2003.
7. Винник Л. В., Бурчак Г. П. Замечания по поводу использования критерия Надаля при оценке безопасности схода с рельс. *Вісник Східноукр. націон. універ. ім. В. Даля*. 2005. № 8. Ч. 1. С. 108–113.
8. Elkins J., Huimin Wu. New Criteria for Flange Climb Derailment. *2000 ASME/IEEE Joint Railroad Conference, April 4-6, 2000*, P. 1–7.
9. Evans J., Berg M. Challenges in simulation of rail vehicle dynamics. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. 2009. No. 47. P. 1023–1048.
10. Opala M. Analysis of experimental data in the context of safety against derailment of a railway vehicle. *Key Engineering Materials*. 2012. No. 518. P. 16–23.
11. Shabana A. Nadal's formula and high speed rail derailments. *J. Comput. Nonlinear Dynam.* 2012. No. 7.
12. Elkins J., Wu H. New criteria for flange climb derailment. *Railroad Conference*. 2000. P. 1–7.
13. Wu H., Shu X., Wilson N. Flange Climb Derailment Criteria and Wheel. *Rail Profile Management and Maintenance Guidelines for Transit Operations*. TCRP Report, 2005. No. 71, P. 5.
14. Мартынов И. Э., Маслиев В. Г., Мокроусов С. Д. Износ гребней колес грузовых вагонов и рельсов: проблема и пути ее решения. *Вагонный парк*. 2013. № 5 (74). С. 4–7.
15. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов ж. д. МПС РФ колеи 1520 мм. М. : МПС РФ, ВНИИЖТ, 1998. 145 с.
16. Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств моторвагонного подвижного состава ж. д. МПС РФ колеи 1520 мм. М. : МПС РФ, ВНИИЖТ, 1997. 147 с.
17. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) с изменениями. М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 346 с.
18. Вериги М. Ф., Коган А. Я. Об устойчивости движения колеса по рельсу. *Вестник ВНИИЖТ*. 1965. № 4. С. 3–7.
19. Лукин В. В., Шадул Л. А., Котуранов В. Н., Хохлов А. А. Конструирование и расчет вагонов. М. : 2000. 725 с.
20. Клименко И. В. Развитие теоретических основ и методов оценки и повышения безопасности движения подвижного состава железных дорог: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. тр-та им. акад. В. Лазаряна. Днепропетровск, 2015. 284 с.
21. Сокол Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики). Київ : Транспорт України, 2004. 386 с.

References

1. Masliev, V. G. (2002), "Dynamics of a locomotive with a device for radial installation of wheel pairs in curves" ["Динамика локомотива с устройством для радиальной установки колесных пар в кривых"], *Visnik Shidnoukr. nac. un-tu. Tehnichni nauki. Seriya Transport*, No. 6 (52), P. 69–74.
2. Azovskij, A. P., Koturanov, V. N., Ovechnikov, M. N., Plotnikov, I. V. (2007), On the assessment the stability of the wheel from rolling out on the rail head [Ob ocenke zapasa ustojchivosti kolesa ot vykatyvanija na golovku rel'sa], *Sbornik statej mezhdunarodnoj konferencii "Bezopasnost' dvizhenija poezdov"*. M.: MIIT, S. VI-1-VI-2.
3. Koturanov, V. N., Ivanov, D. V., Petrov, A. G. (2010), "The method of calculating the wheel's stability margin against derailment" ["Metod rascheta zapasa ustojchivosti kolesa protiv shoda s rel'sa"], *Trudy konferencii "Bezopasnost' dvizhenija"*, Moscow : MIIT, P. VII-24.
4. Kogan, A. Ja., Chernjakov, E. A. (2008), "Assessment of the sufficient condition of wheel stability on the rail, taking into account the probabilistic nature of certain factors affecting it" ["Ocenka dostatochnogo uslovija ustojchivosti kolesa na rel'se s uchetoм verojatnostnogo haraktera vlijajushhego na nee nekotoryh faktorov"], *Vestnik VNIIZhT*, No. 2, P. 36–41.
5. Trofimov, A. N. (1983), "On the stability of rolling stock against derailment" ["Ob ustojchivosti podvizhnogo sostava protiv shoda s rel'sov"], *Trudy DIIT*, Issue 228/25, P. 23–26.

6. Prokudin, I., Vinogradov, V., Vorob'ev, Je. (2003), "Time to get out of the shadows" ["Pora vyjti iz teni"], *Gudok*.
7. Vinnik, L. V., Burchak, G. P. (2005), "Comments on the use of the Nadal criterion in evaluating derailment safety" ["Zamechanija po povodu ispol'zovanija kriterija Nadalja pri ocenke bezopasnosti shoda s rel'sa"], *Visnik Shidnoukr. nacion.univer. im. V. Dalja*, No. 8, Part 1, P. 108–113.
8. Elkins, J., Huimin, Wu. (2000), "New Criteria for Flange Climb Derailment", *2000 ASME/IEEE Joint Railroad Conference*, P. 1–7.
9. Evans, J., Berg, M. (2009), "Challenges in simulation of rail vehicle dynamics", *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, No. 47, P. 1023–1048.
10. Opala, M. (2012), "Analysis of experimental data in the context of safety against derailment of a railway vehicle", *Key Engineering Materials*, No. 518, P. 16–23.
11. Shabana, A. (2012), "Nadal's formula and high speed rail derailments", *J. Comput. Nonlinear Dynam.*, P. 7.
12. Elkins, J., Wu, H. (2000), "New criteria for flange climb derailment", *Railroad Conference*, P. 1–7.
13. Wu, H., Shu, X., Wilson, N. (2005), "Flange Climb Derailment Criteria and Wheel", *Rail Profile Management and Maintenance Guidelines for Transit Operations*, TCRP Report, No. 71, P. 5.
14. Martynov, I. Je., Masliev, V. G., Mokrousov, S. D. (2013), "Wheel flange wear and rail freight cars: the problem and its solutions" ["Izнос grebnej koles gruzovyh vagonov i rel'sov: problema i puti ee reshenija"], *Vagonnij park*, No. 5 (74), P. 4–7.
15. Standards for calculating and assessing the strength of bearing elements, dynamic qualities and the impact on the path of the crew part of locomotives r.t. MRC RF track 1520 mm [Normy dlja rascheta i ocenki prochnosti nesushhih jelementov, dinamicheskikh kachestv i vozdejstviya na put' jekipazhnoj chasti lokomotivov zh. d. MPS RF kolei 1520 mm], Moscow : MPS RF, VNIIZhT, 1998, 145 p.
16. Standards for calculating and assessing the strength of the bearing elements and the dynamic qualities of the motor-wagon rolling stock r.t. MRC RF track 1520 mm [Normy rascheta i ocenki prochnosti nesushhih jelementov i dinamicheskikh kachestv motorvagonnogo podvizhnogo sostava zh. d. MPS RF kolei 1520 mm], Moscow : MPS RF, VNIIZhT, 1997, 147 p.
17. Norms for calculating and designing railroad cars of 1520 mm MRC railways (non-self-propelled) with changes [Normy rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) s izmenenijami], Moscow : GosNIIV-VNIIZhT, 1996, 346 p.
18. Verigo, M. F., Kogan, A. Ja. (1965), "On the stability of the movement of the wheels on the rail" ["Ob ustojchivosti dvizheniya kolesa po rel'su"], *Vestnik VNIIZhT*, No. 4, P. 3–7.
19. Lukin, V. V., Shadur, L. A., Koturonov, V. N., Hohlov, A. A. (2000), *Design and calculation of wagons [Konstruirovanie i raschet vagonov]*, Moscow, 725 p.
20. Klimenko, I. V. (2015), Development of theoretical foundations and methods for assessing and improving the safety of railway rolling stock [Razvitie teoreticheskikh osnov i metodov ocenki i povyshenija bezopasnosti dvizheniya podvizhnogo sostava zheleznyh dorog]: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.22.07, Dnepropetr. nac. un-t zh.-d. tr-ta im. akad. V. Lazarjana, Dnepropetrovsk, 284 p.
21. Sokol, Je. N. (2004), *Derailments and rolling stock collisions [Shody s rel'sov i stolknovenija podvizhnogo sostava (Sudebnaja jekspertiza. Jelementy teorii i praktiki)]*, Kyiv : Transport Ukraine, 386 p.

Надійшла (Received) 31.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кузишин Андрій Ярославович – Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, науковий співробітник, лабораторія "Залізнично-транспортних досліджень", Львів, Україна; e-mail: kuzyshyn1993@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3012-5395>.

Кузишин Андрей Ярославович – Львовский научно-исследовательский институт судебных экспертиз, научный сотрудник, лаборатория "Железнодорожно-транспортных исследований", Львов, Украина.

Kuzyshyn Andriy – Lviv Research Institute of Forensic Science, Research Worker, Laboratory "Railway Transport Research", Lviv, Ukraine.

Батіг Андрій Васильович – Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, старший науковий співробітник, лабораторія "Залізнично-транспортних досліджень", Львів, Україна; e-mail: batigasha1992@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1205-6004>.

Батиг Андрей Васильевич – Львовский научно-исследовательский институт судебных экспертиз, старший научный сотрудник, лаборатория "Железнодорожно-транспортных исследований", Львов, Украина.

Batig Andriy – Lviv Research Institute of Forensic Science, Senior Research Worker, Laboratory "Railway Transport Research", Lviv, Ukraine.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К РАСЧЕТУ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Предметом исследования данной работы являются методы определения параметров безопасности от схода колеса с рельса. **Объектом** исследования является взаимодействие пути и подвижного состава. **Целью** данной работы является исследование подходов, которые применяют отечественные и зарубежные ученые, при оценке безопасности от схода колеса с рельса. Проанализировать аналитические условия вкатывания гребня колеса на головку рельса, которые являются критериями безопасности от схода колеса с рельса при исполнении железнодорожно-транспортных экспертиз. **Методами** исследования, которые используются в данной работе, есть: системный, логический и исторический подходы; анализа и синтеза, индукции и дедукции; моделирования. **Задачи** статьи заключаются в следующем: провести анализ методов определения критериев безопасности от схода колеса с рельса; оценить важность всех методов и подходов, выявить их недостатки и преимущества,

сделать рекомендации по совершенствованию метода оценки устойчивости рельсовых экипажей на железных дорогах Украины. **Результаты.** Проанализированы труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные вопросу оценки безопасности от схода колеса с рельса. Установлено, что для приближения результатов математического моделирования подвижного состава к реальным условиям эксплуатации задачу схода колесной пары с рельсового пути следует выполнять с использованием динамических уравнений пространственных колебаний. Было предложено при определении оценки безопасности от схода колеса с рельса учитывать аналитические условия вкатывания гребня колеса на головку рельса, которые были предложены д. т. н. Соколом Е. М. при проведении судебных железнодорожно-транспортных экспертиз. **Выводы.** Большинство рассмотренных методик оценивают вероятность схода по одной колесной паре, без учета влияния других колесных пар, что может привести к ошибочным результатам. Установлено, что для приближения результатов теоретических расчетов к экспериментальным данным, задачу схода колеса с рельса следует решать с использованием уравнений пространственных колебаний вагона.

Ключевые слова: сход колеса; колесная пара; гребень колеса; железнодорожно-транспортная экспертиза; безопасность движения.

THE ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES TO CALCULATING TRAFFIC SAFETY CRITERIA IN THE RAILWAY SECTOR

The **subject matter** of the article is the methods for determining the safety parameters to prevent wheel derailment. The **object** of the study is the interaction of a rail track and rolling stock. The **goal** of the paper is to study of approaches that are used by domestic and foreign scientists to assess the protection against wheel derailment and to study the analytical conditions for the wheel flange rolling onto the rail top, which are the criteria of protection against derailment which are considered while expertizing the railway transport. The **methods** used in this work are the system, logical and historical approaches; analysis and synthesis, induction and deduction; modelling. The **tasks** of the article are as follows: to analyze the methods for determining the safety criteria from wheel derailment; to evaluate the importance of all methods and approaches, to identify their disadvantages and advantages, to make recommendations for improving the method of assessing the stability of rail vehicles on the railways of Ukraine. **Results.** The works of domestic and foreign scientists, which are devoted to the issue of assessing the protection against the wheel derailment were analyzed. It has been established that in order to approximate the results of mathematical modelling of rolling stock to the actual operating conditions, the task of the wheelset derailing from the track should be performed using dynamic equations of spatial oscillations. It was proposed to take into account the analytical conditions for wheel flange rolling onto the rail top, which were proposed by E. Sokol, the Doctor of Technical Sciences, when expertizing the railway transport. **Conclusions.** Most of the considered methods estimate the probability of a wheelset derailment without taking into account the influence of other wheelsets, which can lead to erroneous results. It has been established that in order to approximate the results of theoretical calculations to the experimental data, the problem of the wheel derailment should be solved using the equations of spatial oscillations of a rail car.

Keywords: wheel derailment; wheelset; wheel flange; railway transport expertise; traffic safety.

I. NEVLUDOV, V. GURIN, D. GURIN

METHODS OF FAILURE DIAGNOSTICS OF TANTALUM OXIDE-SEMICONDUCTOR CAPACITORS WITH SOLID DIELECTRIC

The subject of the study is oxide-semiconductor capacitors, which are widely used in the manufacture of electronic equipment. **The goal of the study** is to determine the main causes of failures of oxide-semiconductor capacitors at the production and operation stages. For this purpose, analogs of flat film capacitors have been built, which represented various production and operational situations (including dielectric breakdown); the structures of individual layers of capacitors, their chemical and phase formulas and electrical properties were found. Since capacitor anodes have a porous structure and are not subjected to the usual methods of studying flat objects, we used the simulation method. The simulated data were compared with the corresponding values measured on capacitors that did not work during operation or testing. **In the process of research**, the following tasks were solved: physical phenomena occurring in capacitors under the influence of various factors appearing in the production process were considered. It is shown that redox processes lead to deterioration of the capacitors. It is established that the main causes of the degradation of capacitors are thermodynamic in nature and they reduce the lifetime of the capacitors. Technological operations have been developed that significantly reduce or eliminate the types of failures considered. These include the basic operations of the process. Doping of the anodes of the capacitors with nitrogen. This operation is performed simultaneously with the sintering of porous anodes and contributes to the increase of the lifetime, operating temperatures and reverse voltage of the capacitors. Growing a multilayer dielectric by cyclically changing the formula of the electrolyte, where anodizing occurs. Formation of a dense cathode by applying an alternative electric field when impregnating porous anodes. Organic silicon impregnation of capacitors' sections. This creates a dense waterproof film that blocks areas of free dielectric contact with manganese dioxide and provides good adhesion of the protective organic film to the section. The following **methods** were used in the work: electron beam probing, Auger spectroscopy and microprobe measurements.

Keywords: oxide-semiconductor capacitor; simulation method; failure analysis.

Introduction

Oxide-semiconductor capacitors find broad application in the radio-electronic equipment thanks to an optimum combination of their electric parameters to overall dimensions and also thanks to acceptable price policy [1–4].

Analysis of problems and statement of tasks

In the course of production and operation parametrical failures of capacitors often take place that does relevant development of a technique of the analysis of failures of capacitors at a production stage. Such technique will allow producers to increase quality of the products and will reduce number of claims from the enterprises which use oxide-semiconductor capacitors. The purpose of the real work is development of a technique of identification of potentially unreliable capacitors, on the basis of studying of features of the processes resembling in them

As capacitor anodes are of porous structure and not subject to conventional methods of investigation of planar objects we have employed the simulation technique.

Flat film capacitor analogs were constructed that represented various production and operation situations (including dielectric breakdown); then by means of electronic beam, Auger-spectroscopy and microprobe measurements we found out the structures of separate capacitor layers, their chemical and phase formulae and electric properties.

Results of the specified researches are published in [5–11].

The simulated data were compared to the corresponding values measured on the capacitors that

failed while operating or being tested. As our industry produces, together with tantalum capacitors, niobium ones that fail more often, the total number of capacitors investigated within 10 years amounts to several hundred.

The diagnostics techniques proposed comprise the following.

Presenting main material

1. Analyzing failure causes.

The analysis (which is of non-destructive nature) is made on the grounds of the results of studying the influence of external direct voltage value and polarity, alternate voltage component frequency, temperature and environmental conditions on main electric properties of the capacitors. The analysis makes it possible to locate the defect that caused the failure and to detect the production procedure responsible for this defect. To revise the results of the analysis they sometimes practice layer etching and visual examination of capacitors' components.

The figure 1 shows the characteristic dependencies of leakage current (I) on voltage (U), temperature (T) and duration (t) of vacuum drying of unsealed capacitors that correspond to various failure causes.

A. Normal capacitor

(a) dependency $I(U)$ is an asymmetric one (1) with $U > 0$ $I \sim \exp U$, $U < 0$ $I \sim U$, where $2 < n < 3$;

(b) dependency $I(T)$ is an activation one (1) with activation energy $E > 0.5$ eV;

(c) $I(t) = \text{const}$, i.e. drying does not influence the current.

B. Metal shunt

Appears because of solder streaking during capacitor

sealing or because of forming metal threads while welding tantalum and nickel leads.

(a) dependency $I(U)$ is a symmetric and linear one (2): $I = S U$;

(b) dependency $I(T)$ is a non-activation one (2): the current decreases reversibly with T growth;

(c) $I(t) = \text{const}$ (2).

They are the procedures of nickel lead welding and casing insulator soldering that are responsible for the failure dependency $I(T)$ is a non-activation one (3): the current decreases irreversibly with T growth.

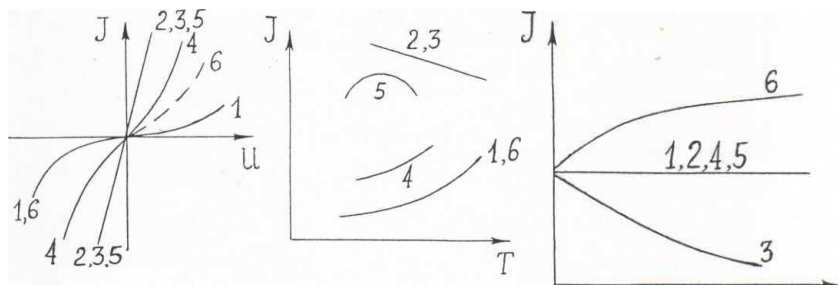


Fig. 1. The characteristic dependencies of leakage current (I) on voltage (U), temperature (T) and duration (t) of vacuum drying of unsealed capacitors that correspond to various failure causes

C. Non- metal shunt

It appears because of penetration of the moisture to the internal insulator or capacitors anode lead surface.

(a) dependency $I(U)$ is a symmetric and linear one (3): $I = G U$;

(b) dependency $I(T)$ is a non-activation one (3): the current decreases irreversibly with T growth;

(c) while drying the current decreases irreversibly.

They are section drying procedure preceding to sealing and insulator cracks that are responsible for the failure.

D. Dielectric breakdown with limitation of input power

It occurs in presence of latent flaws in the dielectric and close dielectric-semiconductor cathode contact in the flawed spot. Power limitation is related to the local reduction of the cathode to the lower manganese oxides with high resistance.

(a) dependency $I(U)$ is a symmetric one (4) with $I \sim U^n$, where $1.5 < n < 2.5$

(b) dependency $I(T)$ is an activation one (4) with activation energy $E \sim 0.1$ eV;

(c) $I(t) = \text{const}$ (4).

It is anode sintering as well as powder quality that are responsible for the failure.

E. Catastrophic breakdown

It occurs in presence of latent flaws on the internal surface of the dielectric and in absence of close dielectric-cathode contact in the flawed spot and also on penetration of carbon layer through manganese dioxide to the dielectric surface.

(a) dependency $I(U)$ is a symmetric and linear one (5) with $I = G U$;

(b) dependency $I(U)$ is not monotonous (5) for the thermal coefficient of resistance changes its sign;

(c) $I(t) = \text{const}$ (5).

They are anode sintering and pyrolytic manganese dioxide deposition procedures that are responsible for the failure.

F. Parametric failure

It occurs in presence of flaws due to reduction of the dielectric by the anode and in absence of dielectric-cathode close contact in the flawed spots.

(a) dependency $I(U)$ is an asymmetric one (6) with $U < 0$ $I \sim U^n$, where $2 < n < 3$;

(b) dependency $I(T)$ is an activation one (6) with activation energy $E = 0.5$ eV;

(c) while drying the current increases reversibly (6) and on moistening it decreases.

It is manganese dioxide pyrolytic deposition procedure that is responsible for the failure.

2. Main production procedures control.

Some failure analysis techniques can also be made use of as simple, express and information-yielding techniques of controlling the following procedures: sintering of anodes, growing oxide dielectric and semiconductor cathode deposition. Conventional control techniques for these procedures based upon measuring capacitors' performance characteristics are rough and don't give evidence of latent flaws that can cause spoilage on the final production stage or an operation failure. The control techniques proposed allow to detect such flaws in the early production stages and to correspondingly modify the production procedures or materials used.

3. Shot-time lifetime estimation.

As a result of the investigation made it was found out that the main causes of degradation of capacitors are of thermodynamic nature, they reduce capacitors' lifetime and are as follows: a) local dielectric film reduction by the b) field crystallization and splitting of anode amorphous dielectric (fig. 2).

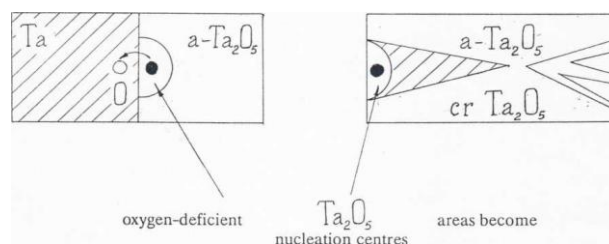


Fig. 2. Illustration of the main causes of capacitor degradation

The same redox processes as those causing deterioration of capacitors cause them functioning in current-generator mode (fig. 3).

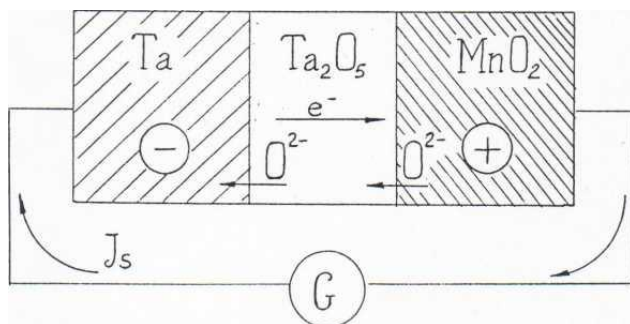


Fig. 3. Capacitor operation in current generator mode

The temperature being high, the disconnected electrodes of a capacitor generate an EMF; on connection of the electrodes the galvanometer register a short-circuit current I_s .

A short-time investigation of temperature and temporal relations between the EMF and I_s allows to determine all necessary values and to estimate the capacitor's lifetime according to the formula

$$\tau = \tau_0 \left(\frac{E - aU}{KT} \right).$$

There exists a strict correspondence between E values taken from test results and those derived from the $I_s(T)$ dependence that proves the validity of the technique proposed. The said technique allows to promptly estimate the lifetime of serial capacitors and the ones produced under new techniques or of new materials.

A good correspondence was obtained for serial capacitors between the real pre-failure operating time and the lifetime estimated with the help of the technique proposed.

4. Method of sorting unreliable capacitors out.

These methods can be used either by the manufacturer or by the customer while checking manufactured or purchased capacitors.

The mentioned methods are based on the two physical phenomena:

- pulse electric strength of a dielectric is correlated to its lifetime under the normal conditions;
- dielectric conductivity asymmetry is sensitive to the primary stages of flaw generation in the dielectric.

On these grounds simple, reliable and express methods of sorting out unreliable capacitors were developed comprising breakdown simulator and current comparator under different external voltage polarity signs; they allow rejecting - on the voltage pulse at the check-out element - latently flawed capacitors without damaging the rest of them.

Joint 1000-hour tests with a set of rejected capacitors and a random sample of capacitors that successfully passed through the sorting (initially all the capacitors had the same current leakage level) resulted as follows: failure was registered with 70 per cent of the rejected capacitors the rest of them having elevated current leakage values

while the comparison sample did not give neither failures nor changes in current leakage.

Technological operations provide significant reduction or eliminate the considered types of failures.

1. This procedure is executed simultaneously with the sintering of porous anodes and allows to:

- a) create in the anode a diffusion barrier for oxygen at the oxide dielectric interface raise electrons' energy barrier and electron gap concentration in the dielectric;
- b) owing to that dielectric reduction and anode-dielectric electron injection are suppressed which process contributes to raising the lifetime, operating temperatures and reverse voltage of capacitors.

2. Growing a multi-layer dielectric.

To grow a multi-layer dielectric, one should change in a cyclic manner the formula of the electrolyte where anodization is taking place.

Thus, treated the dielectric forms layers with the dimensions considerably less than those of the amorphous dielectric critical nucleation center ($R_{cr} = 100\text{nm}$).

Owing to that dielectric crystallization is suppressed that contributes to raising the lifetime and operation temperature of capacitors.

3. Dense cathode deposition.

Owing to the alternate electric field application while impregnating porous anodes with manganese nitrate flawed spots within the dielectric become manganese dioxide deposition centers.

This technique provides for blocking the flaws and for a close contact between the cathode and the dielectric for manganese dioxide islets on the surface of the dielectric become the centers of the ensuing deposition of pyrolytic manganese dioxide.

Another way to improve the quality of the cathode layer can be doping manganese nitrate with a doping solution containing indium [12–15].

It was found that when a semiconductor MnO_2 layer forms on the Nb_2O_5 substrate in the presence of indium, indium is implanted into the Nb_2O_5 surface layer of the dielectric, which leads to a change in the electrical characteristics of the $MnO_2 - Nb_2O_5$ system, in particular, to a decrease in leakage current. During pyrolysis, thermal diffusion of niobium into the MnO_2 layer occurs, as well as a transition zone containing mixed oxides of manganese and niobium. A thin semiconductor layer adjacent to the MnO_2 / Nb_2O_5 interface is enriched with niobium. At the same time, the stoichiometric composition of the dielectric surface associated with the niobium deficiency changes.

The introduction of indium containing additives into a solution of manganese nitrate causes a decrease in the pyrolysis temperature, which prevents the appearance of defects in the dielectric film by the action of temperature.

4. Organic silicon impregnation of capacitors' sections.

As a result of organic silicon impregnation of capacitors' sections and ensuing impregnate polymerization a dense water-proof film is generated that blocks the areas of loose manganese dioxide-dielectric contact and provides for a good adhesion of the protective organic film to the section.

This technique prevents moisture from affecting the free surface of the dielectric film. Owing to that the lifetime and reliability of capacitors increase.

Thus, increase the lifetime and reliability of capacitor.

Conclusions

Simple, reliable, and rapid methods for sorting unreliable capacitors have been developed, including a breakdown simulator and a current comparator with different external signs of voltage polarity; they allow deflecting - on the voltage pulse on the switching off element - latently defective capacitors without damaging the rest.

All the diagnostics and inspection methods proposed had been developed under serial production conditions and turned out to be efficient enough. Technological operations are developed that significantly reduce or eliminate the considered types of failures.

References

1. Landsberge, L. M., Ghayou, R., Sayedi, M. et al. (1982), *MOS (Metal Oxide Semiconductor)*, Physics and Technologies, New Jersey, 906 p.
2. Belenky, B., Gorbunov, N. (2008), "Tantalum capacitors - problems and prospects" ["Tantalovyie kondensatory – problemy i perspektivy"], *Electronics. Science, technology, business*, Issue : Element base of electronics.
3. Compal, T. "Tantalum capacitors: application features", available at : <https://www.compel.ru/lib/articles/tantalovyie-kondensatoryi-osobennosti-primeneniya> (last accessed 12.10.2018).
4. "Oxide-semiconductor capacitors: types and advantages" ["Kondensatory oksidno-poluprovodnikovyye: vidy i dostoinstva"], available at : <https://www.lectramist.com/oksidno-poluprovodnikovye-kondensatoryi-tipy-preimushchestva> (last accessed 12.10.2018).
5. Jaekun, K., Hyunggjin, Yu., Woonghee, H. (2006), "A study on the characteristics of solid capacitor according to the pyrolysis methods", *Korean. Chem. Eng. Res.*, Vol. 44, No.6, P. 614–622.
6. Fritzler, T., Azarian, M. H., Pecht, M. G. (2014), "Scintillation Conditioning of Tantalum Capacitors With Manganese Dioxide Cathodes", *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, Vol. 14 (2), P. 630–638. DOI: 10.1109/TDMR.2014.2314731.
7. Franco, F. Di. et al. (2012), "Characterization of the Solid State Properties of Anodic Oxides on Magnetron Sputtered Ta, Nb and Ta–Nb Alloys", *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 159 (1), P. 33–39.
8. Moon, B. K. (1999), "Insulating properties of tantalum pentoxide capacitor films obtained by annealing in dry ozone", *Journal of Applied Physics*, No. 85, P. 1731.
9. Gurin, V. N. (2009), "Studying the chemical composition of Nb and Ta with dissolved oxygen", ["Izucheniye khimicheskogo sostava Nb i Ta s rastvorennyim kislorodom"], *Bulletin of the International Slavic University. Series: "Technical Sciences"*, Vol. XII, No. 1, P. 68–71.
10. Boyko, B. T., Panchekha, P. A., Pozdeev, Yu. L. et al. (1990), "The effect of nitriding on the structure of bulk-porous tantalum", ["Vliyaniye azotirovaniya na strukturu ob'yemo-poristogo tantalata"], *Physics and Chemistry of Materials Processing*, No. 31, P. 84–89.
11. "Reliability Handbook – Toshiba Memory Corporation", available at : <https://business.toshiba-memory.com/content/dam/.../reliability-handbook-tmc-en.pdf> (last accessed 12.10.2018).
12. Gorodiskij, A. V., Yakubtsov, O. A., Gurin, V. N. et al. (1991) "Auger Spectroscopy Study of Nb – Nb₂O₅ – MnO₂ System", *12-th European Conference on Surface Science, abstracts, Stockholm, Sweden, September*, Vol. 15F, P. 512.
13. Morozenko, E. S., Mazurenko, T. M., Yakubtsov, O. A. et al. (1992) "Auger Spectroscopy Study of the Phase Interface in the System Nb₂O₅ – MnO₂", *Pitcon '92 Pittsburgh Conference*, New-Orleans.
14. Jiang, Lu, Yue, Kuo, Jun-Yen, Tewg (2006) "Hafnium – Doped Tantalum Oxide High-k Gate Dielectrics", *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 153 (5), P. 410.
15. Morozenko, E. S., Mazurenko, T. M., Yakubtsov, O. A., et al. (1993) "Auger Spectroscopy Study of the MnO₂ – Nb₂O₅ system modified by hot implantation of indium", *J. Applied Surface Science*, No. 68, P. 491–495.

Received 31.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Невлюдов Ігор Шакирович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; e-mail: igor.nevliudov@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9837-2309>.

Невлюдов Игорь Шакирович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Nevliudov Igor – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head at the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Гурин Валерій Миколайович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри економічної кібернетики та управління економічною безпекою, Харків, Україна; e-mail: valerii.hurin@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7536-2186>.

Гурин Валерій Николаевич – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, Харьков, Украина.

Gurin Valeriy – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor at the Department of Economic Cybernetics and Economic Security Management, Kharkov, Ukraine.

Гурін Дмитро Валерійович – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; e-mail: dmytro.gurin@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2272-5227>.

Гурин Дмитрий Валерьевич – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Gurin Dmytro – Kharkiv National University of Radio Electronics, Postgraduate Student at the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ВІДМОВ ТАНТАЛОВИХ ОКСИДНО-НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ З ТВЕРДИМ ДІЕЛЕКТРИКОМ

Предметом дослідження є оксидно-напівпровідникові конденсатори, які широко застосовуються у виробництві радіоелектронної апаратури. **Метою** дослідження є з'ясування основних причин відмов оксидно-напівпровідникових конденсаторів на стадії виробництва і в експлуатації. З цією метою побудовані аналоги плоских плівкових конденсаторів, які представляли різні виробничі і експлуатаційні ситуації (включаючи діелектричний пробій); були виявлені структури окремих шарів конденсаторів, їх хімічні та фазові формули і електричні властивості. Оскільки конденсаторні аноди мають пористу структуру і не піддаються звичайним методам дослідження плоских об'єктів, ми використовували метод моделювання. Моделюються дані порівнювалися з відповідними значеннями, виміряними на конденсаторах, які не спрацьовували при роботі або тестуванні. У процесі дослідження вирішено такі **завдання**: розглянуті фізичні явища, що відбуваються в конденсаторах при впливі різних факторів, що з'являються в процесі виробництва. Показано, що окислювально-відновні процеси призводять до погіршення стану конденсаторів. Встановлено, що основні причини деградації конденсаторів мають термодинамічний характер і вони зменшують час життя конденсаторів. Розроблено технологічні операції, які значно зменшують або виключають розглянуті види відмов. До них відносяться основні операції технологічного процесу. Легування анодів конденсаторів азотом. Ця операція виконується одночасно зі спіканням пористих анодів і сприяє підвищенню часу життя, робочих температур і зворотної напруги конденсаторів. Вирощування багатшарового діелектрика шляхом циклічної зміни формули електроліту, де відбувається анодування. Формування щільного катода шляхом застосування альтернативного електричного поля при просочуванні пористих анодів. Просочування органічним кремнієм секцій конденсаторів. При цьому створюється щільна водонепроникна плівка, яка блокує ділянки вільного діелектричного контакту з діоксидом марганцю і забезпечує хороше зчеплення захисної органічної плівки з секцією. У роботі використані **методи**: зондування електронним пучком, оже-спектроскопія і мікрозондового вимірювання.

Ключові слова: оксидно-напівпровідниковий конденсатор; метод моделювання; аналіз відмов.

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ОТКАЗОВ ТАНТАЛОВЫХ ОКСИДНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ С ТВЕРДЫМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

Предметом исследования являются оксидно-полупроводниковые конденсаторы, которые широко применяются в производстве радиоэлектронной аппаратуры. **Целью** исследования является выяснение основных причин отказов оксидно-полупроводниковых конденсаторов на стадии производства и в эксплуатации. С этой целью построены аналоги плоских пленочных конденсаторов, которые представляли различные производственные и эксплуатационные ситуации (включая диэлектрический пробой), были обнаружены структуры отдельных слоев конденсаторов, их химические и фазовые формулы и электрические свойства. Поскольку конденсаторные аноды имеют пористую структуру и не поддаются обычным методам исследования для плоских объектов, мы использовали метод моделирования. Моделируемые данные сравнивались с соответствующими значениями, измеренными на конденсаторах, которые не срабатывали при работе или тестировании. В процессе исследования решены следующие **задачи**: рассмотрены физические явления, происходящие в конденсаторах при воздействии различных факторов, появляющихся в процессе производства. Показано, что окислительно-восстановительные процессы приводят к ухудшению состояния конденсаторов. Установлено, что основные причины деградации конденсаторов имеют термодинамический характер и они уменьшают время жизни конденсаторов. Разработаны технологические операции, которые значительно уменьшают или исключают рассмотренные виды отказов. К ним относятся основные операции технологического процесса. Легирование анодов конденсаторов азотом. Эта операция выполняется одновременно со спеканием пористых анодов и способствует повышению времени жизни, рабочих температур и обратного напряжения конденсаторов. Выращивание многослойного диэлектрика путем циклического изменения формулы электролита, где происходит анодирование. Формирование плотного катода путем применения альтернативного электрического поля при пропитке пористых анодов. Пропитка органическим кремнием секций конденсаторов. При этом создается плотная водонепроницаемая пленка, которая блокирует участки свободного диэлектрического контакта с диоксидом марганца и обеспечивает хорошее сцепление защитной органической пленки с секцией. В работе использованы **методы**: зондирование электронным пучком, оже-спектроскопия и микророндового измерения.

Ключевые слова: оксидно-полупроводниковый конденсатор; метод моделирования; анализ отказов.

А. О. СКОРКІН, О. Л. КОНДРАТЮК, О. П. СТАРЧЕНКО

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ХОЛОСТИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ІНСТРУМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ

Предметом дослідження в статті є вплив послідовності виконання переходів на допоміжний час, що витрачається на холосте переміщення верстата при зміні оброблюваної ділянки і при зміні інструменту. **Мета** дослідження полягає в підвищенні продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми шляхом мінімізації допоміжного часу, що дозволяє визначити оптимальну послідовність виконання переходів. В статті вирішуються наступні **завдання**: визначення основних підходів у формуванні загальних стратегій обробки деталей зі складними поверхнями, аналіз алгоритмічних рішень і методів визначення найліпшого маршруту переміщень інструментів від дільниці до дільниці і найвигіднішої послідовності обробки ділянок складної поверхні з урахуванням обмежень по переміщенням і стійкості інструменту, розробка математичної моделі мінімізації холостих переміщень при зміні оброблюваних ділянок і інструментів на основі точкового опису геометрії деталі. Використовуються такі **методи**: теоретичні та експериментальні методи дослідження, що включають методи системно структурного аналізу; методи математичної статистики; чисельні методи вищої математики, теорія графів. Отримано наступні **результати**: В результаті комплексних теоретичних і експериментальних досліджень виявлено методи оптимізації приватних і загальних стратегій при обробці деталей зі складними поверхнями. Розроблено метод визначення оптимального маршруту фрез одного типорозміру при русі між групою ділянок, що підлягають обробці. На основі точкового опису геометрії деталі розроблена математична модель мінімізації холостих переміщень при зміні оброблюваних ділянок. Визначено параметри, що забезпечують мінімізацію холостих переміщень при зміні оброблюваних ділянок і реалізацію алгоритмів розрахунку довжини і положень локальних площ безпеки для послідовно оброблюваних ділянок. **Висновки**: Застосування підходів у формуванні загальних стратегій обробки деталей зі складними поверхнями сприяє підвищенню продуктивності і ефективності використання дорогих багатоцільових верстатів. Застосування даного методу визначення найліпшого маршруту переміщень інструментів дозволяє визначити варіант маршруту з мінімальним значенням допоміжного часу, що витрачається на холості рухи інструментів.

Ключові слова: ЧПК; інструмент; фрезерування; проектування; складнопрофільна поверхня; чистова обробка.

Вступ

У сфері виробництва товарів одним з основних завдань, є зниження витрат, підвищення ефективності, скорочення циклу випуску й строків запуску виробів. Особливо це актуально для машинобудівних галузей промисловості, пов'язаних з виробництвом виробів, що мають складні форми. Тільки саме ретельне технологічне пророблення й створення різноманітного верстатного оснащення дозволяють досягти необхідного результату й одержати продукцію високої якості. Це, як правило, приводить до збільшення строку підготовчого періоду.

Особливою трудомісткістю відрізняється виготовлення деталей зі складними поверхнями таких, як деталі літальних апаратів і автомобілів, скульптурні об'єкти, прес-форми для одержання деталей тиском, оснащення для ливарного виробництва, об'єкти художнього змісту (наприклад, іконостаси й виробу ювелірної продукції).

Для виготовлення таких деталей у цей час в умовах серійного виробництва широко застосовуються фрезерні верстати із числовим програмним керуванням (ЧПК) при одночасному використанні систем автоматизованого проектування технологічних процесів.

До переваг фрезерних верстатів зі ЧПК ставиться:

- скорочення циклу виготовлення деталей;
- зниження вимог до кваліфікації робітників;
- гарантія повторюваності технологічного процесу;
- зменшення обсягів слюсарно-доводочних робіт.

За допомогою сучасних графічних систем автоматизованого проектування й виробництва виробів (CAD/CAM) суттєво спрощена підготовка керуючих програм для фрезерних верстатів зі ЧПК.

Автоматизоване програмування при розв'язку складних технологічних завдань дозволяє найбільше ефективно використовувати дороге встаткування, застосування якого дозволяє створювати вироби з поверхнями будь-якої складності, що задовольняють заданим вимогам по якості при мінімальних витратах часу на їхню обробку.

Суть руху різання полягає в крапковому торканні інструмента й деталі в процесі обробки. Час, затрачуване на цей рух інструмента, займає значну частину в оперативному часі обробки деталей і його прийнято вважати основним.

Холостий рух верстата являє собою суму холостих переміщень верстата при зміні фрез і при зміні оброблюваних областей. Час, затрачуване на холостий рух інструмента, є допоміжним. При чистовій обробці деталей, що мають складну форму й при значному числі оброблюваних зон, на які, як правило, розбивають складну поверхню, використовується велика кількість фрез. Це приводить до збільшення допоміжного часу, затрачуваного на холості переміщення верстата. Скорочення допоміжного часу при обробці деталей значно підвищує ефективність використання технологічного встаткування, особливо дорогих багатоцільових верстатів.

Слід зазначити, що й найпоширеніші сучасні САМ системи не мають модулів, що дозволяють оптимізувати послідовність виконання переходів, обумовлену різними формами окремих областей

поверхні, і використовуваний для їхньої обробки інструмент. Порядок обробки окремих ділянок поверхні деталі з різними формами областей, послідовність зміни інструмента, як показує практика, дотепер визначає технолог на основі особистого досвіду без застосування сучасних методів моделювання й оптимізації. Однак, найчастіше кількість варіантів послідовностей виконання переходів значно. Без застосування спеціальних алгоритмів і програмних засобів перебір великої кількості варіантів з повним аналізом наслідків вибору здійснити не можливо.

Аналіз проблеми і існуючих методів

Складна поверхня може бути витлумачена як "поверхня, у диференціальній околиці кожної крапки якої головні кривизни від однієї її крапки до іншої нескінченно близької крапки змінюються або по величині, або по орієнтації головних січних площ, або по величині й орієнтації головних січних площ одночасно" [1] (рис. 1).

У технічній літературі прийнято ділити деталі зі складними поверхнями по їхнім застосуванню в науці, техніці й технології на три класи: інструменти, деталі виробів, напівфабрикати й заготовки деталей. У роботах [4], [5] запропонована класифікація складних поверхонь, у якій кожний із класів ділиться, у свою чергу, на підкласи.

Клас інструментів ділиться на три підкласи: моделі, штампи й прес-форми.

Клас деталей можна підрозділити на:

- деталі механізмів і машин (авіаційна й автомобільна техніка, морські й річкові судна, протези органів людини й ін.);

- деталі приладів і товарів народного споживання (корпуси апаратури й побутової техніки, підшви для взуття, деталі іграшок, упакування для харчових продуктів, нафтопродуктів, косметики, побутової хімії й ін.);

- деталі, що мають самостійну художню цінність (скульптури, сувеніри, ювелірні прикраси, монети й медалі, іконостаси, ексклюзивні меблі та інше).

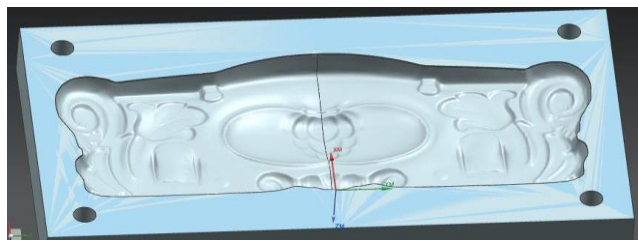


Рис. 1. Приклад складнопрофільної поверхні

Клас напівфабрикатів і заготовок становить продукція, яка є результатом виконання попередніх операцій формоутворення (виробу, отримані листові штампуванням в автобудуванні й літако- і суднобудуванні; кування, що йдуть на виготовлення великих штамів і прес-форм).

Одержання деталей зі складними поверхнями й високоточним виконанням їх розмірів у

машинобудуванні здійснюється на сучасних верстатах зі ЧПК, здатних виконувати складні рухи робочих органів із застосуванням відповідних різальних інструментів і певних методів обробки.

Метою даної статті є дослідження і в подальшому підвищення продуктивності процесу чистового фрезерування при обробці деталей складної форми шляхом мінімізації допоміжного часу, що дозволяє визначити оптимальну послідовність виконання переходів. В статті вирішуються наступні задачі:

- визначення основних підходів у формуванні загальних стратегій обробки деталей зі складними поверхнями,

- аналіз алгоритмічних рішень і методів визначення найліпшого маршруту переміщень інструментів від дільниці до дільниці і найвигіднішої послідовності обробки ділянок складної поверхні з урахуванням обмежень по переміщенням і стійкості інструменту,

- розробка математичної моделі мінімізації холостих переміщень при зміні оброблюваних ділянок і інструментів на основі точкового опису геометрії деталі

Рішення задачі

У сучасних САМ системах крок розподілу поверхні, вибір форми й розмірів інструмента, уведення параметрів стратегії обробки здійснюється не автоматизоване, а вручну. Особливо не простий для технологів виявляється завдання визначення границі між зонами поверхні, що не має явно вираженого контуру. Саме цей факт викликає зростаючий інтерес дослідників до пошуку оптимального розподілу поверхні, визначення форм і розмірів інструмента, вибору параметрів стратегії обробки.

Під локальним формоутворенням розуміється процес різання поверхні деталі в околиці поточної її крапки. Існує два фактори завдання, що впливають на розв'язок, синтезу локального формоутворення: параметри поверхні деталі й вихідної інструментальної поверхні в диференціальній околиці крапки їх торкання, і відносна локальна орієнтація цих поверхонь.

Локальне формоутворення – це, по суті, скалярний добуток значень подачі інструмента уздовж і поперек рядка формоутворення, розраховане в межах крапки торкання поверхні деталі й вихідної інструментальної поверхні. Найвигідніші його параметри повинні забезпечити досягнення максимуму локальної продуктивності формоутворення.

При регіональному формоутворенні розглядається процес утвору поверхні деталі в межах одному рядка на ній. Сутністю розв'язку завдання синтезу регіонального формоутворення є розрахунки параметрів самої вигідної траєкторії, при русі інструмента уздовж якої поточне значення ширини рядка

формоутворення максимально, а формоутворення при цьому площа рядка на поверхні деталі при інших однакових умовах найбільша.

Глобальне формоутворення припускає облік часткової інтерференції сусідніх рядків формоутворення й "крайовий ефект" – облік впливу на параметри процесу формоутворення форми й параметрів границь контуру, що обмежує оброблювану поверхню деталі.

Завданням синтезу глобального формоутворення є:

- відбір таких із сімейства ліній, отриманих у

результаті розв'язку завдання синтезу регіонального формоутворення, які в якості траєкторій формоутворення забезпечують досягнення максимуму глобальної ефективності;

- установлення області, у якій проявляється вплив "крайового ефекту" для того, щоб визначити найвигідніші траєкторії врізання інструмента в заготовку й виводу його з контакту з обробленою деталлю ("траєкторії врізань-виводів").

- визначення координат найвигіднішої точки початку обробки деталі (рис. 2).

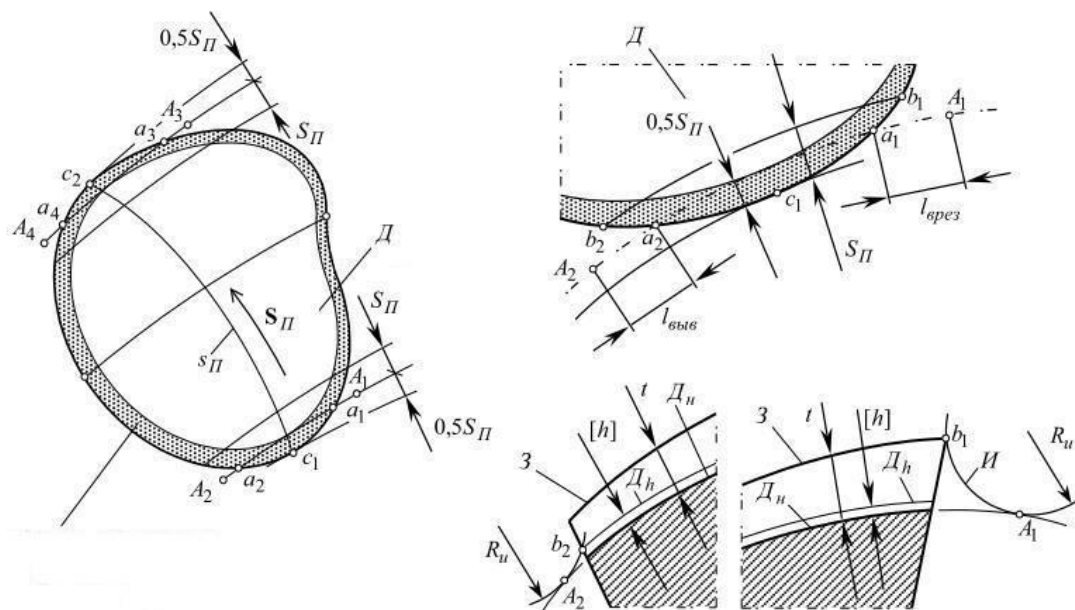


Рис. 2. Визначення положення точки початку обробки складної поверхні деталі на багатокоординатному верстаті з ЧПК

У роботах [3], [8], [12 – 13] та [15] представлені результати досліджень і практичного застосування розробленої теорії оптимізації стратегії формоутворення складних поверхонь (оптимальні траєкторії руху фрези) на трьохкоординатних фрезерних верстатах зі ЧПК. Обрані критерії оптимізації стратегій, розроблений метод вибору стратегій і їх параметрів, включає два основні етапи. Перший – визначення оптимальних параметрів для кожної зі стратегій (розглянуто 5 стратегій: окружна, радіальна, спіральна, растрова, стрічкова спіраль). Другий – порівняння максимальних значень середніх критеріїв оптимальності, отриманих для кожної зі стратегій. За результатами аналізу для обробки деталі рекомендується та стратегія, у якій цей критерій максимальний. За розробленою методикою для обробки деталі вибирається стратегія і її параметри таким чином, щоб напрямок, що задається, руху інструмента якнайменше відхилялося від теоретично оптимального напрямку, усталеного з умови досягнення максимуму локальної продуктивності формоутворення. При цьому одиничний вектор, напрямок якого в заданих координатах збігається з оптимальним напрямком формоутворення, визначає теоретично оптимальний напрямок руху інструмента в деякій точці деталі.

По запропонованому алгоритму розроблений модуль оптимізації стратегії обробки для вибору типу й параметрів стратегії чистової фрезерної обробки, який дозволяє в остаточному підсумку розрахувати наступні параметри:

- максимально досягне значення критерію;
- оптимальний кут растра;
- середній критерій для растрової стратегії при оптимальному куті растра;
- оптимальні координати центра спіральної стратегії;
- середній критерій для спіральної стратегії при оптимальних координатах центру;
- середній критерій для стратегії обробки по рівнях осі Z.

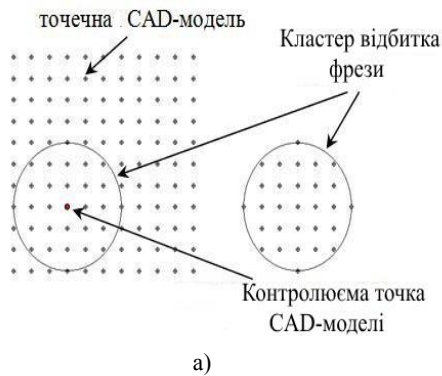
Сутність способу розподілу поверхні, який запропоновано, полягає в перевірці того або іншого інструмента на здатність відфрезерувати задану скульптурну поверхню, на підставі чого прораховуються області технологічних переходів для обраного типорозміру інструмента.

У процесі розв'язку представляється можливим:

- визначити розміри й комбінації кінцевих і сфероциліндричних фрез для обробки конкретної деталі на основі оцінки локальної та глобальної фрезеруємості;

- перевірити параметричним методом моделі на фрезеруємість за дискретними даними, представленими рівномірним масивом крапок або двовірним півтоновим растровим зображенням;

- знайти для інструментів заданої форми й розмірів кластерним методом оптимальні границі областей обробки, описувані контурними кривими,



по дискретно заданій моделі деталі (рис. 3). Кластерний метод побудований на методиці аналізу тривимірної крапкової моделі або двовірного півтонового растрового зображення.

- побудувати кубічні сплайни при апроксимації будь-якої кількості крапок замкненої кривої (рис. 4).

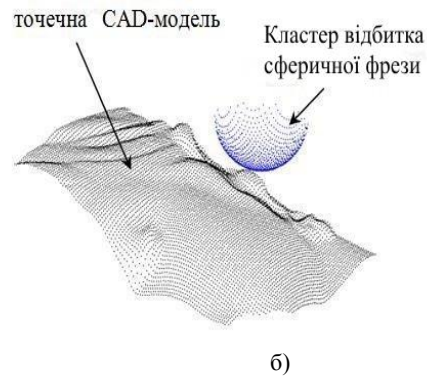


Рис. 3. Оптимальні границі областей обробки: а) генерація кластера відбитка фрези; б) перевірка криволінійних ділянок крапкової CAD-моделі

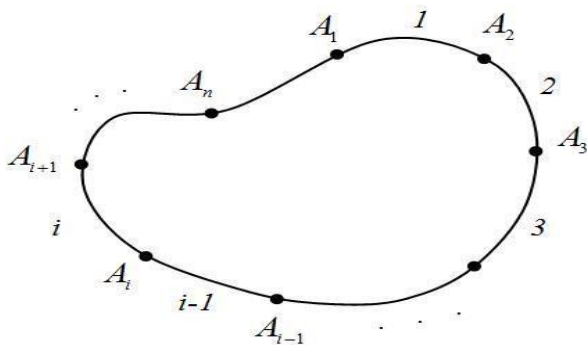


Рис. 4. Замкнена крива, що проходить через задані крапки

При чистовій обробці на фрезерних верстатах зі ЧПК довжина холостого переміщення при переході інструмента в межах двох оброблюваних ділянок залежить від локальної безпечної висоти, на яку інструмент повинен піднятися (безпечна висота забезпечує здійснення переходу інструмента від ділянки до ділянки без зіткнення інструмента із заготовкою або обробленою поверхнею деталі).

Мінімальне значення локальної безпечної висоти h може бути прийняте таким, при якому відбудеться торкання поверхні, кінцевої частини інструмента $fc(x, y, z)$ з поверхнею деталі $F(x, y, z)$.

Умова торкання двох поверхонь описує рівняння:

$$F(xm, ym, zm) = fc(xm, ym, zm),$$

де xm, ym, zm – координати крапки торкання.

Мінімальне значення локальної безпечної висоти h_{min}

$$h_{min} = zm + lpr + hz.$$

Однак, як показує практика, для деталей зі складними поверхнями, що мають велику кількість екстремумів, виявляється важким створити математичне рівняння $F(x, y, z)$.

У таких випадках можна скористатися універсальним і стійким методом, заснованим на кластерному аналізі моделі, який здатний досліджувати поверхню деталі будь-якої геометричної форми. Особливістю даного методу є розбивка електронної моделі деталі, що містить складні поверхні, на кластери (масиви крапок).

Кластерний метод дозволяє визначити zm по наступній формулі:

$$zm = \max_{i \in P} (z_i),$$

де i – i -а крапка, що належить контрольованій геометрії P ; z_i – координата центру інструмента, певна за умови зіткнення кластера інструмента з i -ою крапкою (рис. 5).

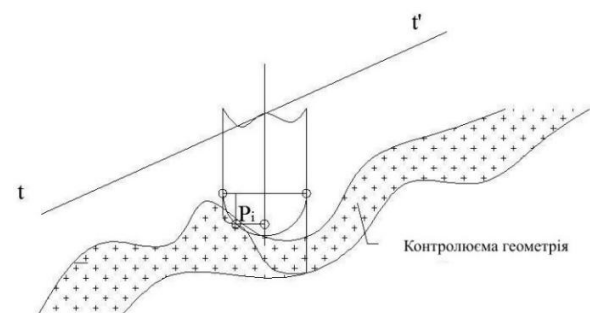


Рис. 5. Схема контакту інструмента із крапкою на контрольованій поверхні

Отже, самий короткий маршрут від попереднього ділянки до наступного при чистовій обробці деталі зі складною поверхнею може бути розрахований із застосуванням кластерного методу.

Запропонована математична модель, дозволяє визначити послідовність виконання переходів за умови мінімізації довжини траєкторії холостих переміщень інструмента при русі між двома заданими крапками й наявності різного роду обмежень

(геометрія оброблюваної заготовки й пристосування, обмежень, пов'язаних з розмірами робочої зони верстата й ін.). При цьому на першому етапі розраховуються всі можливі варіанти (припустимих і неприпустимих) послідовностей по відомій формулі евристичного алгоритму:

$$M^{(0)} = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}, i = 1, \dots, n,$$

де a_i – технологічний перехід; n – необхідне число переходів для обробки заготовки.

Загальна теоретична кількість усіляких варіантів послідовностей обробки однієї деталі (рис. 6) може бути представлено у вигляді графа.

На другому етапі виключаються неприпустимі послідовності переходів технологічного

$$M^{(-)} = \left\{ \{a_{11}^{(1)}, a_{21}^{(1)}, \dots\}, \dots, \{a_{1i}^{(i)}, a_{2i}^{(i)}, \dots, a_{ri}^{(i)}\}, \dots, \{a_{1s}^{(s)}, a_{2s}^{(s)}, \dots, a_{rs}^{(s)}\} \right\}, i = 1, \dots, S, j = \overline{1, S}, a = 1, \dots, r,$$

де $\{a_{1i}^{(i)}, a_{2i}^{(i)}, \dots, a_{ri}^{(i)}\}$ – i -а неприпустима послідовність переходів технологічного процесу; S – безліч неприпустимих ланцюжків переходів.

На третьому етапі порівнюють припустимі

$$F = \sum_{i=0}^n \sqrt{\frac{(x_{i+1} - x)^2}{V_x} + \frac{(y_{i+1} - y)^2}{V_y} + \frac{(z_{i+1} - z)^2}{V_z}} = \sum_{i=0}^n \sqrt{\frac{(x_{i+1} - x)^2}{V_x} + \frac{(\xi_{i+1} - \xi)^2}{V_y} + \frac{(\psi_{i+1} - \psi)^2}{V_z}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(\Delta x)^2}{V_x} + \frac{(\xi_1 - y_0)^2}{V_y} + \frac{(\psi_1 - z_0)^2}{V_z}} + \sqrt{\frac{(\Delta x)^2}{V_x} + \frac{(y_{n+1} - \xi_n)^2}{V_y} + \frac{(z_{n+1} - \psi_n)^2}{V_z}} + \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{\frac{(\Delta x)^2}{V_x} + \frac{(\xi_{i+1} - \xi_i)^2}{V_y} + \frac{(\psi_{i+1} - \psi_i)^2}{V_z}}.$$

$$\Delta x = \frac{x_{n+1} - x_0}{n+1}, x_{i+1} = x_i + \Delta x, i = 1, \dots, n, y \rightarrow \xi, z \rightarrow \psi.$$

У результаті практичної реалізації алгоритму керування процесом побудови траєкторій холостих переміщень інструмента на багатоопераційних токарних верстатах при обробці деталей з відношенням довжини до діаметра менш 0,5 досягається скорочення допоміжного часу на 20–30% або штучного часу на 5–10%. При цьому якість обробки відповідає заданому.

Для подальшого визначення оптимальних при холостому переміщенні фрез певного типорозміру, необхідно мати вихідні дані, які повинні включати інформацію про форму й розміри різального інструменту, і про масив крапок з координатами (x, y, z) , отриманих шляхом розбивки геометрії моделі площ, нормально розташованих стосовно осі z , із заданою дискретністю h (рис. 7). У результаті розбивки тривимірної електронної моделі одержали таблицю координат проекції крапок на ці площини (рис. 8).

Кластерний аналіз при розв'язку завдання визначення zk проводиться поетапно, при цьому:

Етап 1. Визначення крапок, що належать контрольованій геометрії, що й представляють безліч U ;

Етап 2. Визначення координату zk j локальну площину, що описує, безпеки, на якій фреза

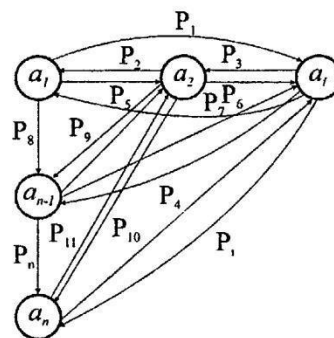


Рис. 6. Граф можливих технологічних переходів при обробці деталі

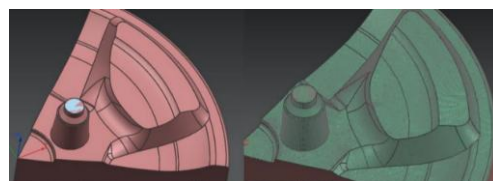
процесу, які представлені у вигляді безлічі:

послідовності між собою на предмет максимально ефективного маршруту з мінімальним часом холостих переміщень інструмента.

На цьому етапі визначається загальний час траєкторій переміщень інструмента:

стикається із крапками, що належать безлічі U , на j -ій висоті при її русі по напрямковій tt' .

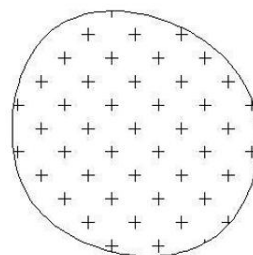
Етап 3. Визначення максимального значення z безлічі, що є значенням висоти zk , на якій фреза стосується контрольованої геометрії електронної моделі при описі руху фрези по напрямковій tt' .



а)

б)

Рис. 7. Розбивка моделі на ділянки: а) тривимірний електронний моделі; б) тривимірний електронний моделі з виділеними масивами крапок



x	y	z
2.35468	5.53462	7.23455
2.35466	5.53462	7.23457
2.35465	5.53462	7.23459
2.35464	5.53462	7.23461
2.35463	5.53462	7.23463
2.35462	5.53462	7.23465
2.3546	5.53462	7.23467
2.35459	5.53462	7.23469
2.35458	5.53462	7.23471
2.35457	5.53462	7.23473

Рис. 8. Таблиця координат крапок, отриманих у результаті розбивки 3-Д моделі

На першому етапі для відбору крапок $\{x_i, y_i, z_i\}$ тривимірної моделі деталі, які належать безлічі U , виконуються наступні кроки.

По-перше, на безлічі крапок моделі "накладається" прямокутник ABCD з параметрами, що враховують положення кінцевої / і початкової крапок (рис. 9). Метою виділення прямокутника ABCD є "районування" крапок, які можуть належати контрольованій геометрії.

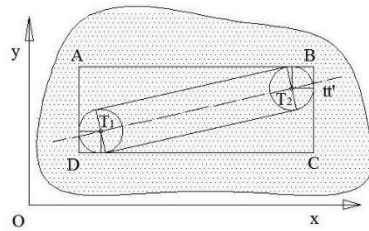


Рис. 9. Районування крапок прямокутником ABCD

По-друге, здійснюється перехід від системи координат $Oxyz$ до системи координат $Ox'y'z'$, у якій вісь Ox' паралельна напрямку tt' (рис. 10).

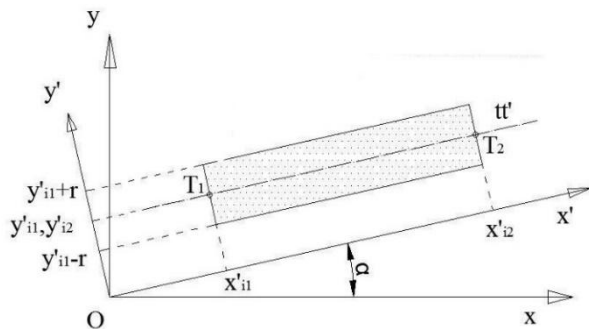


Рис. 10. Перетворення системи координат

На другому етапі аналізується положення інструмента при русі по напрямковій tt' на висоті zk_j , при торканні оброблюваної поверхні в крапці $C(x_c, y_c, z_c)$ ($C \in U$). Крапка I_3 для кінцевого інструмента розташовується в діаметральній площині, при цьому перетин фрези такою площиною має найбільшу площу (рис. 11).

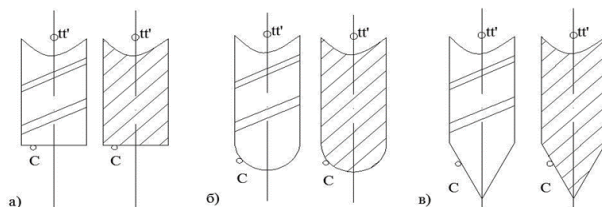


Рис. 11. Схема торкання фрези з контрольованою геометрією: а) кінцевої циліндричної; б) сфероциліндричної; в) конічних фрезами

Надалі значення zk_j повинні визначатися для трьох випадків стосовно:

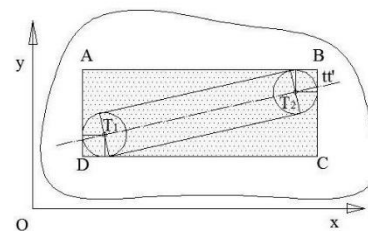
- до кінцевої циліндричної фрези (рис. 11 а);
- до сфероциліндричної фрези (рис 11 б);
- до конічної фрези (рис. 11 в);

Координати (x_i, y_i) , що належать прямокутнику ABCD, визначаються по наступній формулі:

$$\min(x_{i1}, x_{i2}) - R \leq x_i \leq \max(x_{i1}, x_{i2}) + R$$

$$\min(y_{i1}, y_{i2}) - R \leq y_i \leq \max(y_{i1}, y_{i2}) + R$$

де R – радіус фрези.



З рис. 10 випливає, що висота zk_j крапки I_3 стосовно до кінцевої циліндричної фрези дорівнює висоті вершини D.

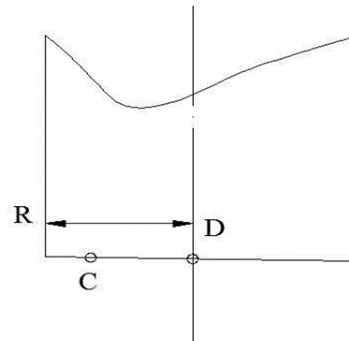


Рис. 12. Схема визначення розрахункової висоти вершини

При пошуку найвигіднішої послідовності обробки всіх ділянок складної поверхні фрезами одного типорозміру з обліком їх стійкості може бути використаний алгоритм мінімізації холостих переміщень від одного оброблюваного ділянки до іншого. Таке завдання може бути описана графом $G=(V, E)$ з безлічами вершин $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ і ребер $E = \{e\}$ (рис. 13).

При цьому v_0 може асоціюватися з позицією зміни фрез; $v_1, \dots, v_n$ – оброблювані ділянки, довжина ребра $e \in E$, що з'єднує дві вершини графа з довжиною холостого переміщення Se при зміні оброблюваного ділянки. При побудові моделі час, за який фреза повинна завершити обробку ділянки – T_i ; гарантований період стійкості фрези – Q .

Необхідно знайти m маршрутів фрез із мінімальною сумарною довжиною їх холостих переміщень. Ці маршрути повинні починатися й закінчуватися в позиції зміни фрез v_0 , фреза повинна проходити через кожну ділянку v_i тільки один раз. При цьому, кожна ділянка повинен бути повністю оброблено однієї фрезою. Крім того, робочий час у кожній фрези не повинне перевищувати її заданого періоду стійкості Q .

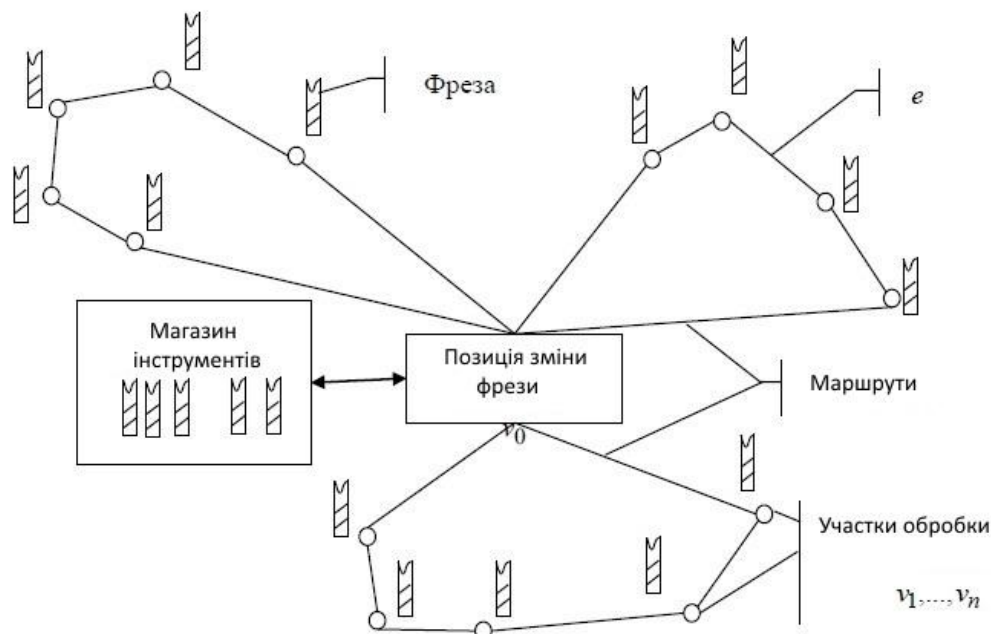


Рис. 13. Схема до розв'язку завдання маршрутизації інструментів

Як відзначалося раніше, завдання такого роду може бути вирішено двома способами: точним і приблизним.

Точний метод розв'язку придатний у випадку невеликої кількості оброблюваних ділянок і дає оптимальний варіант.

Приблизний метод розв'язку широко розповсюджений у випадку значної кількості оброблюваних ділянок. При його застосуванні одержуваний розв'язок наближається до оптимального.

Висновки

В результаті комплексних теоретичних і експериментальних досліджень виявлено методи оптимізації приватних і загальних стратегій при обробці деталей зі складними поверхнями.

Застосування їх в комплексі сприяє підвищенню продуктивності і ефективності використання дорогих багатоцільових верстатів. На основі аналізу раніше проведених досліджень здійснено вибір приватних стратегій обробки деталі: розподіл поверхні на окремі конструктивно-технологічні області, вибір інструментів і локальної стратегії обробки для кожного виділеного ділянки. Отримано математичні залежності параметрів маршрутизації інструментів, розроблені алгоритми визначення найліпших маршрутів інструментів при зміні ділянок обробки і зміни фрез з урахуванням їх стійкості. На основі алгоритму і математичного апарату, отримано послідовності виконання технологічних переходів, які мінімізують холості переміщення інструментів при обробці фрезеруванням складних поверхонь на верстатах з ЧПК.

Список літератури

1. Радзевич С. П. Формообразование поверхностей деталей. Растан, 2001. 592 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А. М. Дальского. М. : Машиностроение-1, 2003. 912 с.
3. Шикин Е. В., Боресков А. В. Компьютерная графика. Полигональные модели. М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. 464 с.
4. Скоркін А. О., Кондратюк О. Л. Основні принципи комплексного управління складально-різьбоутворюючим процесом. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2017. № 2 (2). С. 77–85. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.077>.
5. Баранчукова И. М., Гусев А. А., Крамаренко Ю. Б. и др. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения : Учеб. для машиностроит. спец. вузов / Под ред. Ю. М. Соломенцева. 2-е изд. М. : Высш. Шк., 1999. 416 с.
6. Кормен Т. и др. Алгоритмы. Построение и анализ / пер. с англ. И. В. Красикова, Н. А. Ореховой, В. Н. Ромашова. 2-е изд. М. : Вильямс, 2005. 1290 с.
7. Baldacci R., Hadjiconstantinou E., Mingozzi A. An Exact Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem Based on a Two-Commodity Network Flow Formulation. *Operations Research*. 2004. Vol. 52. P. 723–738.
8. Wallner J. Smoothness and Self-Intersection of General Offset Surfaces. *Geometry*. 2001, Issue 70. P. 176–190.
9. Archetti C., Hertz A., Speranza M.G. A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem, *Transportation Science*. 2006. Vol. 40. P. 64–73.
10. Baldacci R., Hadjiconstantinou E., Mingozzi A. An Exact Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem Based on a Two-Commodity Network Flow Formulation. *Operations Research*. 2004. Vol. 52. P. 723–738.
11. Barnhill R. E., Farin G., Fayard L., Hagen H. Twists, Curvatures and Surface Interrogation. *Computer Aided Design*. 1988. Vol. 20. No. 6. P. 341–346.

12. Beck J. M., Farouki R. T., Hinds J. K. Surface Analysis Methods. *EEE Computer Graphics and Application*. 1986. Vol. 6. No. 12. P. 18–36.
13. Clarke G., Wright J. W. Wright Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*. 1964. No. 12. P. 568–581.
14. Cohen E., Lych T., Schumaker L. Algorithms for degree raising for splines. *ACM Transactions on Graphics*. 1986. Vol. 4. No. 3. P. 171–181.
15. Aksen D., Zyurt Z., Aras N. Open vehicle routing problem with driver nodes and time deadlines. *Journal of the Operational Research Society*. 2006. Vol. 58. Issue 9. P. 255–261.
16. Dill J. C. An Application of Color Graphics to the Display of Surface Curvature. *SIGGRAPH*. 1981. P. 153–161.

References

1. Radzevich, S. P. (2001), *Shaping surfaces of parts [Formoobrazovanie poverhnostej detalej]*, Rastan, 592 p.
2. Directory technologist-mechanical engineer [Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja] / Edited by A. M. Dalsky, Moscow : Engineering-1, 2003, 912 p.
3. Shikin, E. V., Boreskov, A. V. (2000), *Computer graphics. Polygonal models [Komp'yuternaja grafika. Poligonal'nye modeli]*, Moscow : DIALOG-MIFI, 464 p.
4. Skorkin, A., Kondratyuk, O. (2017), "The basic principles of the integrated management of the process of assembly and threading", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 77–85. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.077>.
5. Baranchukova, I. M., Gusev, A. A., Kramarenko, Yu. B. et al. (1999), *Designing Automated Engineering Technology: Proc. for machine building. specialist. universities* / ed. Yu. M. Solomentsev, 2nd ed. M.: Higher. Sc., 416 p.
6. Kormen, T. et al. (2005), *Algorithms. Construction and analysis* / Trans. from English I. V. Krasikova, N. A. Orekhova, V. N. Romashova, 2nd ed., Moscow : Williams, 1290 p.
7. Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E., Mingozzi, A. (2004), "An Exact Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem Based on a Two-Commodity Network Flow Formulation", *Operations Research*, Vol. 52, P. 723–738.
8. Wallner, J. (2001), "Smoothness and Self-Intersection of General Offset Surfaces", *Geometry*, Issue 70, P. 176–190.
9. Archetti, C., Hertz, A., Speranza, M. G. (2006), "A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem", *Transportation Science*, Vol. 40, P. 64–73.
10. Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E., Mingozzi, A. (2004), "An Exact Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem Based on a Two-Commodity Network Flow Formulation", *Operations Research*, Vol. 52, P. 723–738.
11. Barnhill, R.E., Farin, G., Fayard, L., Hagen, H. (1988), "Twists, Curvatures and Surface Interrogation", *Computer Aided Design*, Vol. 20, No. 6, P. 341–346.
12. Beck, J. M., Farouki, R. T., Hinds, J. K. (1986), "Surface Analysis Methods", *EEE Computer Graphics and Application*, Vol. 6, No. 12, P. 18–36.
13. Clarke G., Wright, J. W. (1964), "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", *Operations Research*, No. 12, P. 568–581.
14. Cohen, E., Lych, T., Schumaker, L. (1986), "Algorithms for degree raising for splines", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 4, No. 3, P. 171–181.
15. Aksen, D., Zyurt, Z., Aras, N. (2006), "Open vehicle routing problem with driver nodes and time deadlines", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 58, Issue 9, P. 255–261.
16. Dill, J. C. (1981), "An Application of Color Graphics to the Display of Surface Curvature", *SIGGRAPH*, P. 153–161.

Надійшла (Received) 28.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Скоркін Антон Олегович – кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри машинобудування та транспорту, Харків, Україна; e-mail: Andromeda862@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3032-8341>.

Скоркин Антон Олегович – кандидат технических наук, доцент, Украинская инженерно-педагогическая академия, доцент кафедры машиностроения и транспорта, Харьков, Украина.

Skorkin Anton – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Associate Professor at the Department of Engineering and Transport, Kharkiv, Ukraine.

Кондратюк Олег Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри машинобудування та транспорту, Харків, Україна; e-mail: kondr20071@i.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3263-0483>.

Кондратюк Олег Леонидович – кандидат технических наук, доцент, Украинская инженерно-педагогическая академия, доцент кафедры машиностроения и транспорта, Харьков, Украина.

Kondratyuk Oleg – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Associate Professor at the Department of Engineering and Transport, Kharkiv, Ukraine.

Старченко Олена Павлівна – Харківський радіотехнічний технікум, заступник директора з навчальної роботи, Харків, Україна; e-mail: Estarchenko79@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7444-6668>.

Старченко Елена Павловна – Харьковский радиотехнический техникум, заместитель директора по учебной работе, Харьков, Украина.

Starchenko Olena – Kharkiv Radio Engineering College, Deputy Director for Academic Affairs, Kharkiv, Ukraine.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ХОЛОСТЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Предметом исследования в статье является влияние последовательности выполнения переходов на вспомогательное время, затрачиваемое на холостое перемещение станка при изменении обрабатываемого участка и при смене инструмента. **Цель** исследования заключается в повышении производительности процесса чистового фрезерования при обработке деталей сложной формы путем минимизации вспомогательного времени, что позволяет определить оптимальную последовательность выполнения переходов. В статье решаются следующие **задачи**: определение основных подходов в формировании общих стратегий обработки деталей со сложными поверхностями, анализ алгоритмических решений и методов определения лучшего маршрута перемещений инструментов от участка к участку и выгодной последовательности обработки участков сложной поверхности с учетом ограничений по перемещению и стойкости инструмента, разработка математической модели минимизации холостых перемещений при изменении обрабатываемых участков и инструментов на основе точного описания геометрии детали. Используются следующие **методы**: теоретические и экспериментальные методы исследования, включающие методы системно структурного анализа; методы математической статистики; численные методы высшей математики, теория графов. Получены следующие **результаты**: В результате комплексных теоретических и экспериментальных исследований выявлены методы оптимизации частных и общих стратегий при обработке деталей со сложными поверхностями. Разработан метод определения оптимального маршрута фрез одного типоразмера при движении между группой участков, подлежащих обработке. На основе точного описания геометрии детали разработана математическая модель минимизации холостых перемещений при изменении обрабатываемых участков. Определены параметры, обеспечивающие минимизацию холостых перемещений при изменении обрабатываемых участков и реализацию алгоритмов расчета длин и положений локальных плоскостей безопасности для последовательно обрабатываемых участков. **Выводы**: Применение подходов в формировании общих стратегий обработки деталей со сложными поверхностями способствует повышению производительности и эффективности использования дорогих многоцелевых станков. Применение данного метода определения лучшего маршрута перемещений инструментов позволяет определить вариант маршрута с минимальным значением вспомогательного времени, затрачиваемого на холостые движения инструментов.

Ключевые слова: ЧПУ; инструмент; фрезерования; проектирование; сложнопрофильные поверхности; чистовая обработка.

THEORETICAL BASES OF OPTIMIZING A TOOL IDLE MOTION WHILE MILLING COMPLEX SURFACES

The subject matter of the article is the impact of the sequence of changes for auxiliary time spent on idle motions of a machine unit when changing a machinable area or when changing tools. The **goal** of the study is to improve the finishing milling capacity when machining geometrically complicated parts by minimizing auxiliary time, which enables determining the optimal sequence of changes. The following **tasks** were solved in the article: the main approaches to developing general strategies for machining geometrically complicated parts were determined; algorithmic solutions and methods for determining the best route for moving tools from site to site were analyzed as well as the advantageous sequence of machining geometrically complicated parts, taking into account motion limitations and constraints for tool life; a mathematical model of minimizing idle motions when changing machinable areas and tools on the basis of the point description of the part geometry. The following **methods** were used: theoretical and experimental research methods including the system and structural analysis; the methods of mathematical statistics; numerical methods of advanced mathematics, the graph theory. The following **results** were obtained. As a result of complex theoretical and experimental studies, methods for optimizing particular and general strategies when machining geometrically complicated parts were identified; a method for determining the optimal route of cutters of the same size when moving within a group of machinable areas was developed; based on the point description of the part geometry, a mathematical model for minimizing idle motions when changing machinable areas was developed; the parameters that minimize the idle motions when changing machinable areas and provide the implementation of algorithms for calculating the lengths and positions of local clearance plane for sequentially machined sections are determined. **Conclusions**. The use of approaches to develop common strategies for machining geometrically complicated parts contributes to an increase in the capacity and efficiency of using expensive multi-purpose machines. The use of this method for determining the best route for moving the tools enables determining the route variant with the minimum value of the auxiliary time spent on idle tool motions.

Keywords: CNC; tool; milling; designing; geometrically complicated parts; finishing treatment.

V. FILATOV, V. SEMENETS

MULTIAGENT APPROACH FOR MANAGING THE INFORMATION SPACE OF CORPORATE SYSTEMS

The **subject matter** of the study is the integration and management of information resources of distributed computing corporate systems within the common information space. The **goal** of the study is to develop scientifically based models for supporting intelligent technologies for the integration and management of information resources of distributed computing systems. In accordance with the goal of the study, the article deals with the following **tasks**: to develop a formal-logical model of the information space, to study and formalize agent-oriented tasks, to select the model of a software agent, to substantiate the information technology aimed at effective information management in corporate systems. The following **results** were obtained: a formal model of the information space of a corporate information system was developed; the role and place of a user of the information system resources were determined; the concept of the task and the flow of user tasks in the information space were considered and formalized; the definition of a software agent, multi-agent space and a multi-agent space management system were suggested; the model of the frame structure of knowledge representation modified by the authors is proposed as a logical model of a software agent. **Conclusions.** The analysis of domestic and foreign sources showed that the study in the field of integration of information resources of distributed systems and building a unified information space does not fully meet the modern requirements of users and developers of application software. Existing solutions based on integration technologies do not allow heterogeneous information structures to be actually integrated. Basing on the study of the main business processes in information systems "user - information environment", a model of information multi-agent space of a computer system was developed and investigated. The main components of a multi-agent system were identified and basic entities were formally defined as a software agent and a multi-agent space. The agent-oriented approach to solving managerial problems and integrating information resources of distributed computing systems was formulated and substantiated.

Keywords: information system; database; data integration; intelligent systems; heterogeneous information structures; frame; software agent; multi-agent system; task flow.

Introduction

The modern level of social development has determined the information technology industry as a strategic direction where huge intellectual and financial resources are concentrated. Information and information management tools – software products of various functional purposes – acquired the status of information resources [1]. Information management, like other areas of computer science, is undergoing radical changes in a number of its aspects: in storage and access models, in the scale of designed systems, as well as in basic information technologies. A number of studies deal with the study of issues related to the modern presentation of information, information resources and information technologies [2–6]. And nowadays the concept of information management is more and more extending to such an area as the information space [7].

The information space includes everything that is connected with the storage and purposeful processing of information. Information resources and means of their processing (databases, files, protocols, classifiers, document standards, computers, network equipment, telecommunication facilities, etc.) lie on the basis of the information space. The information space is structured through information systems – interrelated sets of methods and means of collecting, accumulating and storing, searching and analyzing, distributing and presenting information [8]. Information resources are concentrated within information systems (IS).

Combining resources on the basis of the information and communication interaction of information systems brings them to the level of corporate information resources that are called Common Information Space

(CIS). The CIS of a region, corporation, enterprise can be implemented by creating and maintaining the standard for the interaction between both information systems and individual applications.

The problem analysis and the review of the existing methods of solving the set task

At the present stage of development of computer-oriented methods and information management tools, the issues of building the common information space are of primary importance. Over the past ten years, computer technologies have gone far beyond local application and the worldwide computer network Internet has opened up new functionalities for users. At the same time, the integration level of information systems, namely the study and development of methods for constructing the information space, does not fully meet the requirements of users at the present stage. The amount of stored and processed information continues increasing, which emphasizes the necessity to move some processing functions of heterogeneous information to intelligent systems. Such systems should independently obtain information, process it autonomously, make decisions about its further promotion within the information space [9]. Initially, decision-making systems dealt with similar issues. These systems were developed in two directions.

The first one involves developing intelligent systems for analyzing the flow of information, identifying dependencies in this stream, compiling data. Such a system provides a user with information that has been analyzed and processed. The received information is usually accumulated in databases, databanks and, if necessary, one can get access to its resources for more

thorough studying.

The second direction involves applying artificial intelligence methods. Such a system analyzes the situation and then gives its recommendations on it. If necessary, a user can learn the results and make own decision. However, the user of an information or information management system needs the system to be able to affect the processes of processing and managing information within the information space autonomously.

The study is aimed at creating intelligent systems for integrating and managing information resources of distributed computing systems. Integration is considered as the management of heterogeneous information based on an intelligent intermediary system, which enables access to multi-format information contained in the developed structures - data files and databases. An intelligent system based on software agent technology can be used as an intermediary system. Studies in the field of agent-oriented technologies as an integral part of the tasks of distributed artificial intelligence, modern advances in the field of computer systems made it possible to identify this area as an independent rapidly developing field of research and applications [10].

The problems of intelligent agents and multi-agent systems have been formulated on the basis of studies in the sphere of the distributed artificial intelligence. Agent technologies can be applied to workflow management [11], network management, information retrieval, e-commerce, education [12], digital libraries and to a variety of other applications [13].

The development of a formal-logical model of the information space

The computing environment of a modern corporation, institution, office, as a rule, is a server, network equipment, local computers, office equipment for various purposes, applied, system and special software. All computing system resources – from user files, database structures, application programs to system components – are stored in files and files are stored in named directories. Such a technology of a computing system organization is conceptual and depend neither on the class of tasks solved by a user nor on the type of interaction between a server and a local computer. Thus, the computing environment is an invariant component of any information system and creates the information space [14].

The information space can be represented as an abstract algebraic system:

$$E = \langle O, S, \Omega \rangle, \quad (1)$$

where O is the objects of the information space; S is the interrelations among O objects; Ω is object manipulation operations in E environment.

The components of a modern computing system can be the model objects (1), these are files of all types, directories, logical and physical disks, personal computers $O = \{o_n | n = \overline{1, N_1}\}$. The relation $S = \{s_n | n = \overline{1, N_2}\}$ among

the objects of the information space determines specific computer environment configuration E , oriented to a specific user or users, $G = \{g_n | n = \overline{1, N_3}\}$ is a set of users.

Depending on the goals set for a user and the computer environment, all actions are conducted on the basis of operations $\Omega = \{q_n | n = \overline{1, N_4}\}$. An example of a set of elementary operations $\Omega = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ can be such file manipulation operations in the information space as $\{\langle \text{run} \rangle, \langle \text{copy_from_to} \rangle, \dots, \langle \text{delete} \rangle\}$. All operations on objects at arbitrary times $t_1, t_2, \dots, t_m$, $t_{m+1} > t_m$ are initiated by the user g_n of the information space on the basis of the formalized plan of actions $z_{n1}^*(t_1), z_{n2}^*(t_2), \dots, z_{nm}^*(t_m)$ or unitary action $z_1^*(t)$.

Thus, the formalized task $z_1 = \langle \text{to copy file from_to} \rangle$, can be solved by the following operations $q_1 = \langle \text{copy_from_to} \rangle$.

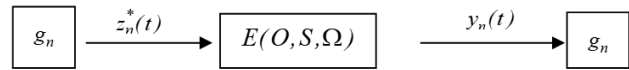


Fig. 1. The pattern of the user interaction with the information space

The pattern of the interaction *user – information space* is presented in fig.1.

The model of the user interaction with the information space can be presented as follows

$$y_n(t) = e_n(z_n(t)), \quad i = \overline{1, N_3}, \quad (2)$$

where $z_n(t)$ is the input impact on the information space made by the user $g_n \in G$; $y_n(t)$ is the response of the system E , that is configured for the user g_n and looks like e_n .

In the general case, $z_n(t)$ is an elementary task that the user $g_n \in G$ solves using the information system $E(O, S, \Omega)$.

Elementary tasks can be combined into functional tasks by combining elementary operations $q_1, q_2, \dots, q_n$ into a sequence of interrelated operations of the algorithm $a_k = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, $a_k \in \Lambda$, where Λ is a set of algorithms for solving functional problems. Depending on the structure and interrelation of tasks solved by the user, they can be combined into sequences or task flows. The task flow of the user $g_n \in G$ is called such a sequence, $P(y_n) = \{y_{n1}, y_{n2}, \dots, y_{nk}\}$ which meets the following conditions:

$$y_{nj}(t) = e_{nj}(z_{nj}(t)), \quad n = \overline{1, N_3}, \quad j = \overline{1, K}. \quad (3)$$

$$z_{nj}(t) = y_{nj+1}(t), \quad (4)$$

where j is the ordinal number of the task of the n -th user.

Let us detail the meaning of constraints (3–4). The effect of restriction (3) is as follows. While working with the information system, a user has a plan of sequential or

parallel operations (actions), for example, to copy unnecessary files to the "recycle bin", then start the anti-virus program, then open the database file and execute a SQL query. The meaning of constraint (4) is the following – the result of the previous task is an indispensable condition for starting the next task or tasks. A feature of the task flow technology lies in the fact that tasks can form both a sequential and an arbitrary sequential-parallel process for solving them. The main condition for grouping tasks into a stream is to coordinate adjacent tasks on input/output, while at intermediate stages, a task (in the general case) can be understood as a user action that does not require tools to support the computer system [15].

Let us consider a special case of the task flow, when to solve each task z_{nk} , there is an instrumental software package or software module $m_k \in M$, where M is a set of software modules that implement a set of tasks Z . In addition, the conditions for the coordination of tasks in a flow should be met. The first condition is the logical completion of the previous task and the beginning of the next one.

The second condition is the condition for data coordination at the intermediate stages of the solution: $y_{nj}(t) = z_{nj+1}(t)$, where the output data of the previous task are the input data for the following task. Then, the general solution of the task flow can be represented as a sequence of solving the task $z_{n1}^*(t), z_{n2}^*(t), \dots, z_{nj}^*(t)$, $i = \overline{1, N_3}$, $j = \overline{1, K}$.

The development and study of a software agent model on the frame basis

For the considered class of tasks, where the user is an "active element" to initialize their implementation and the data formats at the intermediate stages of the coordination coincide or the sequence of their solutions is strictly defined, the task of autonomous task (task flow) management can be formulated and solved basing on the technology of software agents.

Let us introduce the basic definitions.

Definition 1.

A software agent is an application that operates in the computer environment on the basis of the *condition-action* model and is used to perform the tasks of a user information support autonomously.

Definition 2.

A multi-agent space is an information space of a computer system where software agents, which are either autonomous or coordinated by a multi-agent space control system (MASCS), operates for the purposes of a user.

Definition 3.

A multi-agent space control system is a manager that designs, develops, implements, monitors and analyzes the operation of a system based on the technology of software agents.

Definition 4.

The technology of software agents is the principle of managing information resources of a distributed computing environment based on autonomous software applications (software agents).

For the formal definition of the concept of a multi-agent space, let us consider the model of the information space (1) and the model of the multi-agent space can be represented as:

$$E_p = \langle O_g, S_g, \Omega_g \rangle. \quad (5)$$

In this case, a set of objects of the information space can be represented as $O_g = O \cup A_g$, where A_g is a set of software agents.

A set of relations $S_g = S \cup S_a$, where S_a is a set of relations among the agents A_g and the objects of the O_g , and a set of relations $\Omega_g = \Omega \cup \Omega_a$, where Ω_a is a set of operations among the agents A_g and the objects of the information space O_g .

Let us consider a software agent as an abstract algebraic system. In this case, the concept of a software agent should involve a universal language for describing data and means of manipulating the entire range of types of information system data, from text files to database files. Such a hierarchical approach to building a software agent model is not rational for the following reasons. The basic file types and their structure (*.txt, *.xls and so on) have been developed, as a rule, for specialized software systems, thus *.doc files – for the text editor WORD, *.dbf files – for database control systems. In very rare exceptions these applications are closed algebraic systems.

Recently, the attention of researchers has been focused on the development of the concept of data type, taking into account the principle of hierarchical construction, without relating to initial or terminal algebras. The hierarchical data type is constructed on the basis of one or several primitive types (which, in turn, can be hierarchical) that are included in the original data type system. Each primitive type can be analyzed and implemented separately; the information about the types that can be constructed with it will not be used. On the other hand, the newly created type can be considered as a "black box", whose behaviour is evaluated in terms of primitive types.

Basing on the above, the concept of a software agent model as an algebraic system consisting of disjoint closed subsystems should be considered.

Statement. In the algebraic system $U_a = \langle A, \Omega \rangle$, where $\Omega = \Omega_f \cup \Omega_p$, $\Omega_f = \{F_1, \dots, F_k\}$, $\Omega_p = \{\pi_1, \dots, \pi_m\}$, $A = \{A_1, A_2, \dots, A_r\}$, the non-empty subset $A_1 \subseteq A$ is called closed if $\forall A_1 \exists \langle F_k, \pi_i \rangle$, that is, A_1 is closed regarding each major operation F_k of this system. This means that the result of any major operation, performed on arbitrary elements of the set A_1 , belongs to A_1 again. Let F_k' and π_m' designate operations and predicates, determined on A_1 , whose values on A_1 correspond to the values of operations $F_k \in \Omega$ and predicates $\pi_m \in \Omega$. As a result, there is the algebraic system $U_{a1} = \langle A_1, \Omega' \rangle$,

which is a subsystem or a sub-model of the system U_a . The subsystem U_{a1} is uniquely determined by the set A_1 and, hence, instead of $U_{a1} = \langle A_1, \Omega \rangle$ $U_{a1} = \langle A_1, \Omega \rangle$ can be used.

The above statement enables representing the model of the software agent as an abstract data type in terms of non-overlapping subtypes. One of the well-known structures of data representation and knowledge that satisfies the conceptual model of multi-agent space (5) is a frame. To implement the technology of interaction between a software agent and objects of the computer environment, the frame structure can be used as a model of a software agent. A software agent model can be represented by a frame. In the general case, such a model can be written as:

$$FR = \left\{ \langle R_1, C_{11}, C_{12}, \dots, C_{1m} \rangle, \dots, \langle R_2, C_{21}, C_{22}, \dots \rangle, \dots, \langle R_n, C_{n1}, C_{n2}, \dots, C_{nm} \rangle \right\}, \quad (6)$$

where FR is the frame name; pair $\langle R_i, C_i \rangle$ is the i -th frame slot; R_i is the slot name, C_i is the slot value.

Based on the frame (6), the model of the software agent can be implemented in terms of $\langle \text{objects} \rangle$, $\langle \text{conditions} \rangle$, $\langle \text{actions} \rangle$, $\langle \text{priority} \rangle$. The frame acts as a universal framework or a standard shell, into which functional modules-slots can be added to solve specific problems of information resources administration. Each slot can be formed from four attributes of basic types and perform the required operations with data. The slot in the model (6) is a logical structure for implementing specific tasks for a frame – a software agent.

Slots from the frame can be removed, add, change the functionality of the slot-task. However, the classic representation of a slot as a structure $\langle \text{name} \rangle$, $\langle \text{meaning} \rangle$ cannot fully represent the requirements of the conceptual model of a software agent. Let us modify the slot structure and transform it as:

$$\text{Slot} = \langle U, D, \text{dom}, r_i, \theta, \Omega \rangle, \quad (7)$$

where U is a set of attribute names, D is a set of domains, dom is the display $U \Rightarrow D$, θ is a set that determines initial conditions and signs of actions in the task structure, Ω is a set of operations, and $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3\}$, where Ω_1 is operations on slots-tuples, Ω_2 is operations on slot states, Ω_3 is operations on the values of typical attributes.

And $\Omega_3 = \{\Omega_{31}, \Omega_{32}\}$, where Ω_{31} is operations on the data of the same type, Ω_{32} is inter-type operations, r_i is the model-tuple of the i -th task of the agent,

$$r_i = \left\{ \{R\}_{ij}, \Omega_i, V_i \right\}, \quad (8)$$

where $\{R\}_{ij}$ is a set of the states of the tuple r_i , V_i is a set of integrity constraints, $\Omega_{ij} \subset \Omega_2$ is a set of operations over $\{R\}_{ij}$.

In accordance with the basic requirements for the properties of software agents - the autonomy of operation and the ability to perform meaningful actions, let us consider an approach to building the model of the software agent behaviour basing on the concept "frame-slot" [16].

A slot in the mathematical model (7) can be represented as a logical model when the values of the attributes of the set при значениях атрибутов множества U are equal to $\{\langle OBG \rangle, \langle ACT \rangle, \langle CON \rangle, \langle STA \rangle\}$. Taking into consideration (8), the slot logical model can be considered as a 2D object, whose structure is shown in fig. 2.

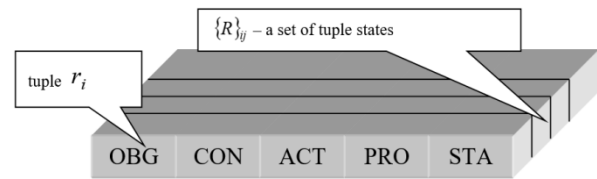


Fig. 2. 2D slot model

Example

The behaviour of a reflective software agent refers to the primitive type of behaviour of the "condition-action" type. When the condition specified by the [CON] attribute format is met, the action determined by the [ACT] specification is performed. The result of the task is reflected in the only tuple state, the sign of the execution is 1 if the action is completed successfully and 0 if the action is not completed successfully, and is stored in the value of the [STA] attribute. If a condition is specified for repeated actions, the result of the last execution will be displayed in the slot tuple state. The task for a reflective software agent is to copy an Itog.txt file, which is in C:\PR directory, to C:\ARXIV directory at 18.00 every day.

OBG:	CON:	ACT:	STA:
C:\PR\Itog.txt	Time=18-00	Copy from C:\PR to C:\ARXIV	
Itog.txt	18-00	Copy from C:\PR to C:\ARXIV	1

Fig. 3. The example of a reflexive software agent

When analyzing the actions of a reflective software agent, one can only judge whether the last operation to copy the file was correctly performed at 18.00.

Conclusions

The analysis of domestic and foreign sources showed that the study in the field of integration of information resources of distributed systems and the construction of the common information space do not fully meet the modern requirements of users and developers of application software. Existing solutions based on integration technologies do not allow heterogeneous information structures to be actually integrated. Basing on the study of main business processes in information systems "user - information environment", the model of the information multi-agent space of a

computer system was developed and investigated. The main components of a multi-agent system were identified and basic entities were formally defined as a program agent and a multi-agent space. The agent-

oriented approach for solving management problems and integrating information resources of distributed computing systems and databases was formulated and substantiated.

References

1. Kogalovsky, M. (2010), *Methods of data integration in information systems [Metody integratsii dannyh v informatsionnih sistemah]*, Market economy institute RAOs, Moscow, 74 p.
2. Chernyak, L. (2009), "Data integration: syntax and semantics" ["Integratsia dannyh: sintaksis i semantica"], *Open systems*, No. 10, available at : <http://www.osp.ru/os/2009/10/11170978>.
3. Ziegler, P., Dittrich, K. R. (2007), "Data Integration. Problems, Approaches, and Perspectives", *Conceptual Modelling in Information Systems Engineering*, P. 39–58. DOI: 10.1007/978-3-540-72677-7_3
4. Wooldridge, M. (2002), *An Introduction to Multi-Agent Systems*, John Wiley & Sons Ltd, 366 p. ISBN 0-471-49691-X.
5. Nagata, T., Nakayama, H., Utatani, M., Sasaki, H. (2002), "A multi-agent approach to power system normal state operation", *Proc. IEEE/Power Eng. Soc. General Meeting*, Vol. 3, P. 1582–1586.
6. Solanki, J. M., Khushalani, S., Schulz, N. N. (2007), "A multi-agent solution to distribution systems restoration", *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 22, No. 3, P. 1026–1034.
7. Nagata, T., Ohono, M., Kubokawa, J., Sasaki, H., Fujita, H. (2002), "A multi-agent approach to unit commitment problems", *Proc. IEEE PES Winter Meet.*, P. 64–69.
8. Glava, M., Malakhov, V. (2018), "Information Systems Reengineering Approach Based on the Model of Information Systems Domains", *International Journal of Software Engineering and Computer Systems (IJSECS)*, University Malaysia Pahang, Vol. 4, P. 95–105. DOI: 10.15282/ijsecs.4.1.2018.8.0041.
9. Phillips, L., Link, H., Smith, R., Welland, L. (2006), "Agent-based control of distributed infrastructure resources", available at : <https://prod.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2005/057937.pdf> (last accessed 23.11.2018).
10. Ponomarenko, L., Filatov, V. (2001), "Software agent technologies in the administration of databases" ["Programni agentni tehnologii v administruvanni baz dannyh"], *Herald Kyiv national university of trade and economics*, No. 3, P. 68–73.
11. Yosin, V. (2012), "Database development techniques for information systems" ["Metody razrabotki baz dannyh dlya informatsionnih sistem"], *Herald Kharkiv National University*, No. 1037, P. 64–72.
12. Semenets, V., Kauk, V., Avrunin, O. (2009), "The advanced technology of remote training at the initial process" ["Vprovadzhennya tehnologii dystantsiynogo navchannya u navchalnii protses"], *High School*, No. 5, P. 40–51.
13. Sun, R. (2006), *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*, Cambridge University Press, New York.
14. Filatov, V., Kozyr, O. (2005), "Multi-agent approach to the identification of users in the system of distance education" ["Multiagentnii podhod k identifikatsii polzovateley v sisteme dystantsionnogo obrazovaniya"], *Education, science, production and management. Collection of works of the regional scientific conference, In 2 volumes*, Stary Oskol LLC TNT, Vol. 1, P. 284–290.
15. Filatov, V., Krivonosov, V., Kozyr, O. (2013), "Adaptive autonomous scenarios in enterprise information resource management tasks" ["Adaptivnie avtonomnie stsennarii v zadachah upravleniya informatsionnimi resursami predpriyatiya"], *Engineering Herald of the Don*, No. 3, available at : <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1779>.
16. Filatov, V. (2004), *Multi-agent technologies for integration of heterogeneous information systems and distributed databases [Multiagentnii tehnologii integratsii geterogennih informatsionnih sistem i raspredelennih baz dannyh]*, Kharkiv National University of Radio electronics, 341 p.

Received 23.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Філатов Валентин Олександрович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри штучного інтелекту, Харків, Україна; e-mail: valentin.filatov@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3718-2077>.

Філатов Валентин Александрович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой искусственного интеллекта, Харьков, Украина.

Filatov Valentin – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head at the Department of Artificial Intelligence, Kharkiv, Ukraine.

Семенец Валерій Васильович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, ректор, Харків, Україна; e-mail: valery.semenets@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-2143>.

Семенец Валерий Васильевич – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, ректор, Харьков, Украина.

Semenets Valerii – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Rector, Kharkiv, Ukraine.

МУЛЬТИАГЕНТНИЙ ПІДХІД В ЗАДАЧАХ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОСТОРОМ КОРПОРАТИВНИХ СИСТЕМ

Предметом дослідження є інтеграція і управління інформаційними ресурсами розподілених обчислювальних корпоративних систем в рамках єдиного інформаційного простору. Метою проведених досліджень є розробка науково-обґрунтованих

моделей підтримки інтелектуальних технологій інтеграції і управління інформаційними ресурсами розподілених обчислювальних систем. Відповідно до поставленої мети досліджень у представленій статті розглядаються наступні **завдання**: розробка формально-логічної моделі інформаційного простору, дослідження і формалізація агентно-орієнтованих задач, вибір моделі програмного агента, обґрунтування інформаційної технології, спрямованої на ефективне управління інформацією в корпоративних системах. У статті отримані наступні **результати**: розроблена формальна модель інформаційного простору корпоративної інформаційної системи; визначені роль і місце користувача інформаційними ресурсами інформаційної системи; розглянуто і формалізовано поняття завдання та потоку завдань користувача в інформаційному просторі; дано визначення програмного агента, мультиагентного простору і системи управління мультиагентним простором; в якості логічної моделі програмного агента запропонована модифікована авторами модель фреймової структури представлення знань; **висновок**: аналіз вітчизняних і зарубіжних джерел показав, що дослідження в області інтеграції інформаційних ресурсів розподілених систем і побудова єдиного інформаційного простору, не в повній мірі відповідають сучасним вимогам користувачів і розробників прикладного програмного забезпечення. Існуючі рішення на основі інтеграційних технологій не дозволяють здійснити реальну інтеграцію гетерогенних інформаційних структур. На підставі дослідження основних бізнес процесів в інформаційних системах "користувач - інформаційне середовище", розроблена і досліджена модель інформаційного мультиагентного простору обчислювальної системи. Виділено основні компоненти мультиагентної системи і дано формальні визначення базових сутностей: програмному агенту, мультиагентному простору. Сформульовано та обґрунтовано агентно-орієнтований підхід до вирішення завдань управління і інтеграції інформаційних ресурсів розподілених обчислювальних систем.

Ключові слова: інформаційна система; база даних; інтеграція даних; інтелектуальні системи; гетерогенні інформаційні структури; фрейм; програмний агент; мультиагентна система; потік завдань.

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ КОРПОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Предметом исследования является интеграция и управление информационными ресурсами распределенных вычислительных корпоративных систем в рамках единого информационного пространства. **Целью проводимых исследований** является разработка научно-обоснованных моделей поддержки интеллектуальных технологий интеграции и управления информационными ресурсами распределенных вычислительных систем. В соответствии с поставленной целью исследований в представленной статье рассматриваются следующие **задачи**: разработка формально-логической модели информационного пространства, исследование и формализация агентно-ориентированных задач, выбор модели программного агента, обоснование информационной технологии, направленной на эффективное управление информацией в корпоративных системах. В рассматриваемой статье получены следующие **результаты**: разработана формальная модель информационного пространства корпоративной информационной системы; определены роль и место пользователя информационными ресурсами информационной системы; рассмотрено и формализовано понятие задачи и потока задач пользователя в информационном пространстве; дано определение программного агента, мультиагентного пространства и системы управления мультиагентным пространством; в качестве логической модели программного агента предложена модифицированная авторами модель фреймовой структуры представления знаний; **вывод**: анализ отечественных и зарубежных источников показал, что исследования в области интеграции информационных ресурсов распределенных систем и построение единого информационного пространства, не в полной мере соответствуют современным требованиям пользователей и разработчиков прикладного программного обеспечения. Существующие решения на основе интеграционных технологий не позволяют осуществить реальную интеграцию гетерогенных информационных структур. На основании исследования основных бизнес процессов в информационных системах "пользователь – информационная среда", разработана и исследована модель информационного мультиагентного пространства вычислительной системы. Выделены основные компоненты мультиагентной системы и даны формальные определения базовым сущностям: программному агенту, мультиагентному пространству. Сформулирован и обоснован агентно-ориентированный подход к решению задач управления и интеграции информационных ресурсов распределенных вычислительных систем.

Ключевые слова: информационная система; база данных; интеграция данных; интеллектуальные системы; гетерогенные информационные структуры; фрейм; программный агент; мультиагентная система; поток задач.

L. CHERNOVA, O. MAZURKEVYCH, L. CHERNOVA

THE MODEL OF ASSESSING THE GENERAL INTENSITY OF RESISTANCE TO CHANGES IN AN ORGANIZATION

When analyzing the causes for the failure of previous programmes, the following issues are usually focused on: whether the results of the programmes were timely, whether the budget was not exceeded, and whether the results met certain quality parameters. In some cases, the analysis can testify that the programme was completed successfully, the team acted successfully, settlements with suppliers were completed, and stakeholders and users were satisfied. But much rarely the question arises, whether the organization is really ready for the changes that the programme implements. The **subject matter** of the study in this article is the process of introducing changes to the activities of an organization. The **goal** is to develop a tool for analyzing the possibility of introducing changes to the work of an organization. The **objectives** are to consider specific aspects affecting the results and the possibility of introducing changes to an organization; to consider and justify the main problems and sources of resistance to changes; to develop a model for assessing the intensity of resistance to changes. The following **methods** were used while studying the set problem - logical generalization, analysis and synthesis, structural analysis. The following **results** were obtained: the model was developed for calculating the total resistance to the programme of changes or transformations, taking into account the intensity of programme implementation and its successful completion. The possibility to assess the level of resistance to changes is suggested, this level can be both high and low since the personnel of an organization and especially its management body can be satisfied with the stability of the company. The features of change programmes were analyzed and the main problems related to the personnel were specified. The problems were divided into two components: a component which relates to the organization management body and a component that is directly linked to the team working on the programme. **Conclusions.** The start-up tool for analyzing the implementation of the change programme in an organization was developed, that is, if the resistance to changes is higher than the organizational potential of a company, there cannot be any benefits from implementing the programme of changes. Therefore, the general resistance to changes in the organization should be reduced and only after that any change programmes and projects can be considered.

Keywords: changes; resistance to changes; programme management; change management; programme board; programme team.

Problem statement

Outdated forecasting models under the changing economic situation and ambiguous steps of global regulators cannot give the precise picture of the world to economists, analysts and experts. Efficient social and economic policies cannot be built without this. Moreover, forecasts which are not backed up by a practical part are not needed today, so the forecasting segment itself has changed a lot over recent years, although traditional methods have remained the basis. The basic economic models appeared as obviously out-of-date after the 2008 crisis when it became clear that companies and governments were not ready for such challenges and problems because they had not been predicted by anyone or simply had not been taken seriously. The mutual integration of the branches of science, economics, industry, and the huge number of "dead zones" which all experts have not even tried to consider previously cause the need for a new approach.

This can be seen using the example of such a modern industry as project and programme management. When analyzing the causes of the failures of previous programmes, whether the results of the programmes were timely, whether the budget was not exceeded, and whether the results met certain quality parameters. In some cases, the analysis may indicate that the programme was successfully completed, the team acted smoothly, settlements with suppliers were complete, and the stakeholders and users are very satisfied. But much rarely the question arises, whether all the benefits that had been stated and forecast at the moment of obtaining the investment were achieved due to the programme.

The analysis of recent studies and publications

Among the main scientific approaches in the field of project and programme management, the following ones should be singled out: systemic and programme-oriented (V. Glushkov, B. Miller, R. Pospelov, A. Iirikov, D. Cleland and others), the theory of complex system management (Ye. Druzhinin, M. Mesarovich, I. Takahara, N. Moiseev, Yu. Germire, V. Volkovich, V. Mikhailovich), classical theory of project management on the basis of PMBOK standard (V. Voropaev, S. Bushuev, N. Bushueva, I. Belokon, V. Rach, R. Tian, V. Shapiro, I. Mazur, B. Demidov and others), the system of knowledge on managing the innovative projects and programmes of enterprises – P2M (S. Bushuev, N. Bushueva, Hiroshi Tanaka, Shigenobu Ohara).

The main principle of the programme-oriented approach is planning from goals to means [1, 2]. The approach involves a comprehensive system solving tasks taking into consideration all significant factors, connections and constraints, and also implies the responsibility of all performers for achieving the goal.

The complexity and diversity of problems and systemic situations that arise in the organizational system requires the development of formal procedures of organization and management. To do this, at the initial stage, in accordance with the programme-oriented approach, a project goal (goals) should be set. The achievement of the desired result is based on the hierarchy of goals, the main techniques of their building are described in papers [3,4,5].

The theory of managing innovative projects and programmes of enterprises was founded in 2009 [6]. S. Bushuev, N. Bushueva, Hiroshi Tanaka have

systematized the methods and models of managing innovative projects and programmes of an enterprise. They created a new "quality vision" that was adapted to the conditions of the development of Ukrainian technological clusters. Also, the positive component of this scientific approach undoubtedly lies in the fact that it is based on the mechanisms that help enterprises develop and widely use innovations in production activities.

The goal of the article

Traditional approaches to managing programmes and projects are still used by many organizations to manage and implement changes. But such methods are likely to lose their efficiency as the nature of changes and the problems that arise in connection with them are becoming more and more serious. There are three trends that determine the need to implement new approaches to introducing changes to an organization. First, changes in the organization are becoming more complex and interconnected. Second, the realization of real business benefits involves inter-functional and interdisciplinary coordination of changes. As a rule, this is the transformation of processes, systems, structures, and often co-operation with third parties who act as suppliers and partners. And third, the available organizational structures, processes and systems do not support this kind of activity. Therefore, there appears a need to develop new tools for managing programme changes in an organization that would cover all three trends. So, this article deals with the development of such a tool.

Basic material

It is becoming increasingly apparent that traditional methods of responding to changes and managing changes do not produce the expected results any longer and in some cases, unintentionally cause new problems. The authors believe that this happens due to two problems:

The first one is the distinction of independent changes from the dependent ones. In the past, the requirements for changes (as well as their impact) were often limited to solving the problems of a particular functional unit or business area. Today, the stable system relationships between the most important initiatives aimed at making changes in a specific organization are becoming more evident. There is not a single problem in isolation and "point solutions" are most often associated with possible costs and side effects that arise outside the direct impact of any particular problem. Increasingly, the changes do not only determine the boundaries between people, processes, technologies, departments and geographically distant branches of one organization but go beyond the boundaries, affect suppliers, customers, strategic partners and other third parties.

The other problem includes the basic the main concerns of the organization against initiatives aimed at implementing changes. In the past, the attention of managing teams was focused primarily on running an

enterprise. Any projects or initiatives were often considered secondary and, as a conclusion, the enterprise administration only paid attention to managing them only when there was time. In markets which are stable, managers direct their efforts mainly to meet the needs of production. But in today's dynamic markets and intensively competitive environment, the size, scale and characteristics of changes are becoming weightier. This means that the amount of efforts spent on the implementation of these initiatives is substantially increasing. Unfortunately, the existing organizational structures, for the most part, are aimed at "ordinary business management" rather than at the implementation of unique initiatives related to the transformation. Strategic initiatives aimed at making changes cannot be managed any longer by expanding available project management activities. This requires a new approach.

One of the versions of the new approach can be the model below, at least it can help handle the second problem.

To study the programme of changes and transformations in an organization, the model was modified; its basis is described in [7,8], which is as follows:

$$I = U / R; \quad (1)$$

$$R = f_r(R_b, V, F, E), \quad (2)$$

where I is the intensity (integrated flow of resources) of programme implementation; U is the organizational potential (which can be considered as driving forces) of an enterprise; R is the general level of resistance to changes which the programme implements (similar to electric resistance); R_b is the basic resistance to changes in an organization (it can correspond to the level of the enterprise technological maturity); V is general features of the desired future; F is the uncertainty of the programme implementation at the start; E is the general resistance to changes which are implemented by the programme from the stakeholders [9,10].

$$E = \langle E^b, E^0 \rangle, \quad (3)$$

where E^b is the general resistance to the changes of stakeholders that are inside the organization; E^0 is the general resistance to changes of external stakeholders.

And driving forces are calculated according to the formula:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^J a_j u_j}{J}, \quad (4)$$

where a_j is the weight coefficients of driving forces; u_j is the rates of driving forces – (0, 1).

The general resistance is calculated as follows:

$$R = \frac{\sum_{l=1}^L b_l r_l}{L} + \frac{\sum_{k=1}^K b_k r_k}{K}, \quad (5)$$

where b_i is the weight coefficients of the internal resistance; r_i is the rates of internal resistance – (0,1); b_k is the weight coefficients of external resistance; r_k is the rates of external resistance – (0,1).

The dependence of the vision of the desired future characteristics is formed as follows:

$$V = g_1 / \log(tg_2), \quad (6)$$

where g_1 is the weight coefficient of the uncertainty of the desired future vision; g_2 is the coefficient of the rate of updating the characteristics of the desired future vision; t is the time for programme implementation.

The dependence of the uncertainty of the programme implementation at the start is as follows:

$$F = n_1 / \log(tn_2), \quad (7)$$

where n_1 is the weight coefficient of the general uncertainty of the programme start; n_2 is the rate of updating the characteristics of the programme start; t is the time for programme implementation.

Basing on the given model of the calculation of the total resistance of the programme of changes or transformations and taking into account the intensity of the programme implementation and its successful completion, the general level of resistance to changes can be determined as high or low. In this case, it is necessary to accept the limit value of the high level of resistance. Thus, it can be concluded whether the staff of an organization and especially its management body, are satisfied with the stability of the organization.

Thus, a start-up tool for analyzing the implementation of the programme of changes or transformations in an organization is obtained, that is, if the resistance to changes is higher than the organizational potential of the company, there cannot exist any benefits from implementing the programme changes. Therefore, the general resistance to changes in the organization should be reduced at first and only after that any programmes and projects can be considered.

Let us detail the factors that can contribute to increasing the internal resistance in the organization, in terms of the features of the change programmes.

But before describing the main features of the preparedness of the administration and the team for implementing the programme of changes, the main features of the programme of changes should be determined:

- the program can be permanent and do not end until the decision to complete it is made or when it loses its relevance;

- the programme spreads when new information is received. One should be prepared to the fact that the basic results will be determined and the plans will be improved regularly.

- programmes are always more complex than projects and can have several different results, each one having its own value. But the total value of the results of the change programme is always significantly higher than

the sum of the values of programme results taken separately.

Now, after the peculiarities of the programme of changes have been detailed, the main problems associated with the personnel of the organization can be considered. The problems we will divide into two components: the component that belongs to the management body of an organization and the component that relates to the team which directly works on the programme.

The problems of the management body are as follows:

1. Senior management in organizations is usually formed on the basis of functional roles and types of responsibilities aimed at managing current operations but not at implementing integrated unique initiatives.

2. The style and skills of management and administration that are relevant to managing current operations often do not seem to be suitable for managing complex initiatives related to changes;

3. Middle-rank managers (but not high-level ones) are usually responsible for the success or fiasco of initiatives in the organization. This results in a discrepancy between the reporting procedures and the powers that are required to accomplish the tasks.

4. Lack of reporting and accountability can result in dysfunction of initiatives where high-level stakeholders do not come to an agreement and try to affect the programme they are not responsible for.

The problems of the team that works on the programme are as follows:

Potential team members do not always want to leave the usual career structure and refuse the set growth opportunities within linear functions in order to try themselves as a project/program participant related to, according to popular belief, a more serious personal risk and limited career opportunities.

If team members are engaged in fulfilling their functional responsibilities within the current activities of an organization, the loyalty of individuals will primarily be directed to the usual work organization. Function leaders also reluctantly agree to release their most valuable resources for working on projects or programmes.

Team members with experience in performing operational functions often find that the terms of work on a programme or project are inconvenient and problematic for them and they are not constantly satisfied with them like they are satisfied with their usual daily activities. And in the end, even the most talented employees can get rid of the motivation.

The success of projects and programmes often depends on specific deficient skills. Failure to recognize this at the stage of planning and developing a schedule for implementing initiatives leads to the creation of projects and programmes whose resource requirements cannot be met.

To solve the above problems, the following tools and techniques are suggested for using (Table 1 "Programme management and control", Table 2 "Team building and developing").

Table 1. Programme management and control

Methods and tools	Explanations/advantages
Assessment of management organization The structure of the organization management body is studied; the assessment is made to understand if this structure is suitable for managing successful programmes as well as for monitoring current activities. It is better to use the methods that are built on the basis of the model of the enterprise technological maturity that are described in [2, 11]	It determines the balance between the work on the programme and current activities as compared to the balance between primary responsibility and the concentration of the attention of the management body. It can lead to restructuring the executive management to ensure strong leadership and purposeful management of important programmes.
The matrix of management responsibility distribution It identifies specific types of role responsibilities and accountability in the sphere of programme management activities.	A clear definition of roles and areas of responsibility will allow the programme team to identify and require managerial support to accelerate decision-making or problem-solving.
Master-class with management body and programme support group Objectives, tasks and expectations form the programme implementation are developed and formulated. The master-class technique is described in [12]	A clear definition of the requirements of the stakeholders allows the team members to understand what is necessary to be done for success and what it should be like.
Training and developing management body If relevant, in order to support the programme implementation, managers can be appropriately trained, which will allow them to understand better the nature of the future programme, the risks associated with it, and to understand the problems and requirements that may arise in the programme team.	It helps to achieve some level of common ground with management regarding the nature of uncertainty and manageable risks as well as the peculiarities of information and problems that will likely result from the implementation of the programme. It can also contribute to a deeper understanding of those areas of activity in which managerial methods that are different from the typical day-to-day management would be more effective.

Summing up the data in the table, the following conclusions can be made:

- The roles of senior executors involved in managing and supporting decision making need to be clearly determined.

- The appropriate authorities should be created: the organizing committee, the project commission, the board for monitoring the changes in the programmes. These structures may differ from existing organizational structures and their relationship should be clearly defined.

Let us detail these organizational structures.

The organizing committee

This is a committee that usually includes a person who supports the project or programme, as well as other executives who are interested in the success of the programme or project. The role of the organizing committee is to monitor the implementation of initiatives. If problems arise, it acts as the decision maker. The organizing committee strategically evaluates the management of risks associated with the programme and approves the risk response strategy. The organizing committee is also responsible for making changes to the budget of the programme or project and for using funds which are allocated for an emergency.

A successful organizing committee has the following features:

- it comprises people who are officially interested in the programme implementation and are authorized to make decisions and complete tasks;
- it is able to consider a programme in the context of more general strategic problems;
- it is responsible for decisions it makes.

The project commission

Within the programmes that are characterized by constant attention to the technical aspects of products, the project commission can act as a body responsible for the consistency and the possibility of applying product design. This group is responsible for ensuring that the draft decision fully meets the needs and objectives of the organization and serves as the main functional unit providing quality and control.

The board for monitoring changes in programmes

If a project is complex in nature, joint requests for changes can be insufficiently evident in terms of the programme management group. The board for monitoring changes in programmes comprises those who are good at technical issues of products that are realized by an organization, at technological processes and methods as well as at available risks. This board is responsible for assessing the impact of changes in terms of costs, schedule and, what is most important, of risks. To work efficiently, this board needs powers that allow it to say "yes" or "no" to specific changes.

Traditionally, the project commission and the programme for monitoring changes in programmes along with the programme manager are accountable to the organizing committee.

Based on the data presented in the table, it can be concluded that the building of highly efficient teams for working on programmes and projects requires support that is expressed in the relevant HR management policy: personnel selecting, training, managing the results of operation, schemes of paying rewards and bonuses and career growth for those who work on projects and programmes.

Table 2. Building and developing the team that implements the programme

Methods and tools	Explanations/advantages
Opening meeting Master classes are designed to mobilize the team and to familiarize them with the task quickly. Key points include working models, goals and objectives, context and experience. The tools are described in [2, 13]	It introduces the programme to team members, contributes to the general understanding of the context, methodology, vision and objectives of the programme.
The Statute (Charter) of the team The document is created by the team working on the programme and defines the models of work, the principles of collective interaction as well as the policy of work with personnel and procedures. It is often created in the format of the master class during the opening meeting or the period that continues alongside it. It is an introductory package of documents for the team. More details are given in [12]	The development of the statute allows the team to elaborate a set of constructive principles and behavioural patterns that together are a centrepiece of the collective culture that promotes mutual respect, support, teamwork and the achievement of results.
The matrix of team skills It visualizes the team that work on the programme and the skills that this team should have [14]	It allows the program management body to match the requirements for roles with the skills that are available in the team and to identify the need for training or alternative resource supply.
Team summary meetings Permanent actions conducted in accordance with the schedule, where the team evaluates their activities, analyzes the experience gained and provides the latest information on the implementation of the programme [15].	It promotes the team's common understanding of the programme and the roles of team members in the wider context of the programme implementation. In addition, it strengthens the combat spirit, moral condition and team culture.
Assessment of team activity results This is an officially recognized process within which the team sets goals. The results of the programme implementation are assessed according to these set goals.	It ensures the stable management of the career growth for team members who work on the programme. It also provides a mechanism for fair distribution of recognition and monetary awards.

Another characteristic that can lead to an increase in resistance to change is the change itself.

Sometimes, the following formula for assessing driving forces can be used instead of (4) for the sake of simplicity

$$U = \frac{Ch}{M} \rightarrow \max, \quad (8)$$

where Ch is the organization preparedness to changes; M is the scope of changes.

That is, the greater the preparedness of an organization to changes, the greater the driving forces and, accordingly, the greater the scale of the changes, the more efforts are needed to implement the program.

Let us detail the concept of the scale of changes and the preparedness of an organization to changes.

The scales of planned changes are characterized by the following indicators:

- a number of stakeholders involved in the implementation of changes;
- the influence on the main areas of competence;
- time limits for implementing changes;
- the number of people who are affected by changes;
- the stage of necessary behavioural transformations;
- a number of simultaneous transformations in processes, technologies and skills.

To assess the preparedness of an organization to changes, the following aspects should be analyzed:

- support from decision makers;
- the degree of agreement among management (managerial consensus);

- the awareness of the need for changes by those who are under their influence;

- history (successful/unsuccessful) of previous changes;

- the need to transform the culture of the company;

- resources allocated for the implementation of changes.

Conclusions

The article presents the model for assessing the overall intensity of resistance to changes in an organization. Basing on the given model for calculating the total resistance to the programme of changes or transformations and taking into account the intensity of the programme implementation and its successful completion, the total level of resistance to changes can be determined; this level can be both high and low since the personnel of an organization and especially its management body can be satisfied with the stability of the company.

One of the main causes for the high resistance to changes due to the lack of effective leadership and teamwork were also considered because quite often these areas of activity in organizations are not sufficiently developed and very little time and efforts are given to the effective program support. To solve these problems, the list of tools and measures was proposed (Table 1, Table 2).

Thus, a start-up tool for analyzing the implementation of the programme of changes or transformations in an organization is obtained, that is, if

the resistance to changes is higher than the organizational potential of the company, there cannot exist any benefits from implementing the programme changes. Therefore,

the general resistance to changes in the organization should be reduced at first and only after that any programmes and projects can be considered.

References

1. Baldin, K. V., Bystrov, O. F., Perederaev, I. I., Sokolov, M. M. (2009), *Investments. System analysis and management* [Investitsii. Sistemnyy analiz i upravlenie], Moscow : Dashkov and Co, 288 p.
2. Bushuyeva, N. S. (2007), Models and methods of proactive management of organizational development programs : Monograph [Modeli i metody proaktivnogo upravleniya programmami organizatsionnogo razvitiya : Monografiya], Kyiv : Nauk. Svit, 199 p.
3. Druzhinin, Ye. A. (2006), Methodological bases of risk-oriented approach to resource management of projects and programs of engineering development : diss. ... doctor of techn. sciences : 05.13.22 [Metodolohichni osnovy ryzyk-orientovanoho pidkhodu do upravlinnia resursamy proektiv i prohram rozvytku tekhniki : dys. ... doktora tekhn. nauk : 05.13.22], Kharkiv, 593 p.
4. Grashina, M., Duncan, V. (2006), *Fundamentals of Project Management* [Osnovy upravleniya proektami], SPb. : Piter, 208 p.
5. Parkhomenko, O. M., Osievskiy, A. (2000), *Machine-Building Enterprise Management: Functions, Organizational Structure, Personnel* : Textbook [Upravlenie mashinostroitel'nykh predpriyatiem: funktsii, organizatsionnaya struktura, kadry : Uch. Posobie], Kharkiv : Nats. aerokosm. un-t "KhAI", 160 p.
6. *Guide to the management of innovative projects and programs* : T. 1, version 1.2 / trans. in Russian language ed. S. D. Bushueva [Rukovodstvo po upravleniyu innovatsionnymi proektami i programmami : T. 1, versiya 1.2 / per. na rus. yazyk pod red. S. D. Bushueva], Kyiv : Nauk. svit, 2009, 173 p.
7. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S. et al. (2010), Creative technologies of project and program management : Monograph [Kreativnye tekhnologii upravleniya proektami i programmami : Monografiya], Kyiv : Sammit-knega, 768 p.
8. Myagkov, Yu. P., Mazurkevich, O.I. (2014), "Model for implementing a change in the design of a design-oriented organization in a restructuring" ["Model realizatsii zminy struktury proektno-orientovanoi orhanizatsii v umovakh restrukturyzatsii"], *The theory and practice of metallurgy*, No. 3 (98), P. 127–131.
9. Bourne, L. (2016), *Stakeholder relationship management: at the maturity model for organizational implementation*, CRC Press, New York, USA.
10. Friedman, A., Miles, S. (2006), *Stakeholders: Theory and Practice*, Oxford : Oxford University Press.
11. Kerzner, H. (2001), *Strategic planning for project management maturity model*, New York : John Wiley & Sons.
12. Maliy, V. V., Mazurkevich, O. I., Chernov, S. K., Antonenko, S. V., Zavgorodniy, M. S. (2011), *Elements of project management at the enterprise* : Textbook [Elementy upravlinnia proektamy na pidpriemstvi : Pidruchnyk], Dnipropetrovsk : "IMA-press", 159 p.
13. *Project Management* : Manual / Ed. by S. K. Chernova and V. V. Maloho [Upravlinnia proektamy : Navchalnyi posibnyk / Pid red. S. K. Chernova i V. V. Maloho], Mykolaiv, NUK, 2010, 354 p.
14. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S. (2006), *Project Management: The Basics of Professional Knowledge and the Competence Assessment System of Project Managers* (National Competence Baseline, NCB UA Version 3.0) [Upravlenie proektami: Osnovy professional'nykh znaniy i sistema otsenki kompetentnosti proektnykh menedzherov (National Competence Baseline, NCB UA Version 3.0)], Kyiv : IRIDIUM, 208 p.
15. Bushuyev, S. D., Morozov, V. V. (1999), *Dynamic Leadership in Project Management* : Monograph [Dynamichne liderstvo v upravlinni proektamy : Monografiya], Kyiv, 312p.
16. Lobach, O., Babych, I., Persyanova, E. (2018), "Information technology for the integrated assessment of expert competency", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (5), P. 44–56. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.044>.

Received 01.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чернова Людмила Сергіївна – кандидат технічних наук, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій, Миколаїв, Україна; e-mail: lyudmylachernova@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3954-7436>.

Чернова Людмила Сергеевна – кандидат технических наук, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, преподаватель кафедры информационных управляющих систем и технологий, Николаев, Украина.

Chernova Lyudmyla – PhD (Engineering Sciences), Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Lecturer at the Department of Information Control Systems and Technologies, Mykolaiv, Ukraine.

Мазуркевич Олександра Ігорівна – кандидат технічних наук, Приватний вищий навчальний заклад "Комп'ютерна академія "Шаг" Дніпро", доцент кафедри інформаційні технології", Дніпро, Україна; e-mail: almaz2809@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8390-7676>.

Мазуркевич Александра Игоревна – кандидат технических наук, Частное высшее учебное заведение "Компьютерная академия "Шаг" Днепр", доцент кафедры информационных технологии, Днепр, Украина.

Mazurkevych Oleksandra – PhD (Engineering Sciences), Private higher educational institution "Computer Academy "Step" Dnipro", Associate Professor at the Department of Information Technologies, Dnipro, Ukraine.

Чернова Любава Сергіївна – кандидат технічних наук, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, викладач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем, Миколаїв, Україна; e-mail: 19chls92@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0228-6677>.

Чернова Любава Сергеевна – кандидат технических наук, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Николаев, Украина.

Chernova Liubava – PhD (Engineering Sciences), Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Lecturer at the Department Software Engineering, Mykolaiv, Ukraine.

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЗАГАЛЬНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ОПОРУ ЗМІНАМ В ОРГАНІЗАЦІЇ

При проведенні аналізу причини невдачі минулих програм, ми за звичай концентруємо увагу на наступних питаннях: були результати програми своєчасними, витримано межі бюджету, чи відповідають визначеним параметрам якості результати. В інших випадках аналіз може показати, що програма виконана успішно, діяльність команди успішно завершена, розрахунки з постачальниками закінчено, а зацікавлені особи та користувачі вельми задоволені. Набагато рідше звучить питання, найбільш доцільне ніж усі інші, а саме чи дійсно організація була готова до змін, що впроваджує програма? **Предметом** дослідження в даній статті є процес впровадження змін у діяльність організації. **Мета** – розробка інструменту аналізу можливості впровадження змін у роботу організації. **Завдання**: розглянути конкретні аспекти, що впливають на результати та можливість впровадження змін в організації; розглянути та обґрунтувати основні проблеми та джерела опору змін; розробити модель оцінки інтенсивності опору змін. **Методи дослідження**: логічне узагальнення, аналіз та синтез, структурний аналіз. **Результати**: Розроблено модель розрахунку загального опору програмі змін або перетворень з урахуванням інтенсивності реалізації програми та її успішного завершення. Надано змогу визначити оцінку рівня опору змін, яка може бути як високою так і малою, оскільки персонал організації, а особливо його керівництво може влаштовувати стабільність положення компанії. Проаналізовано особливості програм змін та виділено основні проблеми, пов'язані з персоналом організації. Проблеми поділено на дві складові: складова, що відноситься до керівництва організації, та складова безпосередньо команди, що працює над програмою. **Висновки**: отримано стартовий інструмент аналізу впровадження програми змін або перетворень у організації, тобто якщо опір змін вищий за організаційний потенціал компанії, то не про які переваги від реалізації програми змін мови йти не буде. Тому потрібно спочатку знижувати загальний опір змін у організації, а лише після того можна говорити про будь-які програми та проекти.

Ключові слова: зміни; опір змін; управління програмами; управління змінами; керівництво програми; команда програми.

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ОБЩЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯМ В ОРГАНИЗАЦИИ

При проведении анализа причины неудач прошлых программ, мы обычно концентрируем внимание на следующих вопросах: были ли результаты программы своевременными, выдержаны ли рамки бюджета, соответствуют ли результаты определенным параметрам качества. В других случаях анализ может показать, что программа выполнена успешно, деятельность команды успешно завершена, расчеты с поставщиками закончены, а заинтересованные лица и пользователи весьма довольны. Гораздо реже звучит вопрос, наиболее целесообразный чем все остальные, а именно действительно ли организация была готова к изменениям, которые внедряет программа? **Предметом** исследования в данной статье является процесс внедрения изменений в деятельность организации. **Цель** – разработка инструмента анализа возможности внедрения изменений в работу организации. **Задачи**: рассмотреть конкретные аспекты, влияющие на результаты и возможность внедрения изменений в организации; рассмотреть и обосновать основные проблемы и источники сопротивления изменениям; разработать модель оценки интенсивности сопротивления изменениям. **Методы** исследования: логическое обобщение, анализ и синтез, структурный анализ. **Результаты**: Разработана модель расчета общего сопротивления программе изменений или преобразований с учетом интенсивности реализации программы и ее успешного завершения. Предоставлена возможность определить оценку уровня сопротивления изменениям, которая может быть как высокой, так и малой, поскольку персонал организации, а особенно его руководство может устраивать стабильность положения компании. Проанализированы особенности программ изменений и выделены основные проблемы, связанные с персоналом. Проблемы разделены на две составляющие: составляющая, которая относится к руководству организации, и составляющая непосредственно команды, работающей над программой. **Выводы**: получен стартовый инструмент анализа внедрения программы изменений или преобразований в организации, то есть если сопротивление изменениям выше организационного потенциала компании, то ни о каких преимуществах от реализации программы изменений речи идти не будет. Поэтому нужно сначала снижать общее сопротивление изменениям в организации, а только после этого можно говорить о каких-либо программах и проектах.

Ключевые слова: изменения; сопротивление изменениям; управление программами; управление изменениями; руководство программы; команда программы.

М. В. ШАПОВАЛОВ, В. Д. КОВАЛЬОВ, Я. В. ВАСИЛЬЧЕНКО

ВПЛИВ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ ТВЕРДОСПЛАВНИХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ЗМІЦНЕНИХ ОІМП НА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

Предметом дослідження в статті є процес зміцнення різального інструменту для важких верстатів. **Мета** роботи – підвищення експлуатаційного ресурсу, надійності, міцності і зносостійкості твердосплавних різальних інструментів за рахунок зміцнення обробкою імпульсним магнітним полем. В статті вирішуються наступні **завдання**: встановити основні фактори, що впливають на зміну зносостійкості твердого сплаву, який зміцнений обробкою імпульсним магнітним полем; дослідити вплив результатів випробувань твердосплавних різальних інструментів, які зміцнені ОІМП на продуктивність в виробничих умовах; встановити вплив зміцнення ОІМП на показники експлуатаційної стійкості інструменту; дослідити взаємозв'язок параметрів ОІМП, параметрів технологічного процесу різання і ефективності виробництва. Отримано наступні **результати**: на підставі виробничих випробувань твердосплавних різальних інструментів встановлено, що застосування обробки імпульсним магнітним полем сприяє підвищенню зносостійкості різальних інструментів, зменшенню коефіцієнта варіації стійкості, підвищенню гамма-відсоткової стійкості, зменшенню кількості викришування, поломок в зоні приробітку інструменту. Застосування ОІМП дозволяє оптимізувати режими різання за продуктивністю обробки, собівартості операції і інструментальним витратам. Встановлено, що при важких умовах різання доцільно оптимізувати режим різання по величині подачі з урахуванням розсіювання стійкості інструментів. **Висновки**: застосування обробки імпульсним магнітним полем сприяє підвищенню стійкості інструментів в 1,2 – 2,0 рази та зниженню коефіцієнту варіації стійкості в 1,3 – 3,1 рази. Гамма-відсоткова стійкість інструментів підвищується в 1,7 – 2,8 рази. Оптимальна стійкість підвищується в 1,4 – 2 рази, оптимальна подача – в 1,15–1,3 рази. Визначено залежність продуктивності обробки різцями після ОІМП, від напруженості магнітного поля H , межі міцності твердого сплаву σ_s , вмісту кобальту в твердому сплаві C_0 , частоти імпульсів f .

Ключові слова: обробка імпульсним магнітним полем; твердосплавний інструмент; виробничі випробування; стійкість; коефіцієнт варіації стійкості.

Вступ

Підвищення ефективності металорізального обладнання вимагає особливої уваги до стабільності обробки деталей, скороченню простоїв верстатів, у тому числі з вини відмов різальних інструментів. Особливо це важливо для важких верстатів з ЧПК, вартість простоїв яких дуже велика. Тому проблема підвищення надійності різального інструменту для важких верстатів набула особливої актуальності. Дослідження методу обробки імпульсним магнітним полем інструментів показали високу його ефективність. Його перевага є в невисоких потребах до енерговитрат, витрат на виготовлення устаткування.

Аналіз проблеми і існуючих методів

Витрати при експлуатації виробів в значній мірі залежать від фізико-механічних властивостей матеріалів, для підвищення яких застосовуються різні методи зміцнення. При цьому більш ефективними є методи, які дозволяють поліпшувати фізико-механічні властивості матеріалів за об'ємом. До таких методів відноситься метод обробки імпульсним магнітним полем (ОІМП) [1, 2, 3]. Сутність ОІМП полягає в тому, що металорізальний інструмент перед обробкою поміщають в порожнину магніту, з'єданого зі збудником імпульсів. При магнітному впливі метал змінює свої фізичні і механічні властивості. Магнітно-імпульсна поле взаємодіє з матеріалом металорізального інструменту, змінює його теплові та електромагнітні властивості, покращує структуру і експлуатаційні характеристики. Поліпшення

властивостей у металорізального інструменту після ОІМП, досягається за рахунок спрямованої орієнтації вільних електронів речовини зовнішнім полем, внаслідок чого збільшується тепло- і електропровідність матеріалу. Основними перевагами ОІМП є: зміцнення металорізального інструменту будь-якої конструкції, простота технологічної оснастки і відсутність витратних матеріалів, екологічність, низька собівартість [5, 16, 17, 18].

Для реалізації процесу ОІМП використовується пристрій управління, який дозволяє встановлювати режими обробки виробу, тобто задавати певні параметри магнітної енергії і тривалість її впливу. Це дозволяє добирати режими обробки металорізального інструменту і використовувати даний пристрій для наукових досліджень. Але питання ефективності методу та вибору раціональних режимів зміцнення вивчені недостатньо. Тому наукове обґрунтування технології та режимів обробки імпульсним магнітним полем є актуальною задачею.

Мета даної статті

Підвищення експлуатаційного ресурсу, надійності, міцності і зносостійкості твердосплавних різальних інструментів за рахунок зміцнення обробкою імпульсним магнітним полем.

У статті вирішуються наступні завдання:

- встановити основні фактори, що впливають на зміну зносостійкості твердого сплаву, який зміцнений обробкою імпульсним магнітним полем;
- дослідити вплив результатів випробувань твердосплавних різальних інструментів, які зміцнені ОІМП на продуктивність в виробничих умовах;

- встановити вплив зміцнення ОІМП на показники експлуатаційної стійкості інструменту;

- дослідити взаємозв'язок параметрів ОІМП, параметрів технологічного процесу різання і ефективності виробництва.

Рішення задачі

Проведені випробування різальних інструментів з твердого сплаву після обробки імпульсним магнітним полем. Оцінка працездатності здійснювалася за такими показниками: середня стійкість інструментів T , коефіцієнт варіації зносостійкості K_T , гамма процентна стійкість T_γ , щільність розподілу стійкості $f(T)$, інтенсивність відмов $\lambda(T)$, ймовірність безвідмовної роботи $P(T)$.

Результати випробувань показали, що для твердосплавних інструментів, які зміцнені ОІМП, середня зносостійкість інструментів підвищилася в 1,2 – 2,0 рази, а коефіцієнт варіації зносостійкості знизився в 1,3 – 3,1 рази, що підтверджує раніше отримані експериментальні результати [6,7,9,10]. Більш суттєво підвищилася гамма процентна стійкість. Так при ймовірності 0,9 це підвищення відбувається в 1,7 – 2,8 рази, що говорить про доцільність використання цих інструментів на важких верстатах, коли є вимоги до великого періоду стійкості інструменту, що пов'язано з великою довжиною деталей..

Аналіз інтенсивності відмов інструментів показав, що для інструментів, які зміцнені ОІМП, відсутня зона приробітки, що відобразилося на зменшенні числа відмов інструменту, які не усунені (викришування, поломки) в 2,7 рази.

Оцінка ефективності обробки металів різанням проводилася за цільовими функціями, які характеризують продуктивність Q , собівартість C і інструментальні витрати S в залежності від стійкості інструментів і режимів різання. У цих функціях враховувалося також вплив розсіювання стійкості інструментів.

Для оцінки ефективності обробки металів різанням використовувалися цільові функції в розгорнутій формі:

- продуктивність механообробки:

$$Q = \frac{F_g}{\frac{A_0 \cdot T^{\frac{1}{\mu}}}{(T_{np} - T)^{\frac{1}{\mu}}} \cdot (1 + \frac{\tau \cdot \lambda}{T}) + T_e} \quad (1)$$

- собівартість операції:

$$C_0 = \frac{A_0 \cdot T^{\frac{1}{\mu}}}{(T_{np} - T)^{\frac{1}{\mu}}} \cdot E \cdot (1 + \frac{\tau \cdot \lambda}{T}) + S_T \cdot A_0 \cdot \frac{T^{\frac{1}{\mu-1}}}{(T_{np} - T)^{\frac{1}{\mu}}} \cdot \lambda + C_{mat} \quad (2)$$

- інструментальні витрати:

$$S = S_T \cdot A_0 \cdot \frac{T^{\frac{1}{\mu-1}}}{(T_{np} - T)^{\frac{1}{\mu}}} \cdot \lambda, \quad (3)$$

де F_g – річний діючий фонд роботи обладнання;
 λ – коефіцієнт часу різання, визначений як відношення часу різання до машинного часу

$\lambda = \frac{T_p}{T_M} \leq 1$; T_e – допоміжний час; A_0 – постійна, яка залежить від параметрів процесу різання;
 μ – показник відносної зносостійкості інструменту в формулі Тейлора:

$$V = \frac{C_v}{T^\mu}, \quad (4)$$

де E – собівартість верстатогодини роботи верстату;
 S_T – витрати відносно інструменту за період його стійкості; T_{np} – граничне значення стійкості, що за рахунок зміни тільки швидкості різання перевершити не вдається. Для твердосплавних інструментів під час обробки сталі $T_{np} = 600$ хв.

З урахування граничної стійкості формула Тейлора була перетворена до виду:

$$T = \frac{C_T}{v^\mu + \frac{C_T}{T_{np}}}, \quad (5)$$

де τ – час простою обладнання під час заміни затупленого інструменту гострим.

Якщо під час роботи обладнання має місце розсіювання зносостійкості інструментів, а також ймовірність виходу інструменту з ладу внаслідок викрошування або поломок, то в формулах (1–3) час на заміну інструменту, який затупився, гострота буде залежати від ймовірності безвідмовної роботи і, тому, воно складається з часу на планову заміну інструментів τ_n і часу, що витрачається на аварійну його заміну τ_a :

$$\tau = \tau_n \cdot P(T) + \tau_a [1 - P(T)]. \quad (6)$$

У той же час показник ступеню μ у формулі Тейлора залежить від розсіювання стійкості, що виражається формулою:

$$\mu = \frac{C_\mu \cdot (E_2 \cdot K_2 - E_1 \cdot K_1)}{b \cdot \ln V}, \quad (7)$$

де C_μ – коефіцієнт, який залежить від матеріалу, який оброблюється, розсіювання стійкості та типорозміру інструменту; K_1, K_2 – коефіцієнти, які залежать від об'єму вибірки та розсіювання стійкості; b – коефіцієнт форми розподілення Вейбулла, що є універсальним законом, який описує розсіювання стійкості; $E_1 = \ln(-\ln P_{\min})$; $E_2 = \ln(-\ln P_{\max})$,

де $P_{T_{\min}}$, $P_{T_{\max}}$ – вірогідність безвідмовної роботи за умови найменшого та найбільшого значення зносостійкості інструментів в усій вибірці.

З урахуванням наведених вище залежностей були розраховані продуктивність, собівартість операції та інструментальні витрати для операції партії інструментів, графіки яких наведені на рисунках 1–3.

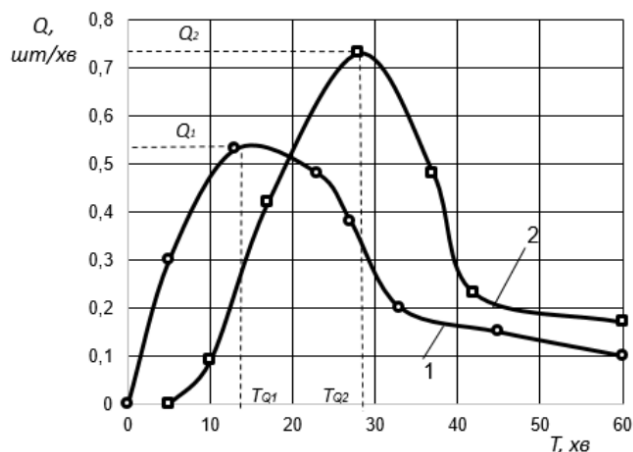


Рис. 1. Вплив ОІМП на продуктивність операції (1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти)

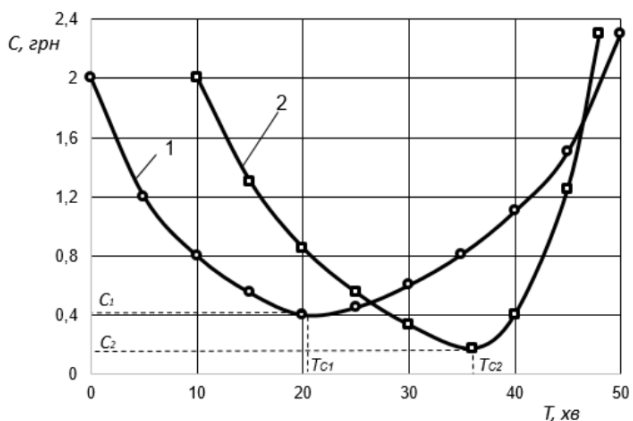


Рис. 2. Вплив ОІМП на собівартість операції (1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти)

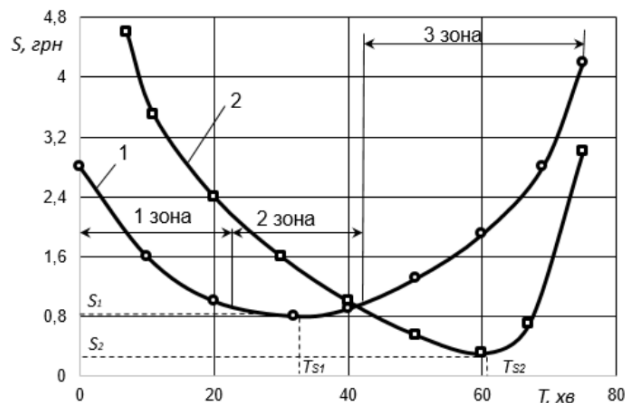


Рис. 3. Вплив ОІМП на інструментальні витрати (1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти)

Оцінка ефективності обробки металів різанням дозволила встановити підвищення оптимальної

стійкості різальних інструментів, які зміцнені ОІМП в 1,4 – 2,5 рази, а також дати практичні рекомендації щодо визначення оптимальної подачі.

Використовуючи результати виробничих випробувань, на основі принципів системного підходу був представлений взаємозв'язок параметрів механічної обробки і ефективності виробничого процесу при використанні ОІМП.

З наведених вище графіків також видно, що застосування ОІМП сприяє підвищенню продуктивності операції, зниженню її собівартості і інструментальних витрат за умови оптимальної стійкості інструментів. Це говорить про підвищення ефективності технологічного процесу під час застосування зміцнення різальних інструментів ОІМП.

При відомому значенні оптимальної стійкості інструменту T_{opt} оптимальний розмір швидкості різання (за умови прийнятого критерія оптимізації) може бути розрахований за формулою:

$$V = \frac{C_V}{X^{K_X}} \cdot \left[\frac{(T_{np} - T_{opt}) \cdot T_c}{T_{opt} \cdot (T_{np} - T_c)} \right]^{\frac{1}{\mu}} \cdot K_{ин} \cdot K_q \cdot K_M \cdot K_{соз} \cdot K_{СП} \cdot K_{ж}, \quad (8)$$

де X – характеристика різання, яка введена для того, щоб відобразити безперервний характер зміни швидкості різання. Для операції точіння ця характеристика визначається з виразу: $X = \alpha \cdot S \cdot \sin \varphi$, T_c – нормативна стійкість; $K_{ин} \cdot K_q \cdot K_M \cdot K_{соз} \cdot K_{СП} \cdot K_{ж}$ – коефіцієнти, які враховують вплив на швидкість різання, відповідно, інструментального матеріалу, мастильно-охолоджуючих засобів, стан поверхні заготовки оброблюваної деталі, жорсткість системи ВПД.

За умови важких умов різання (обробка по ливарної кірки, різання з ударами, нерівномірність припуску) будуть переважати тенденції руйнування, інструменту. У цьому випадку важливим критерієм стійкості інструменту є його міцність. Характеризує цю міцність інструменту гранична подача, при якій відбувається руйнування інструменту S_p . Продуктивність обробки за таких умов, рекомендовано розраховувати за формулою:

$$Q = 10^3 \cdot t \cdot S \cdot V \cdot T. \quad (9)$$

Оскільки в виробничих умовах має місце розсіювання стійкості інструментів, то призначення режимів різання повинно здійснюватися, виходячи із забезпечення зносостійкості із заданою вірогідністю P . Остання визначається в залежності від характеру розподілення стійкості по аналогії з гамма-відсотковим ресурсом виробу. Така стійкість називається гамма-відсотковою стійкістю та визначається за допомогою графіків безвідмовної роботи інструментів, складених за результатами спостережень за роботою інструментів.

За умови чорнової обробки твердосплавними інструментами на розмір розсіювання стійкості чине

вплив подачі S . Залежність коефіцієнту варіації стійкості від подачі виражається рівнянням [14, 15]:

$$K_T = M_K + 0,75 \cdot S, \quad (10)$$

де M_K – коефіцієнт, який залежить від умов різання.

Останній вираз використано під час розробки нормативів різання для важких верстатів токарно-карусельної групи [8,12].

У свою чергу встановлено функційний зв'язок поміж коефіцієнтами варіації стійкості та параметрами розподілення Вейбулла:

$$K_T = \left[\frac{\Gamma \cdot \left(1 + \frac{2}{b}\right)}{\left[\Gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{b}\right)\right]^2} - 1 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (11)$$

де Γ – гамма-функція.

Отже, гамма-відсоткова стійкість має тісний зв'язок з коефіцієнтом варіації стійкості.

Враховуючи визначений вплив подачі на розмір розсіювання стійкості (9), а також складний характер залежності гамма-відсоткової стійкості від коефіцієнту варіації стійкості (10), а, відповідно, і від подачі, важливо знати ступінь впливу подачі та гамма-відсоткової стійкості на виробництво обробки (8).

На рисунку 4 відображена залежність продуктивності від розміру подачі для випадку повздовжнього точіння сталі твердістю HB 201-226 на верстаті моделі 1A665 різцями зі сплаву T5K10 ($\varphi = 60^\circ$, $t = 4$ мм, $S = 1,6$ мм/об, $V = 36$ м/хв).

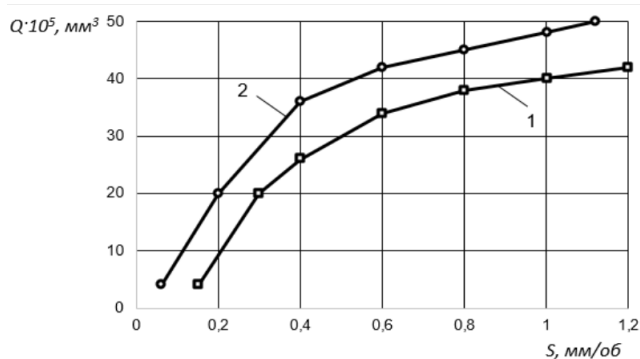


Рис. 4. Вплив подачі на продуктивність обробки без урахування розсіювання стійкості (1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти)

З рисунка 4 (довірчий інтервал: $\Delta Q = \pm 0,986 \cdot 10^5$ мм³) видно, що при постійному значенні середньої стійкості інструментів зі збільшенням подачі спостерігається безперервне зростання продуктивності. Причому для зміцнених інструментів крива 2 знаходиться вище, що говорить про зростання продуктивності під час роботи інструментами, які зміцнені ОІМП.

Якщо ж для розрахунку продуктивності замість середньої стійкості використовувати гамма-відсоткову

стійкість, то, як видно з рисунка 5, існує значення подачі, відповідне максимальній продуктивності. При цьому при збільшенні ймовірності безвідмовної роботи $P(T)$ максимум продуктивності зміщується в бік зменшення подачі.

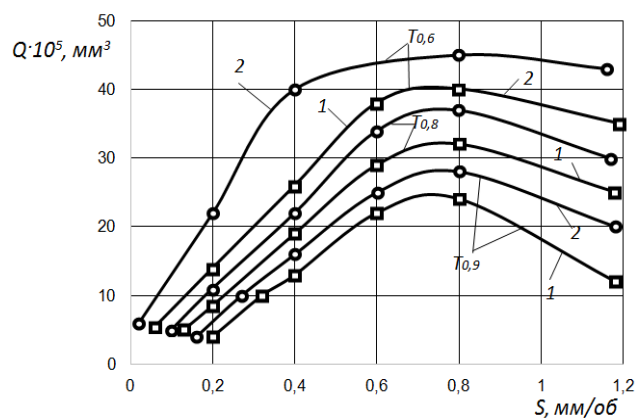


Рис. 5. Вплив подачі на продуктивність обробки з урахуванням розсіювання стійкості (1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти)

Оптимальний розмір подачі під час роботи інструментами, які зміцнені ОІМП, збільшується у 1,2 – 1,3 рази під час зростання продуктивності обробки в 1,1 – 1,2 рази.

Аналогічні закономірності відслідковуються також під час дослідження впливу подачі на собівартість (рисунки 6 и 7, довірчий інтервал: $\Delta C = \pm 0,0342$ грн.) та інструментальні витрати (рисунки 8 та 9, довірчий інтервал: $\Delta S = \pm 0,148$ грн.).

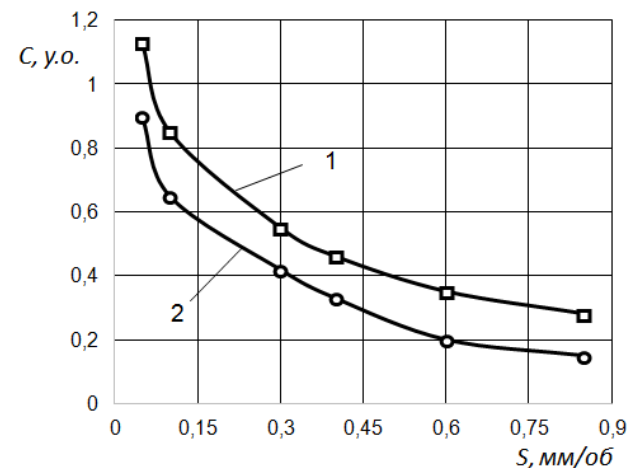


Рис. 6. Вплив подачі на собівартість обробки без урахування розсіювання стійкості (1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти)

Так оптимальна подача, яка відповідає мінімальній собівартості операції, під час роботи інструментами, зміцненими ОІМП, збільшується в 1,15 – 1,25 рази за умови зниження собівартості операції в 1,1 – 1,2 рази. Оптимальна подача, яка відповідає мінімальним інструментальним витратам збільшується в 1,1 – 1,2 рази.

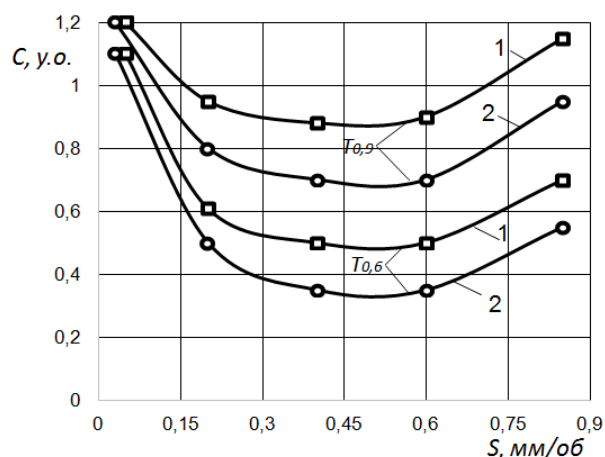


Рис. 7. Вплив подачі на собівартість обробки з урахуванням розсіювання стійкості (1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти)

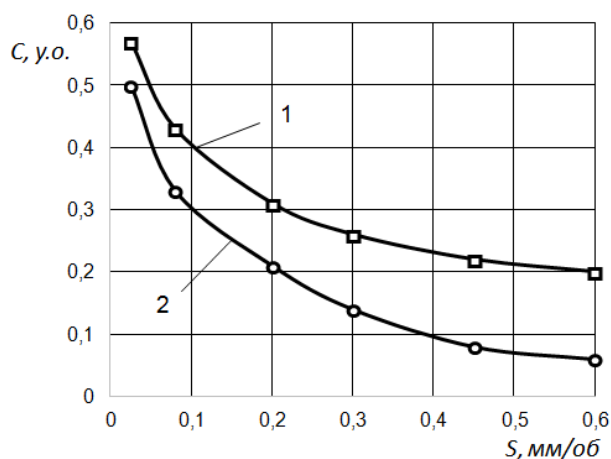


Рис. 8. Вплив подачі на інструментальні витрати без урахування розсіювання стійкості (1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти)

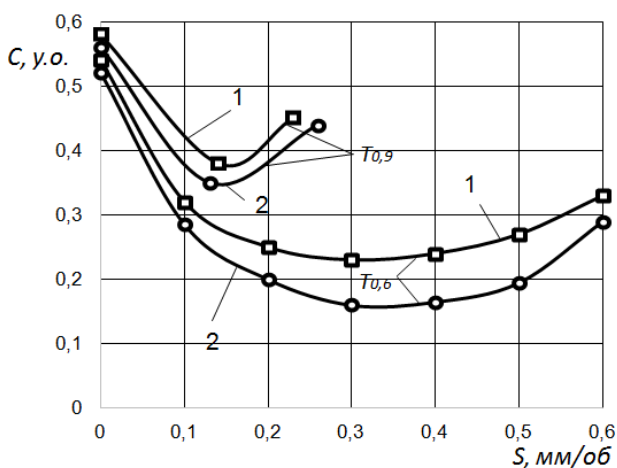


Рис. 9. Вплив подачі на інструментальні витрати з урахуванням розсіювання стійкості (1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти)

Таким чином, за умови чорнової обробки, коли переважає крихке руйнування інструменту, призначати режими різання необхідно, виходячи з оптимального значення подачі з урахуванням розсіювання стійкості інструментів.

Процес обробки металів різанням являє собою систему, що складається з елементів, які є окремими процесами [8, 11, 13]. Стан системи характеризується підбором значень ряду змінних (факторів, показників), а поведінка системи – послідовністю станів у часі. Система має властивість відносної стійкості в тому сенсі, що вона зберігається лише в певних межах зміни її змінних. Для нашого випадку – чорнова обробка металів твердосплавними різальними інструментами, які зміцненні ОІМП.

Вивчення системи здійснюється шляхом зміння параметрів її функціонування:

1. Матеріал, що оброблюється – його властивості: твердість, межа міцності.
2. Операція обробки – знятий припуск, стан вихідної поверхні, режими різання.
3. Різальний інструмент – інструментальний матеріал (склад, властивості), геометричні та конструктивні параметри.
4. Жорсткість системи, її динамічні властивості.
5. Параметри ОІМП – напруженість магнітного поля, частота імпульсів.

Було розглянуто такі результати функціонування системи:

1. Стійкість різального інструменту, гамма-відсоткова стійкість.
2. Варіація стійкості.
3. Продуктивність обробки.
4. Собівартість операції.
5. Інструментальні витрати.

На кожен з параметрів функціонування системи в більшій чи меншій мірі впливають всі змінні фактори її стану, а також їх взаємовплив. У цілому розглянута система характеризується великою кількістю можливих станів і великою кількістю зв'язків між її елементами, тобто є складною системою. Зв'язок між параметрами буде визначено у вигляді статистичних моделей, що характеризують взаємозв'язок між основними змінними факторами системи і параметрами, які характеризують ефективність виробництва.

В якості моделі для опису залежності продуктивності обробки від зміни напруженості магнітного поля x_1 (H), частоти імпульсів x_2 (f), вмісту кобальту в твердому сплаві x_3 (C_0), межі міцності твердого сплаву x_4 (σ_6) було застосовано рівняння першого ступеню із взаємодіями:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4.$$

Зазначене рівняння отримано шляхом варіювання кожного з факторів x_i на верхньому $x_{i\max}$ та нижньому $x_{i\min}$ рівнях, які відрізняються від базового рівня x_{i0} розміром кроку варіювання $\pm\Delta x_i$.

За основу плану експерименту був прийнятий повний факторний експеримент виду 2^4 , де 2 – число

рівней (верхній та нижній) незалежних змінних; 4 – число незалежних замінних [4]. Цей план дозволяє реалізувати всі можливі неповторювані комбінації рівнів незалежних змінних, кожна з яких примусово варіюється на двох рівнях. Для спрощення обчислень застосовано формулу перетворення:

$$Z_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}. \quad (12)$$

Розмір нижнього та верхнього рівня, та, відповідно, розмір кроку варіювання для кожної змінної мав такі значення:

$$\begin{aligned} & - H : x_{1n} = 0,8 \cdot 10^5 \text{ А/м}, \quad x_{1e} = 1,3 \cdot 10^5 \text{ А/м}, \\ & \Delta x_1 = 0,25; \\ & - f : x_{2n} = 5 \text{ Гц}, \quad x_{2e} = 10 \text{ Гц}, \quad \Delta x_2 = 2,5; \\ & - C_0 : x_{3n} = 6\%, \quad x_{3e} = 10\%; \quad \Delta x_3 = 2; \\ & - \sigma_e : x_{4n} = 5,1 \cdot 10^8 \text{ Па}, \quad x_{4e} = 6,3 \cdot 10^8 \text{ Па}, \\ & \Delta x_4 = 0,6. \end{aligned}$$

Коефіцієнти апроксимуючої функції визначалися за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{m=1}^N x_{im} y_m}{N}. \quad (13)$$

Математичну модель залежності продуктивності обробки від показників зміни напруженості магнітного поля x_1 (H), частоти імпульсів x_2 (f), вмісту кобальту в твердому сплаві x_3 (C_0), межі міцності твердого сплаву x_4 (σ_e) за результатами проведеного випробування може бути записано у вигляді:

$$\begin{aligned} y = & 2,795 + 0,828z_1 + 0,025z_2 + 0,358z_3 + 0,369z_4 - \\ & - 0,006z_5 + 0,115z_6 + 0,126z_7 + 0,016z_8 + 0,027z_9 - \\ & - 0,148z_{10} - 0,117z_{11} + 0,145z_{12} - 0,102z_{13} - 0,019z_{14} - \\ & - 0,049z_{15}. \end{aligned} \quad (14)$$

Перевірка на статичну значність розрахованих коефіцієнтів проводилася за довірчим значенням коефіцієнтів:

$$\Delta b_i = \pm t_{\text{кр}} S_{bi}, \quad (15)$$

де S_{bi} – дисперсія, яка характеризує помилку випробування у визначенні коефіцієнтів регресії:

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}, \quad (16)$$

де S_y^2 – дисперсія опыту.

Список літератури

1. Постников С. Н., Кунгин А. Д. Об одной из причин повышения стойкости быстрорежущего инструмента, подвергнутого магнитной обработке. Оптимизация процессов резания жаро- и особопропрочных материалов. *Межвузовский научный сборник*. Уфа. 1980. № 5. С. 157–160.
2. Постников С. Н. Физические основы обработки материалов и изделий последовательностью импульсов слабого магнитного поля. Доклад третьего научно-технического семинара с международным участием по технологии финишной обработки АМО'87 (Варна, окт. 1987 г.). София, 1988. С. 199–207.

На підставі результатів експериментів було розраховано довірче значення для коефіцієнтів регресії: $\Delta b_i = \pm 0,037$.

Тому, відкинувши незначні члени взаємодії, первинну математичну модель можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} y = & 2,795 + 0,828z_1 + 0,35z_3 + 0,369z_4 + 0,115z_6 + \\ & + 0,126z_7 - 0,148z_{10} - 0,117z_{11} + 0,145z_{12} - \\ & - 0,102z_{13} - 0,049z_{15}. \end{aligned}$$

Переходячи від кодованих значень змінних до натуральних, отримуємо рівняння залежності продуктивності обробки від напруженості магнітного поля H , межі міцності твердого сплаву σ_e , вмісту кобальту в твердому сплаві C_0 , частоти імпульсів f :

$$\begin{aligned} Q = & (-22,728 + 0,094H + 2,869C_0 + 4,7717\sigma_e + 3,43f + \\ & + 0,0031HC_0 - 0,0144H\sigma_e - 0,7787f\sigma_e - 0,5983C_0\sigma_e - \\ & - 0,892Hf - 0,4846fC_0 + 0,0112HfC_0 + 0,0973fC_0\sigma_e + \\ & + 0,0026HfC_0\sigma_e) \cdot 10^6. \end{aligned}$$

Використовуючи це рівняння та застосовуючи метод крутого сходження, знайдено найбільш доцільні розміри відхилення напруженості магнітного поля H , межі міцності твердого сплаву σ_e , вмісту кобальту в твердому сплаві C_0 , частоти імпульсів f від номінальних значень.

Висновки

1. Результати виробничих випробувань твердосплавних різальних інструментів довели, що застосування обробки імпульсним магнітним полем сприяє підвищенню стійкості інструментів в 1,2 – 2,0 рази та зниженню коефіцієнту варіації стійкості в 1,3 – 3,1 рази. Гамма-відсоткова стійкість інструментів підвищується в 1,7 – 2,8 рази.

2. Встановлено, що використання обробки імпульсним магнітним полем сприяє підвищенню оптимальної стійкості в 1,4 – 2 рази.

3. Для інструментів, які працюють в умовах важкого різання, використання обробки імпульсним магнітним полем сприяє підвищенню оптимальної подачі в 1,15–1,3 рази.

4. Використовуючи факторний аналіз типу 2^4 , визначено залежність продуктивності обробки різцями, які зміцнені ОІМП, від напруженості магнітного поля H , межі міцності твердого сплаву σ_e , вмісту кобальту в твердому сплаві C_0 , частоти імпульсів f .

3. Малыгин Б. В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. М. : Машиностроение, 1989. 112 с.
4. Кацев П. Г. Статистические методы исследований режущего инструмента. М. : Машиностроение, 1974. 155 с.
5. Ковалев В. Д., Васильченко Я. В., Клименко Г. П. Применение обработки импульсным магнитным полем для упрочнения деталей машин и режущего инструмента. *Вестник двигателестроения*. Запорожье. ЗНТУ. 2004. № 4. С. 149–151.
6. Сорока О. Б., Родичев Ю. М., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В. Зміцнення твердосплавного різального інструменту для важкого машинобудування на основі поверхневої та об'ємної модифікації фізичними методами. *Вісник Тернопільського Національного технічного університету ім. І.Пулюя*. 2013. № 3 (71). С. 133–145.
7. Родичев Ю. М., Сорока О. Б., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Прискорені випробування різальних пластин при інтенсивному контактному навантаженні. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. Краматорськ, 2018. № 1 (43). С. 181–187.
8. Kovalev V., Vasilchenko Y. Statistical researches of work of the enterprises of heavy mechanical engineering for a substitution of technical characteristics of new machine tools. 11th International Conference RaDMI 2011 from 15-18 September 2011, Sokobanja (Serbia). 2011. P. 359–364.
9. Soroka O., Rodichev J., Shabetia O., Kovalov V., Vasilchenko Y., Shapovalov M. Strength of tool materials. Modern trends in material processing: Collective monograph. Edited by Predrag Dašić. Vrnjačka Banja. 2018. P. 185–217.
10. Клименко Г. П., Мироненко Є. В., Гузенко В. С., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Експлуатація збірних різців : монографія для студентів спеціальностей 6.050503, 6.050502, 8.05050301, 8.05050302, 8.05050201 денної та заочної форми навчання. Краматорськ. 2015. 86 с.
11. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шаповалов М. В. Разработка технологических систем для обработки крупногабаритных деталей на базе адаптивных многоцелевых тяжелых станков. *Вестник СевНТУ. Машиноприладобудування та транспорт*. 2013. № 139. С. 28–32.
12. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шаповалов М. В. Методы повышения эффективности процесса резания на тяжелых станках. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць*. Краматорськ. 2011. № 29. С. 76–84.
13. Шаповалов М. В., Васильченко Я. В. Банк данных для выбора рациональной конструкции сборных резцов. *Сборник научных трудов ЗАО ОНИКС. Теория и практика в машиностроении*. Ирбит. 2013. С. 159–162.
14. Скибин В. В., Абанкин В. И. Выбор подачи с учетом рассеивания стойкости твердосплавных резцов. *Сб. Надежность режущего инструмента*. Вып. № 2. Киев. Вища школа, 1975. С. 39–42.
15. Хае Г. Л. Надежность режущего инструмента. Киев. УкрНИИТИ, 1968. 115 с.
16. Pal C. N., Pal D. K., Das Yupta M. C. Influence of magnetic field on drill life in drilling cast iron. *J. Just. Eng. (India). Mech. Eng. Div.* 1974. № 5. P. 241–246.
17. Advances in Engineering Materials and Applied Mechanics: Proceedings of the International Conference on Machinery, Materials Science and Engineering Application. (MMSE 2015). Wuhan. China. June 27-28 2015.
18. Алифанов А. В., Попова Ж. А., Ционенко Н. М. Магнитно-импульсная обработка стальных изделий. *Перспективные материалы и технологии : Сб. науч. тр.* Гл. 25. Витебск. ВГТУ 2013. С. 520–542.

References

1. Postnikov, S. N., Kungin, A. D. (1980), "About one of the reasons for increasing the durability of a high-speed tool subjected to magnetic processing. Optimization of cutting processes of heat- and extra-strong materials" ["Ob odnoy iz prichin povysheniya stoykosti bystrorezhushchego instrumenta, podvergnutogo magnitnoy obrabotke. Optimizatsiya protsessov rezaniya zharo- i osoboprochnykh materialov"], *Interuniversity scientific collection*, Ufa, No. 5, P. 157–160.
2. Postnikov, S. N. (1988), "Physical bases of processing materials and products by a sequence of pulses of a weak magnetic field" ["Fizicheskie osnovy obrabotki materialov i izdeliy posledovatel'nost'yu impul'sov slabogo magnitnogo polya"], *Report of the third scientific and technical seminar with international participation on the finishing technology of AMO '87 (Varna, Oct. 1987)*. Sofia, P. 199–207.
3. Malygin, B. V. (1989), *Magnetic hardening of tools and machine parts [Magnitnoe uprochnenie instrumenta i detaley mashin]*, Moscow, Engineering, 112 p.
4. Katsev, P. G. (1974), *Statistical methods of cutting tool research [Statisticheskie metody issledovaniy rezhushchego instrumenta]*, Moscow, Engineering, 155 p.
5. Kovalov, V., Vasilchenko, Y., Klimenko, G. (2004), "Application processing pulse magnetic field for hardening machine parts and cutting tools" ["Primenenie obrabotki impul'snym magnitnym polem dlya uprochneniya detaley mashin i rezhushchego instrumenta"], *Engine Bulletin*, Zaporozhye, ZNTU, No. 4, P. 149–151.
6. Soroka, O., Rodichev, Ju., Kovalov, V., Vasilchenko, J. (2013), "Strengthening of the carbide cutting tool for heavy engineering on the basis of surface and bulk modification by physical methods", ["Zmicennja tverdospлавnogo rizal'nogho instrumentu dlja vazhkogho mashynobuduvannja na osnovi poverkhnevoji ta ob'jemnoji modyfikaciji fizychnymy metodamy"], *Bulletin of the Ternopil National Technical University named after. I. Pulyuya*, No. 3 (71), P. 133–145.
7. Rodichev, Ju., Soroka, O., Kovalov, V., Vasilchenko, J., Shapovalov, M. (2018), "Accelerated test of cutting plates with intensive contact loading" ["Prskoreni vyprobuvannja rizal'nykh plastyn pry intensyvnomu kontaktnomu navantazhenni"], *Bulletin of the Donbass State Engineering academy*, Kramatorsk, No. 1 (43), P. 181–187.
8. Kovalev, V., Vasilchenko, Y. (2011), "Statistical researches of work of the enterprises of heavy mechanical engineering for a substitution of technical characteristics of new machine tools", *11th International Conference RaDMI 2011 from 15-18 September 2011, Sokobanja (Serbia)*, P. 359–364.
9. Soroka, O., Rodichev, Ju., Shabetia, O., Kovalov, V., Vasilchenko, Y., Shapovalov, M. (2018), Strength of tool materials, *Modern trends in material processing: Collective monograph, Edited by Predrag Dašić*, Vrnjačka Banja, P. 185–217.
10. Klymenko, G., Myronenko, Je., Ghuzenko, V., Vasilchenko, J., Shapovalov, M. (2015), "Exploitation of prefabricated cutters : a monograph for students of specialties 6.050503, 6.050502, 8.05050301, 8.05050302, 8.05050201 of full-time and part-time study" ["Ekspluatacija zbirykh rizciv: monografija dlja studentiv special'nostej 6.050503, 6.050502, 8.05050301, 8.05050302, 8.05050201 dennoji ta zaочноji formy navchannja"], Kramatorsk, 86 p.

11. Vasilchenko, Y., Sukova, T., Shapovalov, M. (2013), "Development of technological systems for processing large-sized parts based on adaptive multi-purpose heavy machines" ["Razrabotka tekhnologicheskikh sistem dlya obrabotki krupnogabaritnykh detaley na baze adaptivnykh mnogotselevykh tyazhelykh stankov"], *Bulletin of SevNTU. Machinery and equipment and transport*, No. 139, P. 28–32.
12. Vasilchenko, Y., Sukova, T., Shapovalov, M. (2011), "Methods to improve the efficiency of the cutting process on heavy machines" ["Metody povysheniya effektivnosti protsessa rezaniya na tyazhelykh stankakh"], *Reliability of tools and optimization of technological systems. Collection of scientific papers*, Kramatorsk, No. 29, P. 76–84.
13. Shapovalov, M., Vasilchenko, Y. (2013), "Databank for choosing a rational design of precast cutters" ["Bank dannykh dlya vybora ratsional'noy konstruktzii sbornykh reztsov"], *Collection of scientific papers of JSC ONIKS. Theory and practice in engineering*, Irbit, P. 159–162.
14. Skibin, V., Abankin, V. (1975), "Choice of supply with regard to the dispersion of the hardness of carbide cutters" ["Vybor podachi s uchetom rasseivaniya stoykosti tverdospilavnykh reztsov"], *Collection Reliability cutting tools*, Issue 2, Kyiv, Higher school, P. 39–42.
15. Khaet, G. (1968), *Reliability of the cutting tool [Nadezhnost' rezhushchego instrumenta]*, Kyiv, UkrNIITI, 115 p.
16. Pal, C., Pal, D., Das Yupta, M. (1974), Influence of magnetic field on drill life in drilling cast iron, J. Just, Eng. (India), *Mech, Eng, Div*, No. 5, P. 241–246.
17. Advances in Engineering Materials and Applied Mechanics: *Proceedings of the International Conference on Machinery, Materials Science and Engineering Application, (MMSE 2015)*, Wuhan, China, June 27–28 2015.
18. Alifanov, A., Popova, Zh., Tsionenko, N. "Magnetic-impulse treatment of steel products" ["Magnitno-impul'snaya obrabotka stal'nykh izdeliy"], *Perspective materials and technologies : Sat. scientific tr.*, Part 25, Vitebsk, VSTU, P. 520–542.

Надійшла (Received) 30.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шаповалов Максим Валерійович – Донбаська державна машинобудівна академія, асистент кафедри комп'ютеризованих мехатронних систем, інструментів та технологій, Краматорськ, Україна; e-mail: harleymax1979@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5753-9598>

Шаповалов Максим Валерієвич – Донбасская государственная машиностроительная академия, ассистент кафедры компьютеризованных мехатронных систем, инструментов и технологий, Краматорск, Украина.

Shapovalov Maxim – Donbass State Engineering Academy, Assistant at the Department of Computerized Mechatronic Systems, Tools and Technologies, Kramatorsk, Ukraine.

Ковальов Віктор Дмитрович – доктор технічних наук, професор, Донбаська державна машинобудівна академія, ректор, Краматорськ, Україна; e-mail: kovalov.viktor@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5091-5856>

Ковалев Виктор Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, Донбасская государственная машиностроительная академия, ректор, Краматорск, Украина.

Kovalov Viktor – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Donbass State Engineering Academy, Rector, Kramatorsk, Ukraine.

Васильченко Яна Василівна – доктор технічних наук, доцент, Донбаська державна машинобудівна академія, завідувач кафедри комп'ютеризованих мехатронних систем, інструментів та технологій, Краматорськ, Україна; e-mail: wasilchenko.ua@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4566-8827>

Васильченко Яна Васильевна – доктор технических наук, доцент, Донбасская государственная машиностроительная академия, заведующий кафедры компьютеризованных мехатронных систем, инструментов и технологий, Краматорск, Украина.

Vasilchenko Yana – Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Donbass State Engineering Academy, Head at the Department of Computerized Mechatronic Systems, Tools and Technologies, Kramatorsk, Ukraine.

ВЛИЯНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ, УПРОЧНЕННЫХ ОИМП НА ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Предметом исследования в статье является процесс упрочнения режущего инструмента для тяжелых станков. **Цель** работы – повышение эксплуатационного ресурса, надежности, прочности и износостойкости твердосплавных режущих инструментов за счет обработки импульсным магнитным полем. В статье решаются следующие **задачи**: установить основные факторы, влияющие на изменение износостойкости твердого сплава, который обработан импульсным магнитным полем; исследовать влияние результатов испытаний твердосплавных режущих инструментов, которые упрочнены ОИМП на производительность в производственных условиях; установить влияние ОИМП на показатели эксплуатационной стойкости инструмента; исследовать взаимосвязь параметров ОИМП, параметров технологического процесса резания и эффективности производства. Получены следующие **результаты**: на основании производственных испытаний твердосплавных режущих инструментов установлено, что применение обработки импульсным магнитным полем способствует повышению износостойкости режущих инструментов, уменьшению коэффициента вариации устойчивости, повышению гамма-процентной устойчивости, уменьшению количества выкрашивания, поломок в зоне приработки инструмента. Применение ОИМП позволяет оптимизировать режимы резания по производительности обработки, себестоимости операции

и инструментальным расходам. Установлено, что при тяжелых условиях резания целесообразно оптимизировать режим резания по величине подачи с учетом рассеяния стойкости инструментов. **Выводы:** применение обработки импульсным магнитным полем способствует повышению устойчивости инструментов в 1,2 – 2,0 раза и снижению коэффициента вариации стойкости в 1,3 – 3,1 раза. Гамма-процентная устойчивость инструментов повышается в 1,7 – 2,8 раза. Оптимальная стойкость повышается в 1,4 – 2 раза, оптимальная подача – в 1,15 – 1,3 раза. Определена зависимость производительности обработки резцами после ОИМП от напряженности магнитного поля H , предела прочности твердого сплава σ_c , содержания кобальта в твердом сплаве C_0 , частоты импульсов f .

Ключевые слова: обработка импульсным магнитным полем; твердосплавный инструмент; производственные испытания; стойкость; коэффициент вариации стойкости.

THE IMPACT OF THE RESULTS OF PRODUCTION TESTS OF CARBIDE CUTTING TOOLS HARDENED BY A MAGNETIC-PULSE TREATMENT ON INCREASING THE EFFICIENCY OF THE TECHNOLOGICAL CUTTING PROCESS

The **subject matter** of the article is the process of hardening cutting tools for heavy machines. The **goal** of the work is to increase the operating life, reliability, durability and wear resistance of carbide cutting tools due to magnetic-pulse treatment. The **tasks** were solved: the main factors affecting the change in wear resistance of a carbide treated with a pulsed magnetic field; the impact of the test results of carbide cutting tools hardened by a magnetic-pulse treatment (MPT) on the productive capacity was studied; the MPT impact on the tool durability indices; the interrelation of the MPT parameters, cutting parameters and production efficiency were studied. The following **results** were obtained: the production tests of carbide cutting tools showed that magnetic-pulse treatment contributes to improving the wear resistance of cutting tools, reducing the coefficient of durability variations, increasing gamma-percentile stability, reducing the amount of chipping and breakage in the area of tool breaking-in. The MPT application enables optimizing cutting conditions in performance rate, cost of operation and tool expenses. It was found out that under difficult cutting conditions, the cutting mode should be optimized in the depth of cut, taking into account the spread of tool durability. **Conclusions.** A magnetic-pulse treatment contributed to increasing the stability of tools by 1.2-2.0 times and decreasing the coefficient of durability variations by 1.3-3.1 times. The gamma- percentile stability of tools increased by 1.7 - 2.8 times; the optimum durability went up by 1.4-2 times, the optimal feed – by 1.15-1.3 times. The dependence of the performance of machining with a cutter after MPT on the magnetic intensity H , on the carbide resistance to rupture σ_c , on the amount of cobalt in a carbide C_0 and on the pulse frequency f was determined.

Keywords: magnetic-pulse treatment; carbide tools; production tests; durability; the coefficient of durability variations.

Ю. М. Шмельов, С. І. Владов, О. Ф. Кришан, С. Д. Гвоздк, Л. І. Чижова

РОЗРОБКА МЕТОДУ КЛАСИФІКАЦІЇ РЕЖИМІВ РОБОТИ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВ3-117 НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Предметом дослідження в статті є режими роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 та методи їх розпізнавання. **Мета** роботи – розробка методів класифікації режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі нейромережових технологій у режимі реального часу. В статті вирішуються наступні **завдання**: формування принципів класифікації та розпізнавання станів авіаційного двигуна ТВ3-117, визначення основних кроків розв'язку задачі класифікації та розпізнавання станів авіаційного двигуна ТВ3-117 в нейромережевому базисі, розробка методу класифікації та розпізнавання станів авіаційного двигуна ТВ3-117 з використанням нейронних мереж. Використовуються такі **методи**: методи теорії ймовірностей і математичної статистики, методи нейроінформатики, методи теорії інформаційних систем та обробки даних. Отримано наступні **результати**: Сформульовані принципи класифікації та розпізнавання станів авіаційного двигуна ТВ3-117 та визначено основні кроки розв'язку даної задачі. Обґрунтовано, що розв'язок задачі класифікації режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 у нейромережевому базисі дозволяє більш ефективно і якісно вирішити цю задачу, з меншими витратами часу і обчислювальних ресурсів у порівнянні з використанням класичних методів (наприклад, методу Байеса). Досліджена багаторівнева інформаційна структура. **Висновки**: Застосування нейромережових технологій для класифікації та розпізнавання станів авіаційного двигуна ТВ3-117 дозволяє зменшити час обробки даних, причому основний час, що витрачається на розв'язок даної задачі, використовується на процес навчання нейронної мережі. Перспективами подальшого дослідження є розробка експертної системи, одним із модулів якої є модуль класифікації та розпізнавання станів авіаційного двигуна ТВ3-117, яка використовується в бортовій системі для контролю і діагностики технічного стану двигуна та взаємодіє з системами управління двигуном, що дозволяє останньому плавно та своєчасно діяти на виконавчих механізмах, з одного боку, з метою поліпшення якості управління двигуном та його підсистемами, а з іншого – підвищення його надійності у процесі його експлуатації.

Ключові слова: авіаційний двигун; нейронна мережа; перцептрон; режими роботи; класифікація.

Вступ

Авіаційний двигун ТВ3-117 як відновлюваний об'єкт протягом терміну служби вимагає безперервного контролю і діагностики його поточного стану у режимі реального часу, трудомісткість якого залежить від рівня автоматизації процесів отримання, обробки, зберігання, документування інформації щодо його поточного стану, послідовність і методи виконання яких визначають інформаційну технологію моніторингу.

Незважаючи на значний обсяг досліджень у даній області, інформаційні технології контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 не є досконалими за низкою причин, основними з яких є, з одного боку, роз'єднаність баз даних випробувань, відсутність інтелектуальних компонент, що дозволяють якісно і ефективно здійснювати підтримку прийняття рішень і, як наслідок, зменшувати загальний час, що витрачається на його обслуговування; з іншого боку, нестаціонарність фізичних процесів у двигуні, складність їх математичного опису, залежність технічних характеристик двигуна від зовнішніх умов роботи, обмежений склад вимірюваних термогазодинамічних параметрів двигуна, їх технологічний розкид тощо. Зазначені фактори призводять до необхідності прийняття рішень щодо технічного стану двигуна в умовах суттєвої невизначеності.

Основними напрямками, що визначають підвищення якості інформаційних технологій контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, слід вважати інтелектуалізацію процесів обробки інформації з залученням методів

інтелектуального аналізу даних, які здатні забезпечити підвищення якості розпізнавання його технічного стану при дії зазначених вище невизначених факторів, а також інтеграцію інформаційних процесів (розподілених локальних баз даних і знань в глобальну базу даних і знань).

Методи інтелектуального аналізу даних є новим напрямком, що доповнює і розвиває класичні статистичні методи дослідження, які відомі як Data Mining – "здобич" даних і виявлення знань. Data Mining використовує сучасні інтелектуальні технології, що включають в себе нейронні мережі нечітку логіку, експертні системи. Ці технології використовуються у даній роботі для вирішення широкого спектра задач контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 як складного динамічного об'єкту.

Аналіз робіт в області контролю і діагностики стану авіаційних двигунів на основі нейронних мереж [1–5] показує, що в даний час такі роботи ведуться, однак, в силу низки причин (таємність, вузька спеціалізація вирішуваних задач) в більшості публікацій відсутні інженерні методики, а також теоретичні та практичні рекомендації щодо вирішення подібних задач. В роботі досліджуються постановка задачі й можливі алгоритми вибору архітектури нейронних мереж, алгоритмів їх навчання, оцінки ефективності їх роботи тощо, а також розробляється метод розв'язку задачі класифікації режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 з використанням нейромережових технологій.

Аналіз існуючих методів класифікації та розпізнавання станів авіаційних двигунів

Класифікація та розпізнавання класів станів авіаційного двигуна як динамічного об'єкта необхідні для узгодження стратегії оптимального управління його станом. Будемо вважати, що поведінка авіаційного двигуна ТВ3-117 як складного динамічного об'єкта може бути представлена у вигляді рівнянь в просторі станів:

$$\dot{X}(t) = F(X(t), U(t), V(t), A(t)); \quad (1)$$

$$Y(t) = G(X(t), U(t), V(t)), \quad (2)$$

де $X(t)$ – вектор змінних стану двигуна; $U(t)$ – вектор керуючих впливів; $V(t)$ – вектор зовнішніх впливів, що обурюють; $Y(t)$ – вектор спостережуваних (вихідних) координат; F , G – нелінійні вектор-функції. Тоді основними причинами зміни станів двигуна можна вважати зміну векторів $U(t)$ і $V(t)$, параметрів авіаційного двигуна $A(t)$, а також зміна операторів F і G при його функціонуванні.

На рис. 1 наведено орієнтований граф, що описує процес зміни режимів роботи (класів станів) авіаційного двигуна ТВ3-117, де H_1 – клас сталих режимів, для яких $U(t) = \text{const}$, $A(t) = \text{const}$, $F(t) = \text{const}$; H_2 – клас режимів, що супроводжуються лінійним трендом параметрів, для якого $U(t) = \text{const}$, $A(t) = \text{var}$, $F(t) = \text{var}$; H_3 – клас перехідних режимів роботи (станів), для яких $U(t) = \text{var}$, $A(t) = \text{const}$, $F(t) = \text{const}$; H_4 – клас невстановлених режимів роботи (розгін, дроселювання), для яких $U(t) = \text{var}$, $A(t) = \text{var}$, $F(t) = \text{var}$.

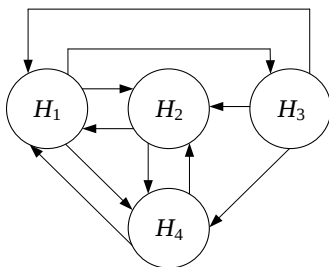


Рис. 1. Модель процесу зміни класів станів авіаційного двигуна ТВ3-117

Крім перерахованих (справних) станів розрізняють клас несправних (відмовних) станів, що характеризується зміною класу операторів F і G в (1) і (2), при цьому класифікація станів авіаційного двигуна ТВ3-117 теоретично можлива у просторі станів, якщо використовувати змінні стану як параметри класифікації. Однак, доступними для спостереження є компоненти вектору $Y(t)$, що включають адитивні випадкові шуми вимірювань. Отже, існує проблема визначення робочого набору ознак для побудови вирішальних правил, інваріантних до випадкових шумів спостережень. Іншою проблемою підвищення якості розпізнавання є

підвищення точності визначення меж класів станів авіаційного двигуна. Ця проблема обумовлена тим, що вони істотно залежать від співвідношень між динамічними параметрами двигуна (і спектральними характеристиками всіх видів впливу і збурень, що мають випадковий характер, і, отже, є умовними).

Основним методом, на базі якого здійснюється процес класифікації режимів роботи авіаційного двигуна є байєсівський підхід [6]. При цьому оцінюється умовна ймовірність за формулою:

$$P(r_j/k) = \frac{P(r_j)P(k/r_j)}{\sum_{i=1}^n P(r_i)P(k/r_i)}, \quad (3)$$

де $P(r_j/k)$ – ймовірність j -го діагнозу, тобто розглянутий динамічний режим належить до підмножин m_j . Тут величина $P(r_j/k)$ є апостеріорної ймовірністю, тобто визначається після отримання інформації по комплексу ознак $k = (k_1, k_2, \dots, k_n)$. Елемент $P(k/r_j)$ визначає ймовірність появи реалізованого комплексу ознак у підмножині m_j .

До недоліків даного методу слід віднести:

- необхідність врахування великих обсягів апіорної і апостеріорної інформації про потужність й спектральну щільність впливів, погрешності вимірів на всіх режимах роботи двигуна;
- класифікація здійснюється тільки на сталих режимах роботи двигуна;
- низька якість класифікації через похибки оцінок масштабу розподілу, обумовлених як недостовірною апіорною інформацією про ймовірнісні характеристики класів, так і похибками обчислень, і близькістю центрів розпізнавання класів.

У [3] підвищення якості класифікації режимів роботи авіаційного двигуна здійснюється за рахунок збільшення компактності аналізованих сигналів кожного класу щодо центрів групування шляхом вибору виду нелінійного перетворення простору класифікованих параметрів. При цьому відбувається зміна відстані між класами, така при якій міри близькості класів в обраній метриці збільшуються.

У даний час процес класифікації режимів роботи авіаційних двигунів, як правило, здійснюється вручну, за участю висококваліфікованого фахівця, тривала і монотонна робота якого, з одного боку, може призвести до помилок класифікації, а з іншого боку – до значних часових витратах.

Для ліквідації перерахованих вище недоліків у роботі пропонується метод розв'язку задачі класифікації режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі нейронних мереж.

Постановка задачі

Є часовий ряд, утворений наборами даних за результатами вимірювання термогазодинамічних параметрів двигуна $y_1(t)$, $y_2(t)$, ..., $y_N(t)$ на

деякому інтервалі спостереження від t_1 до t_2 . Потрібно виділити характерні ділянки часового ряду, що відповідають певним класам $S_1, S_2, \dots, S_k$ станів

авіаційного двигуна ТВ3-117 $\bigcup_{\alpha=1}^k S_{\alpha} = S_0$, де S_0 – клас можливих режимів (справних станів) двигуна.

Процедура розв'язку даної задачі за допомогою нейронної мережі показана на рис. 2, де $F(t)$ – вектор бажаних вихідних реакцій нейронної мережі: $F(t) = \{F_1(t), F_2(t), \dots, F_M(t)\}$, $\xi_1, \dots, \xi_M$ – виходи нейронної мережі; $\varepsilon_1(t), \dots, \varepsilon_M(t)$ – значення вектору помилки на виході нейронної мережі.

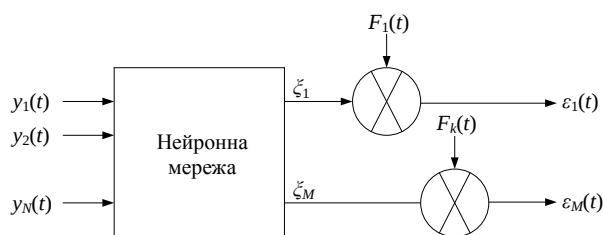


Рис. 2. Схема нейромережевого класифікатора станів авіаційного двигуна ТВ3-117

Навчання нейронної мережі зводиться до наступного. На входи нейронної мережі подаються "відрізки" часового ряду $y_1(t), \dots, y_N(t)$ на деякому інтервалі спостереження від t_i до t_{i+1} , що належать завідомо відомим класам (режимам роботи) двигуна S_{α} , ($\alpha = 1, 2, \dots, k$). Бажаними реакціями нейронної мережі в кожному випадку буде двійкове подання номера розпізнаного класу α .

Наприклад, класу сталих режимів авіаційного двигуна ТВ3-117 відповідає код (0, 0) на виході нейронної мережі, класу перехідних режимів – код (0, 1), класу невстановлених режимів – код (1, 0) тощо. Помилка навчання нейронної мережі визначається наступним чином:

$$E = \sum_{i=1}^m \varepsilon_i^2(t) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Мінімуму помилки (4) відповідає навчена мережа, яка розв'язує задачу розпізнавання (класифікації) режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117.

Розглянемо алгоритм розв'язку поставленої задачі на прикладі даних, записаних на борту для авіаційного двигуна ТВ3-117. Оцифрований фрагмент запису (осцилограми) термогазодинамічних процесів авіаційного двигуна ТВ3-117 наведено на рис. 3, де виділено 6-хвилинний інтервал польоту вертольоту Ми-8-МТВ з двома двигунами. Передбачається, що в якості розпізнавання режимів роботи двигуна тут виступають: I – сталі режими; II – режим розгону; III – режим дроселювання. Розв'язок задачі класифікації режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 проводитимемо на основі наступних кроків пропонуваного методу:

1. Аналіз даних.
2. Попередня обробка даних.
3. Вибір архітектури нейронної мережі.
4. Вибір структури нейронної мережі.
5. Вибір алгоритму навчання нейронної мережі.
6. Оцінювання ефективності.

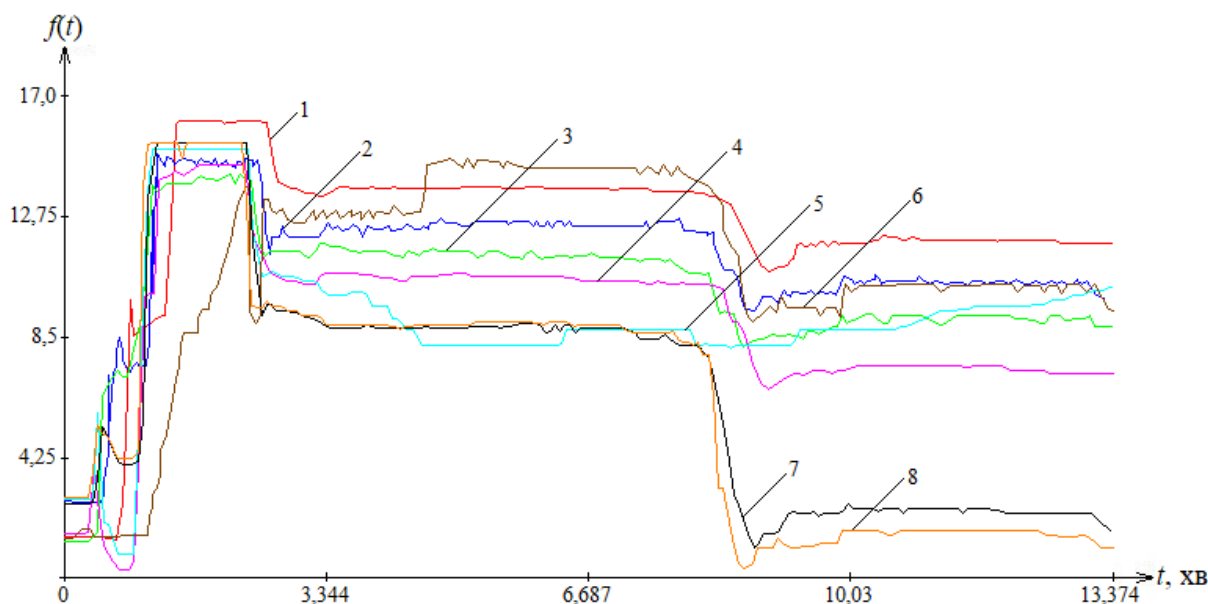


Рис. 3. Оцифрована осцилограма термогазодинамічних процесів в авіаційному двигуні ТВ3-117

На рис. 3 цифрами позначені наступні термогазодинамічні параметри: 1 – частота обертання ротора турбокомпресора першої силової установки; 2 – частота обертання ротора турбокомпресора другої силової установки; 3 – температура газів за турбіною високого тиску другої

силової установки; 4 – швидкість польоту; 5 – температура газів за турбіною компресора першої силової установки; 6 – висота польоту; 7 – ручка управління двигуном другої силової установки; 8 – ручка управління двигуном першої силової установки.

Аналіз даних

Основною ознакою, за якою здійснюється виділення "еталонних" ділянок часового ряду при побудові навчальної вибірки нейронної мережі, є положення ручки управління двигуном (*RUD*). Надалі із загальної групи термогазодинамічних параметрів, наведених на оцифрованій осцилограмі, будемо розглядати ті з них, які відносяться до першого двигуна ($N = 2$): N_{1-1} – частота обертання ротора турбокомпресора (крива 1), %; T_{3-1}^* – газу за турбіною компресора (крива 5), %; RUD_1 – положення ручки управління двигуном (крива 8), %.

Ці дані у сукупності з часовою координатою t (хв) утворюють вхідний вектор $y(t) = \{N_1(t), T_3^*(t)\}$, де $t \in [7, 268; 13, 374]$. У процесі роботи з осцилограмою (рис. 3) був виділений інтервал навчання $T_{навч} \in [9, 35 \text{ хв}; 15, 35 \text{ хв}]$, відповідний двом хвилинам, в межах якого існують такі режими:

- режим розгону: $t_1 = 7, 268 \text{ хв}$; $t_2 = 7, 318 \text{ хв}$;
- сталий (0,8 номіналу) режим: $t_2 = 7, 318 \text{ хв}$;
 $t_3 = 8, 268 \text{ хв}$;
- режим дроселювання: $t_3 = 8, 268 \text{ хв}$;
 $t_3 = 8, 308 \text{ хв}$.

Дані знімалися кожну секунду, тому навчальна вибірка містила 120 часових відліків. При цьому на режими розгону і дроселювання припадало лише по п'ять відліків. Загальний інтервал спостережень склав шість хвилин (360 часових відліків). При розв'язку задачі класифікації режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 за допомогою нейронних мереж, процес класифікації здійснюється у часовому вікні. Для якісної класифікації, ширина часового вікна повинна бути не менше п'яти відліків, щоб розпізнати класи станів авіаційного двигуна ТВ3-117.

Попередня обробка даних

Попередня обробка вхідних даних включає нормалізацію кожного з перерахованих вище параметрів двигуна $y_i(t)$ відповідно до виразу:

$$y_i = \frac{y_i - y_{i\min}}{y_{i\max} - y_{i\min}}, \quad (5)$$

де y_i – безрозмірна величина, яка знаходиться в діапазоні $[0; 1]$; $y_{i\min}$ й $y_{i\max}$ – мінімальне і максимальне значення y_i .

Для розпізнавання режимів роботи (класів станів) авіаційного двигуна ТВ3-117 нейронною мережею необхідно з значень часового ряду спостережень виділити відліки, які в межах часового вікна $\Delta y_i(t)$ відповідають сталим режимом роботи двигуна. Це

здійснюється шляхом обчислення середнього значення (змінного середнього), в межах часового вікна, на всьому інтервалі $t \in [t_1; t_2]$, оскільки $\Delta y_i(t)$ на сталому режимі роботи тотожно дорівнює нулю, а на інших режимах роботи двигуна відмінно від нуля:

$$\Delta y_i(t) = y_i - \frac{\sum_{i=0}^{L-1} y_i}{L}, \quad (6)$$

де L – ширина "вікна".

Оптимальний розмір часового вікна знаходиться у процесі експериментальних досліджень. На цьому етапі уточнюються показники репрезентативності вихідної вибірки, а також однорідності навчальної й тестової вибірки [11].

Вибір архітектури нейронної мережі

Побудуємо нейромережевий класифікатор, представлений на рис. 4, де Δ – часова затримка, $\Delta t = 1$ с. Згідно з рис. 4 нейронна мережа повинна мати $2 \times L$ входів по L для кожного з параметрів: n_1 і T_3^* . Зазначені L параметрів є данні вимірювань, а також затримані значення, аналогічні по n_1 і T_3^* . У якості виходів нейронної мережі будемо вважати сигнали ξ_1 і ξ_2 . Для навченої мережі виходи повинні приймати значення F_1 і F_2 (табл. 1). З огляду на те, що вхідний вектор $y(t) = y_1(t), \dots, y_N(t)$, для нейронної мережі при розв'язку задачі розпізнавання режимів авіаційного двигуна ТВ3-117 відповідає набору ознак, а вихідний вектор $\bar{\xi} = [\xi_1; \xi_2]$, заданий бінарно (табл. 1), класу станів, математичну модель перцептрону можна представити у вигляді системи рівнянь (7), (8).

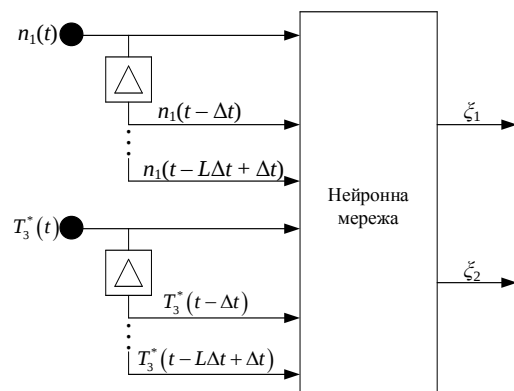


Рис. 4. Архітектура нейромережевого класифікатора

Позначимо через $A^l = \{a_1^l, a_2^l, \dots, a_{m_l}^l\}$ множину вихідних сигналів нейронів l -го шару; а через $W^l = \|W_{ij}^l\|$ матрицю вагових синаптичних зв'язків, що з'єднують нейрони l -го шару з нейронами $(l + 1)$ -го шару.

Таблиця 1. Бажані значення виходів нейромережевого класифікатора

Розпізнані режими	Сигнали на виході нейронної мережі	
	F_1	F_2
Сталий	0	0
Розгін	1	0
Дроселювання	0	1

Тоді функціонування перцептрону можна описати наступною системою рівнянь:

- для вхідного шару ($l = 1$): $A^l = y(t)$, де $y(t)$ – вхідний вектор;

- для прихованого шару ($l = 2$):

$$a_j^2 = f \left(\sum_{i=1}^{m_1} W_{ij}^1 a_i^1 + \eta_j \right), \quad (7)$$

де $j = 1, 2, \dots, m_2$;

- для вихідного шару ($l = 3$):

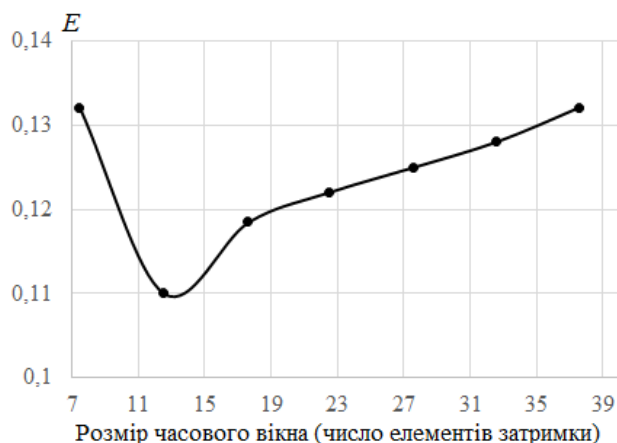
$$Z_j = f \left(\sum_{i=1}^{m_2} W_{ij}^2 a_i^2 + \chi_j \right), \quad (8)$$

де $j = 1, 2, \dots, m_3$.

У (7) і (8) m_l – число нейронів l -го шару; η_j і χ_j – величини зміщення нейронів, відповідно, прихованого і вихідного шарів; $f(\bullet)$ – активаційна функція нейрона. У даному випадку $m_1 = 2L$, $m_3 = 2$.

Аналіз різних архітектур нейронних мереж [7–11] показав, що в якості нейронної мережі доцільно прийняти тришаровий перцептрон.

Вибір структури нейронної мережі



а)

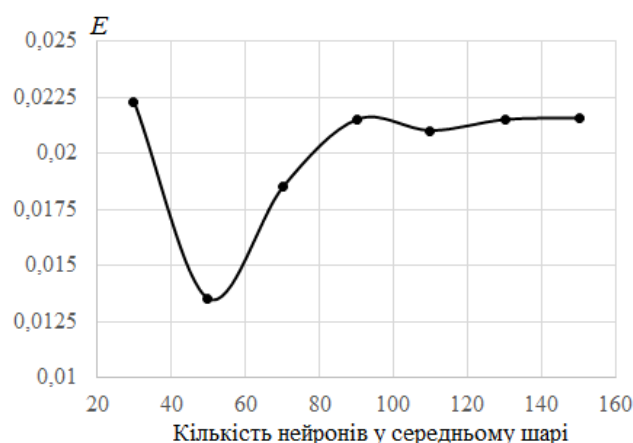
Очевидно, що малий розмір ширини "вікна" не дозволить правильно розпізнати режими роботи авіаційного двигуна ТВ3-117, а великий розмір ширини "вікна" L захопить сусідні класи, що зменшить ймовірність розпізнавання режимів. Залежність помилки навчання нейронної мережі на виході перцептрону від розміру часового вікна показана на рис. 5. У даному випадку в якості функції активації застосовувалася сигмоїдна функція виду [12]:

$$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}}, \quad (9)$$

а число нейронів прихованого шару приймалося рівним 35.

Аналогічні дослідження проводились з метою вибору оптимальної кількості нейронів в прихованому шарі. При цьому враховувалося, що мале їх кількість призводить до неякісного навчання нейронної мережі, а велика – до ефекту перенавчання нейронної мережі [13]. На рис. 5, б показана залежність помилки навчання перцептрону (E) від кількості нейронів в прихованому шарі (m_2).

При навчанні перцептрону приймалося значення ширини "вікна" $L = 10$, що відповідає $2 \times L = 20$ вхідів нейронної мережі. Аналіз рис. 5 показує, що при розв'язку задачі класифікації (розпізнавання) режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 досить приймати ширину часового вікна рівній 8...12, а число нейронів прихованого шару 35...45.



б)

Рис. 5. Залежність помилки навчання нейронної мережі: а – від ширини часового вікна; б – від складності нейронної мережі

Вибір алгоритму навчання

Обґрунтування вибору алгоритму навчання детально описано у [14]. Визначено, що застосування адаптивного алгоритму є гнучким рішенням при навчанні нейронних мереж, які застосовуються для задач контролю і діагностики технічного стану

авіаційного двигуна ТВ3-117, зокрема, і для класифікації його режимів роботи. Даний алгоритм базується на градієнтному методі [15], в якому зміна ваг описується залежністю:

$$\vec{w}_{k+1} = \vec{w}_k + \eta_k \vec{p}_k, \quad (10)$$

де η_k – розмір кроку на k -й ітерації, а вектор p_k задає напрямок руху і обчислюється за формулою:

$$\vec{p}_k = \vec{g}_k + \sum_{i=1}^{\min(k-1, m)} \beta_i \vec{g}_{k-i}, \quad (11)$$

де вектор g_j задає напрямок антиградієнта на j -й ітерації; β_i – коефіцієнт, який визначає вагу i -го градієнта; m визначає кількість запам'ятовуваних градієнтів; k – порядковий номер поточної ітерації.

Даний метод навчання зводить до мінімуму втручання людини у процес навчання нейронних мереж, що робить його привабливим, оскільки не кожен користувач нейромережових технологій володіє знаннями в області методів оптимізації. Крім цього метод є гнучким і налаштованим на навчальну вибірку методом навчання.

Також варто відзначити, що синтез нейромережової системи доцільно проводити за допомогою пакета прикладних програм Neural Network Toolbox системи MATLAB, в якій реалізовано три нейрорегулятора: регулятор прогнозу NN Predictive Controller; регулятор на основі моделі авторегресії з ковзним середнім NARMA-L2 Controller; регулятор на основі еталонної моделі Model Reference Controller [16]. Визначено, що для розв'язку задачі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, зокрема, і класифікації його режимів роботи, найбільш ефективно NN Predictive Controller [15]. Регулятор використовує модель керованого об'єкта у вигляді нейронної мережі для того, щоб спрогнозувати його майбутню поведінку. Крім того, регулятор обчислює сигнал управління, який оптимізує поведінку об'єкта на заданому інтервалі часу.

На рис. 6 наведена структурна схема запропонованої нейромережової системи, розроблена в Simulink. Ця структура включає блок керованого об'єкта (Subsystem) і блок регулятора NN Predictive Controller, а також блоки генерації еталонного ступеневої сигналу з випадковою амплітудою Random Reference, блок побудови графіків.

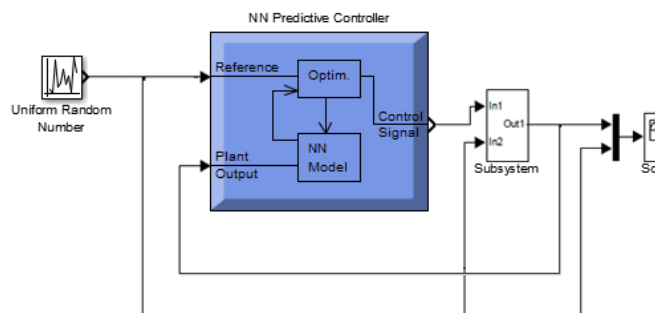


Рис. 6. Схема нейромережової системи на базі нейрорегулятора NN Predictive Controller

Особливість даної системи полягає в тому, що перед тим як встановлювати роздільну нейрорегулятора, виконується ідентифікація керованого об'єкта, а саме – авіаційного двигуна ТВ3-117, тобто відбувається побудова його

нейромережової моделі. Процедура ідентифікації дозволяє побудувати нейронну мережу, яка буде моделювати динаміку роботи двигуна і використовуватися S-функцією для обчислення оптимального сигналу керування на двигун. Програма генерації навчальної послідовності генерує навчальні дані шляхом впливу низки випадкових східчастих сигналів на модель Simulink керованого об'єкта (двигуна). Після створення мережі починається процес її навчання. Вектори входу представляються як числові масиви вибірок, що відповідає груповому поданням даних.

Обґрунтовано, що нейрорегулятор навчається на основі нейромодулятора, який навчається за методом зворотного поширення помилки (рис. 7). Опис розв'язку задачі навчання нейрорегулятора на основі нейромодулятора наведено у [17].

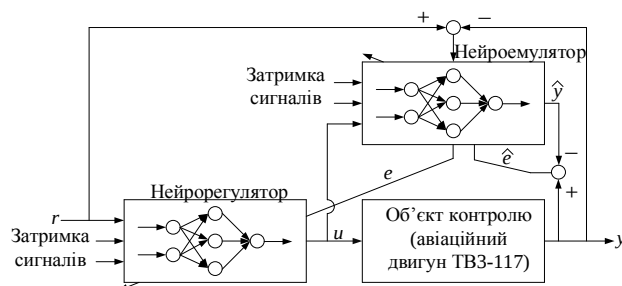


Рис. 7. Схема нейромережового контролю з емулятором і контролером

Для навчання нейрорегулятора визначається багатоваріаційна мережа прямого розповсюдження з випадково вибраними вагами та навчальний набір, що складається з пар мережового входу – бажаного виходу (X, D), а також вихідного значення мережі Y . Задача навчання нейрорегулятора полягає в підборі вагових коефіцієнтів для мінімізації деякої цільової функції – суми квадратів помилок мережі на прикладах з навчальної множини, тобто

$$E(w) = \sum_{j,p} (y_{j,p}^{(N)} - d_{j,p})^2, \quad (12)$$

де $y_{j,p}^{(N)}$ – реальний вихід N -го вихідного шару мережі для p -го нейрона на j -му навчальному прикладі, $d_{j,p}$ – бажаний вихід.

Оцінювання ефективності

Як вже зазначалося вище, після процесу навчання нейронної мережі на інтервалі навчання (33 % вибірки), необхідно перевірити ефективність її роботи на тестовій вибірці, що становить 67 % обсягу всієї вибірки. Еталонні значення виходів нейронної мережі приймають значення 0 або 1, а фактичні сигнали на виході нейронної мережі (в силу інерційності процесу переміщення часового ("вікна") можуть приймати безперервні значення в інтервалі $[0; 1]$). Тому доводиться округляти обчислені значення ξ_1 і ξ_2 до найближчого цілого числа:

$$\bar{\xi}_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \xi_i \leq 0,5; \\ 1, & \text{якщо } \xi_i > 0,5. \end{cases} \quad (13)$$

$$K_{\text{як}} = \left(1 - \frac{T_{\text{ном}}}{T_0}\right) \cdot 100\%, \quad (15)$$

При цьому можуть мати місце помилки I і II роду, тобто віднесення стану S_i до класу S_j . Для визначення достовірності класифікації можна скористатися наступними формулами, де $K_{\text{ном}}$, K_r – коефіцієнти помилковою і якісною класифікації:

$$K_{\text{ном}} = \frac{T_{\text{ном}}}{T_0} \cdot 100\%; \quad (14)$$

де $T_{\text{ном}}$ – сумарний час ділянок, відповідних помилкової класифікації; T_0 – тривалість тестової вибірки (у даному випадку $T_0 = 4 \text{ хв}$).

У табл. 2 і 3 наведені результати порівняльного аналізу помилок класифікації та якості класифікації режимів роботи двигуна для різних класів архітектур нейронних мереж.

Таблиця 2. Помилки класифікації режимів для різних архітектур нейронних мереж, %

Архітектура нейронної мережі	Помилка класифікації на виході 1 (ε_1)	Помилка класифікації на виході 2 (ε_2)
Персептрон	0,3491	0,1042
Елмана	0,3611	0,1681
Хеммінга	0,4133	0,2988
Мережа радіально-базисних функцій (РБФ)	0,4772	0,7891
Хопфілда	0,4258	0,2654
Самоорганізована карта Кохонена	0,4683	0,2913
Мережа адаптивного резонансу	0,5117	0,8409
Мережі векторного квантування сигналів	0,5532	0,9176

Таблиця 3. Коефіцієнт якості класифікації режимів для різних архітектур нейронних мереж, %

Архітектура нейронної мережі	Вихід 1 (ξ_1)	Вихід 2 (ξ_2)
Персептрон	99,96	99,99
Елмана	99,96	99,98
Хеммінга	99,95	99,97
Мережа радіально-базисних функцій (РБФ)	99,95	99,92
Хопфілда	99,95	99,94
Самоорганізована карта Кохонена	99,96	99,92
Мережа адаптивного резонансу	99,94	99,87
Мережі векторного квантування сигналів	99,95	99,96

Аналіз (табл. 2, 3) показує, що застосування для процесу розпізнавання режимів авіаційного двигуна ТВ3-117 інших архітектур нейронних мереж, дає приблизно ті ж результати, що і персептрон.

Висновки

Таким чином, на підставі отриманих результатів досліджень можна зробити наступні висновки:

Розв'язок задачі класифікації режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 у нейромережевому базисі дозволяє більш ефективно і якісно вирішити цю задачу, з меншими витратами часу і обчислювальних ресурсів.

Список літератури

1. Pashayev A. M., Askerov D. D., Ardil C., Sadiqov R. A., Abdullayev P. S. Complex Condition Monitoring System of Aircraft Gas Turbine Engine. International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering. 2007. Vol. 1. No. 11. P. 689–695.
2. Жернаков С. В., Васильев В. И., Муслухов И. И. Бортовые алгоритмы контроля параметров ГТД на основе технологии нейронных сетей. Вестник УГАТУ. 2009. Т. 12. № 1 (30). С. 61–74.

3. Stamatis A. G. Evaluation of gas path analysis methods for gas turbine diagnostics. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2011. Vol. 25. Issue 2. P. 469–477.
4. Ntantis E. L. Diagnostic Methods for an Aircraft Engine Performance. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2015. Review 8 (4). P. 64–72.
5. Kiakojoori S., Khorasani K. Dynamic neural networks for gas turbine engine degradation prediction, health monitoring and prognosis. *Neural Computing & Applications*. 2016. Vol. 27. No. 8. P. 2151–2192.
6. O'Hagan A. The Bayesian Approach to Statistics. *Handbook of Probability: Theory and Applications*. 2008. P. 85–100.
7. Бодянский С. В., Тесленко Н. О., Дейнеко А. О. Эволюционная нейронная сеть с ядерными функциями активации и адаптивный алгоритм її навчання. *Наукові праці. Комп'ютерні технології*. 2011. Випуск 148. Том 160. С. 53–58.
8. Mansour W., Ayoubi R., Ziade H., Velazco R., EL Falou W. An optimal implementation on FPGA of a hopfield neural network. *Advances in Artificial Neural Systems*. 2011. Vol. 2011. P. 7:1–7:9.
9. Kohonen T. Essentials of the self-organizing map. *Neural Networks*. 2013. Vol. 37. P. 52–65.
10. Бодянский С. В., Винокурова О. А. Робастный алгоритм навчання радіально-базисної адаптивної фаззі-вейвлет-нейронної мережі. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2007. № 11. С. 3–15.
11. Бодянский С. В., Дейнеко А. О., Дейнеко Ж. В., Шаламов М. О. Адаптивне навчання нейронної мережі опорних векторів найменших квадратів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 2. С. 71–74.
12. Elfving S., Uchibe E., Doya K. Sigmoid-weighted linear units for neural network function approximation in reinforcement learning. *Neural Networks*. 2018. Vol. 107. P. 3–11.
13. Yamanashi Y., Umeda K., Yoshikawa N. Pseudo Sigmoid Function Generator for a Superconductive Neural Network. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2013. Vol. 23. Issue 3. P. 1701004.
14. Владов С. И. Климова Я. Р. Применение адаптивного метода обучения нейронной сети для диагностики двигателя вертолета Ми-8МТВ. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD-2018)*, 16–18 травня, 2018 р., Харків. 2018. Ч.1. С. 14.
15. Шмелев Ю. Н., Владов С. И., Бойко С. Н., Климова Я. Р., Вишневыский С. Я. Диагностика состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ с применением нейронных сетей. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. № 3. С. 165–170.
16. Василюк Т. Ю., Варфоломєєв О. О., Тютюн Р. В., Алфьоров Ю. О., Власов А. О. Синтез нейрорегулятора NN Predictive Controller для управління трьохмасовою електромеханічною системою. *Системи обробки інформації*. 2017. Випуск 3 (149). С. 88–95.
17. Shmelov Y., Vladov S., Klimova Y., Kirukhina M. Expert system for identification of the technical state of the aircraft engine TV3-117 in flight modes. *System Analysis & Intelligent Computing: IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*. 2018, 08–12 October, Kiev. P. 77–82.

References

1. Pashayev, A. M., Askerov, D. D., Ardil, C., Sadiqov, R. A., Abdullayev, P. S. (2007), "Complex Condition Monitoring System of Aircraft Gas Turbine Engine", *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, Vol. 1, No. 11, P. 689–695.
2. Zhernakov, S. V., Vasilev, V. I., Musluhov, I. I. (2009), "Onboard algorithms for monitoring parameters of gas turbine engines based on neural network technology" ["Bortovye algoritmy kontrolya parametrov GTD na osnove tehnologii neyronnykh setey"], *Bulletin of USATU*, Vol. 12, No. 1 (30), P. 61–74.
3. Stamatis, A. G. (2011), "Evaluation of gas path analysis methods for gas turbine diagnostics", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 25, Issue 2, P. 469–477.
4. Ntantis, E. L. (2015), "Diagnostic Methods for an Aircraft Engine Performance", *Journal of Engineering Science and Technology*, Review 8 (4), P. 64–72.
5. Kiakojoori, S., Khorasani, K. (2016), "Dynamic neural networks for gas turbine engine degradation prediction, health monitoring and prognosis", *Neural Computing & Applications*, Vol. 27, No. 8, P. 2151–2192.
6. O'Hagan, A. (2008), "The Bayesian Approach to Statistics", *Handbook of Probability: Theory and Applications*, P. 85–100.
7. Bodyanskiy, E. V., Teslenko, N. O., Deyneko, A. O. (2011), "An evolutionary neural network with nuclear activation functions and an adaptive algorithm for its training" ["Evolutsionnaya neyronnaya mrezhka s yadernimi funktsiyami aktivatsiyi y adaptivnyi algoritmyi navchannya"], *Scientific works. Computer Technology*, Issue 148, Vol. 160, P. 53–58.
8. Mansour, W., Ayoubi, R., Ziade, H., Velazco, R., EL Falou, W. (2011), "An optimal implementation on FPGA of a hopfield neural network", *Advances in Artificial Neural Systems*, Vol. 2011, P. 7:1–7:9.
9. Kohonen, T. (2013), "Essentials of the self-organizing map", *Neural Networks*, Vol. 37, P. 52–65.
10. Bodyanskiy, E. V., Vinokurova, O. A. (2007), "Robust learning algorithm for radial-basis adaptive phase-wavelet neural network" ["Robastnyi algoritmyi navchannya radialno-bazysnoyi adaptivnoyi fazzi-veyvlet-neyronnoyi mrezhki"], *Adaptive automatic control systems*, No. 11, P. 3–15.
11. Bodyanskiy, E. V., Deyneko, A. O., Deyneko, Zh. V., Shalamov, M. O. (2015), "Adaptive training of the neural network of reference vectors of least squares" ["Adaptivne navchannya neyronnoyi mrezhki opornih vektoriv naymenshikh kvadrativ"], *Information and control systems on the railway transport*, No. 2, P. 71–74.
12. Elfving, S., Uchibe, E., Doya, K. (2018), "Sigmoid-weighted linear units for neural network function approximation in reinforcement learning", *Neural Networks*, Vol. 107, P. 3–11.
13. Yamanashi, Y., Umeda, K., Yoshikawa, N. (2013), "Pseudo Sigmoid Function Generator for a Superconductive Neural Network", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 23, Issue 3, P. 1701004.
14. Vladov, S. I. Klimova, Ya. R. (2018), "Application of the adaptive training method of the neural network for diagnostics of the Mi-8MTV helicopter engine" ["Primenenie adaptivnogo metoda obucheniya neyronnoy seti dlya diagnostiki dvigatelya vertoleta Mi-8MTV"], *Information Technologies: Science, Technology, Technology, Education, Health (MicroCAD-2018)*, May 16–18, 2018, Kharkiv, Part 1, P. 14.
15. Shmelov, Yu. N., Vladov, S. I., Boyko, S. N., Klimova, Ya. R., Vishnevskiy, S. Ya. (2018), "Diagnostics of the state of the Mi-8MTV helicopter engine using neural networks" ["Diagnostics sostoyaniya dvigatelya vertoleta Mi-8MTV s primeneniem neyronnykh setey"], *Bulletin of the Khmelnytsky National University*, No. 3.2018, P. 165–170.

16. Vasilets, T. Yu., Varfolomiev, O. O., Tyutyun, R. V., Alforov, Yu. O., Vlasov, A. O. (2017), "Synthesis of the NN Predictive Controller for controlling a three-mass electromechanical system" ["Sintez neyroregulyatora NN Predictive Controller dlya upravlinnya trohmasovoyu elektromehanichnoyu sistemoyu"], *Information processing systems*, Issue 3 (149), P. 88–95.
17. Shmelov, Y., Vladov, S., Klimova, Y., Kirukhina, M. (2018), "Expert system for identification of the technical state of the aircraft engine TV3-117 in flight modes", *System Analysis & Intelligent Computing: IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*, 08–12 October, Kiev, P. 77–82.

Надійшла (Received) 31.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шмельов Юрій Миколайович – кандидат технічних наук, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, заступник начальника коледжу з навчальної роботи, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчук, Україна; e-mail: ref.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7344-3924>.

Шмелев Юрий Николаевич – кандидат технических наук, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, заместитель начальника колледжа по учебной работе, преподаватель кафедры энергообеспечения и систем управления, Кременчуг, Украина.

Shmelov Yurii – PhD (Engineering Sciences), Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Deputy College chief for curriculum, Teacher at the Department of Energy Supply and Control Systems, Kremenchuk, Ukraine.

Владов Сергій Ігорович – кандидат технічних наук, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, завідувач лабораторії організації наукової діяльності, ліцензування та акредитації, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчук, Україна; e-mail: nml.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8009-5254>.

Владов Сергей Игоревич – кандидат технических наук, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, заведующий лабораторией организации научной деятельности, лицензирования и аккредитации, преподаватель кафедры энергообеспечения и систем управления, Кременчуг, Украина.

Vladov Serhii – PhD (Engineering Sciences), Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Head of Organization of Scientific Activities, Licensing and Accreditation Laboratory, Teacher at the Department of Energy Supply and Control Systems, Kremenchuk, Ukraine.

Кришан Олексій Федорович – кандидат економічних наук, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, декан факультету авіаційного транспорту, електроенергетики і управління, викладач кафедри управління і адміністрування, Кременчук, Україна; e-mail: avia.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2967-0126>.

Крышан Алексей Федорович – кандидат экономических наук, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, декан факультета авиационного транспорта, электроэнергетики и управления, преподаватель кафедры управления и администрирования, Кременчуг, Украина.

Kryshan Olexii – PhD (Economics Sciences), Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Dean of Faculty of Aviation Transport, Electricity and Management, Teacher at the Department of Management and Administration, Kremenchuk, Ukraine.

Гвоздік Станіслав Денисович – Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, викладач кафедри авіаційного транспорту, Кременчук, Україна; e-mail: keps.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4867-0209>.

Гвоздик Станислав Денисович – Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, преподаватель кафедры авиационного транспорта, Кременчуг, Украина.

Gvozdk Stanislav – Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Dean of Faculty of Aviation Transport, Teacher at the Department of Aviation Transport, Kremenchuk, Ukraine.

Чижова Людмила Іванівна – Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, голова циклової комісії української та іноземної мов, Кременчук, Україна; e-mail: uim.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4105-1520>.

Чижова Людмила Ивановна – Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, председатель цикловой комиссии украинского и иностранного языков, Кременчуг, Украина.

Chyzhova Liudmyla – Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Teacher at the Department of Ukrainian and Foreign Languages, Kremenchuk, Ukraine.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КЛАССИФИКАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВ3-117 НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Предметом исследования в статье является режимы работы авиационного двигателя ТВ3-117 и методы их распознавания. **Цель** работы – разработка методов классификации режимов работы авиационного двигателя ТВ3-117 на основе нейросетевых технологий в режиме реального времени. В статье решаются следующие **задачи**: формирование принципов классификации и распознавания состояний авиационного двигателя ТВ3-117, определение основных шагов решения задачи классификации и распознавания состояний авиационного двигателя ТВ3-117 в нейросетевом базисе, разработка метода

классификации и распознавания состояний авиационного двигателя ТВ3-117 с использованием нейронных сетей. Используются следующие **методы**: методы теории вероятностей и математической статистики, методы нейроинформатики, методы теории информационных систем и обработки данных. Получены следующие **результаты**: Сформулированы принципы классификации и распознавания состояний авиационного двигателя ТВ3-117 и определены основные шаги решения данной задачи. Обосновано, что решение задачи классификации режимов работы авиационного двигателя ТВ3-117 в нейросетевом базисе позволяет более эффективно и качественно решить эту задачу, с меньшими затратами времени и вычислительных ресурсов по сравнению с использованием классических методов (например, метода Байеса). **Выводы**: Применение нейросетевых технологий для классификации и распознавания состояний авиационного двигателя ТВ3-117 позволяет уменьшить время обработки данных, причем основное время, затрачиваемое на решение данной задачи, используется на процесс обучения нейронной сети. Перспективами дальнейшего исследования является разработка экспертной системы, одним из модулей которой является модуль классификации и распознавания состояний авиационного двигателя ТВ3-117, которая используется в бортовой системе для контроля и диагностики технического состояния двигателя и взаимодействует с системами управления двигателем, позволяет последнему плавно и своевременно действовать на исполнительных механизмах, с одной стороны, с целью улучшения качества управления двигателем и его подсистемами, а с другой – повышение его надежности в процессе его эксплуатации.

Ключевые слова: авиационный двигатель; нейронная сеть; персептрон; режимы работы; классификация.

RESEARCH OF CLASSIFICATION METHOD OF TV3-117 ENGINE RATINGS OPERATIONS BASED ON NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

The **subject matter** of the article is TV3-117 engine ratings and recognition methods. The **goal** of the work is to create methods for classification TV3-117 engine ratings based on neural network technologies in real time. The following tasks were solved in the **article**: the principles formation on classification and recognition of TV3-117 engine's conditions, determination of main steps for solving problem of classification and recognition TV3-117 engine conditions in the neural network basis, development of a method for the classification and recognition TV3-117 engine conditions using neural networks. The following **methods** used are – methods of probability theory and mathematical statistics, methods of neuroinformatics, methods of the information systems theory and data processing. The following **results** were obtained – the principles of classification and recognition TV3-117 engine conditions are formulated and the main steps for solving this problem are defined. It is substantiated that solving the problem of classifying the TV3-117 engine ratings in the neural network basis allows solve this problem more efficiently with less time and computational resources than using classical methods (for example, the Bayes method). **Conclusions**: using the neural network technologies for the classification and recognition the TV3-117 engine conditions allows to reduce the processing time, and most of the time spent on solving this problem is used to train the neural network. Prospects for further research are the development of an expert system, one of the modules is the module of classification and recognition TV3-117 engine conditions which is used in the board system to monitor and diagnose the engine technical condition and interact with the engine control systems, allows is to effect to the executive mechanism fluently and in time, from the one hand, to improve the quality control engine and its subsystems from the other hand in order to increase its reliability during its operation.

Keywords: engine; neural network; perceptron; engine ratings; classification.

В. В. КИРІЙ, Д. О. ЧЕЧЕНЕЦЬ, Р. В. ПЕТРОВА, Н. В. ДОВГОПОЛ

МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ ДЕБІТОРСЬКОЮ ЗАБОРГОВАНІСТЮ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Предметом дослідження даної роботи є розбудова механізму ринкової взаємодії між суб'єктами господарювання на ринку газу. Актуальність дослідження обумовлена тим, що існуючі механізми управління дебіторською заборгованістю підприємств не мають достатнього впливу на споживачів, хоча в багатьох компаніях існує відповідна кредитна політика. **Метою** дослідження є розробка механізму управління дебіторською заборгованістю газотранспортних підприємств з урахуванням ефективності заходів щодо стягнення боргу. **Завданням** роботи є визначення критеріальних характеристик дебіторської заборгованості газотранспортних підприємств та оцінка можливостей щодо стягнення боргу. Під час проведення дослідження в роботі використані **методи** та основні положення фінансового менеджменту для оцінки стану заборгованості, нечіткого логічного виводу для визначення доцільності використання методів впливу на дебітора щодо стягнення боргу на користь газотранспортного підприємства. **Результати:** Проаналізовано та класифіковано показники, які визначають базу споживачів газотранспортного підприємства ПАТ "Харківгаз" та всіх його структурних підрозділів. Перелік вербальних критеріїв аналізу споживачів включає: частота закупок; загальний об'єм закупок; залишок боргу; математичне очікування погашення боргу; період супроводу боргу; рентабельність стягнення боргу у судовому порядку. На основі опитування експертів було використано дві лінгвістичні змінні, що характеризують ефективність роботи зі споживачами-боржниками за двома напрямками – "Планові витрати на супроводження боргу" та "Очікувані надходження від боржника". На основі цих даних та опитування експертів була сформована база правил, де були розраховані чіткі показники які можуть бути використані для майбутньої взаємодії зі споживачем, або для управління політикою заборгованості на підприємстві. Змінні, характеризують всіх споживачів-боржників, не пов'язані між собою напряму. Тому введена додаткова змінна, через яку можливо провести композицію цих показників – ефективність стягнення боргу в залежності від застосованого методу впливу на боржника. **Висновки** в роботі запропоновано алгоритм визначення доцільності застосування різних методів впливу на боржника, що приводить до максимального збільшення грошового потоку газотранспортного підприємства. В подальшому можливе вдосконалення обчислень, шляхом дослідження та оцінки впливу прийнятих рішень на досягнення запланованих показників.

Ключові слова: дебіторська заборгованість; управління фінансами; нечіткий логічний вивід; газотранспортні підприємства.

Постановка проблеми

В даний час більшість газотранспортних підприємств практично не використовують сучасні науково обгрунтовані методи управління діяльністю. Перспективні напрямки розвитку оцінюються переважно на основі методів аналогії, досвіду та інтуїції топ-менеджменту і керівників економічних служб. Головними причинами сформованої ситуації послужила відсутність конкурентного середовища на ринку через його монополізацію та, як наслідок, відсутність мотивації для удосконалення діяльності підприємств.

Існують значні труднощі проведення досліджень, які мають ключове значення для розробки адекватних та перспективних планів подальшої діяльності організації. Більшість з цих проблем полягають у недостатності і низькій якості статистичної інформації, відсутності у регіоні досліджень ринку збуту газу, стану розрахунків, несвочасності термінів отримання інформації для розробки не вистає для обгрунтованих рішень.

Такий стан визначає феномен невизначеності. Якщо немає достатньої кількості спостережень, щоб цілком достовірно підтвердити той чи інший статистичний закон розподілу, або спостерігаються об'єкти, які, строго кажучи, не можна назвати однорідними, тоді класичної статистичної вибірки немає.

Звичайна практика в таких випадках – застосування методу експертних оцінок. Однак

експертні оцінки не завжди дозволяють отримати кількісний результат. Також добре відома практика обробки експертних оцінок на базі теорії нечіткої логіки, за допомогою яких ми можемо отримати якісні результати, як, наприклад, управлінські рішення, з повним урахуванням невизначеності експертів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Огляд ситуації на газовому ринку, проведений у публікаціях провідних науковців, показує, що не існує якихось універсальних рішень з управління [1, 2]. Доцільність застосування того або іншого методу цих моделей залежить від поставленої задачі. Тому необхідний широкий набір моделей, які б вирішували завдання управління незалежно один від одного і потрапляли в різні категорії методів для подальшого порівняльного їх аналізу і прийняття рішення [7].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Управління фінансовими зобов'язаннями на підприємствах давно є задачею дослідження вітчизняних науковців [8]. Особливої важливості таке завдання набуває для підприємств, що мають ознаки природних монополій, або такими є [9]. Через низку соціальних факторів накопичений борг споживачів товарів та послуг порівняльний з значеннями річної виручки [3–5]. Управління такою заборгованістю має також значні бюджетні та правові обмеження.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою дослідження є розробка механізму управління дебіторською заборгованістю газотранспортних підприємств з урахуванням ефективності заходів щодо стягнення боргу.

Результати досліджень та їх обговорення

Якщо співвідносити імовірнісні, нечітко-множинні та експертні описи стосовно ефективності вирішення фінансових завдань, то можна використовувати схему на рис. 1.

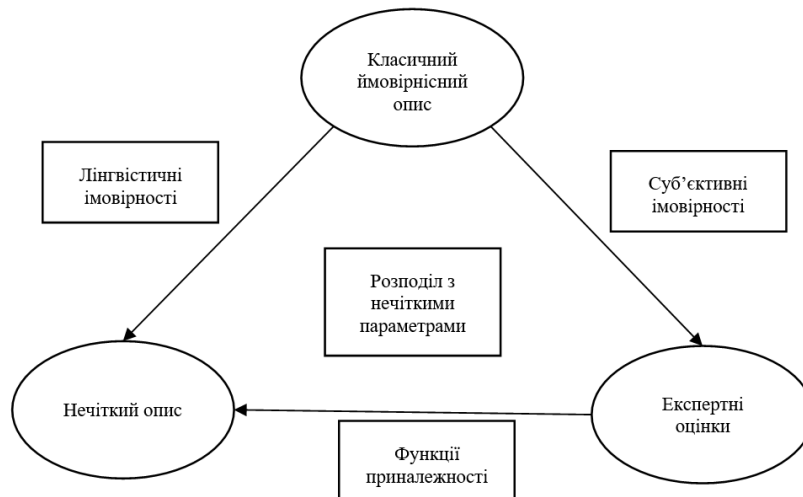


Рис. 1. Співвідношення класичних, експертних та нечітких ймовірнісних описів

Як видно, по мірі посилення невизначеності класичні ймовірнісні описи поступаються місцем, з одного боку, суб'єктивним ймовірностям, заснованим на експертних оцінках, а, з іншого - ймовірностям, визначеним не кількісно, а якісно (приблизно). При цьому дискретні оцінки ймовірнісних розподілів заміщуються інтервальними (для експертних методів) і нечіткими (для методів теорії нечіткої логіки). Якщо потік вихідних даних математичної моделі спостерігається як статистика, немає нічого краще, як досліджувати цю статистику на основі ймовірнісних моделей. Але якщо статистики немає, експерт постає перед вибором:

а) зовсім відмовлятися від застосування ймовірностей;

б) вводити в модель суб'єктивні ймовірності та ймовірнісні розподіли;

в) враховувати невизначеність із застосуванням нечітких формалізмів трьома шляхами:

- переходити від класичних ймовірнісних розподілів до ймовірнісних розподілів з нечіткими параметрами;

- заміщати кількісні ймовірності якісними (лінгвістичними в сенсі Заде);

- розпізнавати стани фінансових систем з використанням нечітких класифікаторів.

Оскільки будь-які дослідження не зможуть дати достовірної інформації про стан оточуючого середовища, має сенс збирати, обробляти та використовувати інформацію про навколишнє середовище з метою полегшення поточної діяльності суб'єкта господарювання. З цією метою було проведено дослідження за наступною схемою – деякому експертному співтовариству, в яке входить N експертів, було запропоновано оцінити кількісні значення контрольованого параметра X і його якісний

опис у вигляді: нечітка підмножина "Високий рівень X " лінгвістичної змінної "Рівень фактору X ", для якої параметр X є носієм. Всього передбачається класифікація носія X за п'ятьма рівнями: {Дуже низький, Низький, Середній, Високий, Дуже високий}. Оцінка стану дебіторської заборгованості та ймовірність її повернення пропонується провести на основі використання нечіткої бази знань.

Управління дебіторською заборгованістю, на думку Ямненко Г.Є., повинно базуватися на системі інформаційного-аналітичного забезпечення [11]. Для формування бази правил було проаналізовано всіх споживачів за шістьма критеріями: частота покупок, міс.; загальний об'єм покупок, тис. грн.; залишок боргу, тис. грн., математичне очікування погашення боргу, тис. грн., період супроводу боргу, днів, рентабельність стягнення боргу у судовому порядку, %. У ролі експертів виступили працівники фінансових відділів всіх відокремлених підрозділів ПАТ "Харківгаз". На основі опитування експертів отримане кількісне відображення стану заборгованості, але ці показники не можуть бути використані для цілей управління. По-перше, ці показники ніяк не співвідносяться один з іншим, а отже порівнювати їх неможливо. По-друге, самі по собі вони не інформативні, лише деяка сукупність фактів про суб'єкт дослідження може сприйматися, як його опис або образ. По-третє, велика кількість показників не полегшує дослідження суб'єкта, а лише збільшує складність дослідження, оскільки співвідносити кожний показник з рештою інших може не лише бути зайвим, як носій однієї і тієї ж інформації, але й бути складним для сприйняття.

У контексті даного питання пропонується розглянути доцільність роботи з дебітором для

підприємства з огляду на те, скільки коштуватиме його борг для підприємства при імовірності повернення деякої прогнозованої суми боргу[10].

Для того щоб використовувати наявну статистику (термін спостереження – 3 роки з щомісячним значенням суми боргу), як нечіткі лінгвістичні змінні, отримані данні потрібно фазифікувати (ввести нечіткість). Для реалізації етапу фазифікації було використано опитування групи

експертів, як уже зазначалося раніше. Кожному з експертів було запропоновано у межах заданого проміжку значень визначити яким чином розподіляються значення параметра, який на його думку найбільш відповідає тій лінгвістичній змінній, яку він описує. В результаті узагальнення цієї інформації були побудовані трапецієвидні функції приналежності, фрагмент визначення вершин яких вказані в табл. 1.

Таблиця 1. Фрагмент таблиці визначених експертами вершин графіків функцій приналежності для кожної лінгвістичної змінної за всіма підрозділами ПАТ "Харківгаз"

Назва вербальної змінної	Назва критерію	Головне підприємство	Дергачівське УЕГГ	Зміївське УЕГГ	Красноградське УЕГГ	Куп'янське УЕГГ	Мереф'янське УЕГГ	Чугуївське УЕГГ
Частота заупок, місяців	Одинична	0–0–1–2	0–0–1–2	0–0–1–2	0–0–1–2	0–0–1–2	0–0–1–2	0–0–1–2
	Рідкісна	2–3–5–10	2–3–5–10	2–3–5–10	2–3–5–10	2–3–5–10	2–3–5–10	2–3–5–10
	Середня	6–11–14–17	6–11–14–17	6–11–14–17	6–11–14–17	6–11–14–17	6–11–14–17	6–11–14–17
	Часта	15–18–26–30	15–18–26–30	15–18–26–30	15–18–26–30	15–18–26–30	15–18–26–30	15–18–26–30
	Дуже часта	27–31–37–37	27–31–37–37	27–31–37–37	27–31–37–37	27–31–37–37	27–31–37–37	27–31–37–37

Системи нечіткого виводу повинні містити базу правил та реалізовувати нечіткий вивід на основі посилок або умов, представлених у формі нечітких лінгвістичних висловлювань. Для застосування даного алгоритму було використано графічний редактор Fuzzy Logic Toolbox з пакету надбудов пакету Matlab 2015. Для розрахунків було застосовано алгоритм Мамдані, як такий, що найчастіше використовується для вирішення аналогічних задач.

У результаті обробки експертних даних було сформовано по п'ять функцій приналежності для кожного з шести критеріїв оцінки дебіторської

заборгованості споживачів, побудувавши які по заданим параметрам отримано графіки у вигляді трапецій. Верхня основа трапеції вказувала на той вид споживачів, яких всі експерти віднесли до даної категорії. Нижня основа трапеції вказує на граничні значення, в межах якої, на думку експертів, споживачі мають якесь відношення до даної категорії. Приклад таких графіків зображено на рис. 2 (де по осі X зображена кількість місяців взаємодії з контрагентом за досліджуваний період, а по Y – відсоток приналежності до певної категорії від 0 до 1).

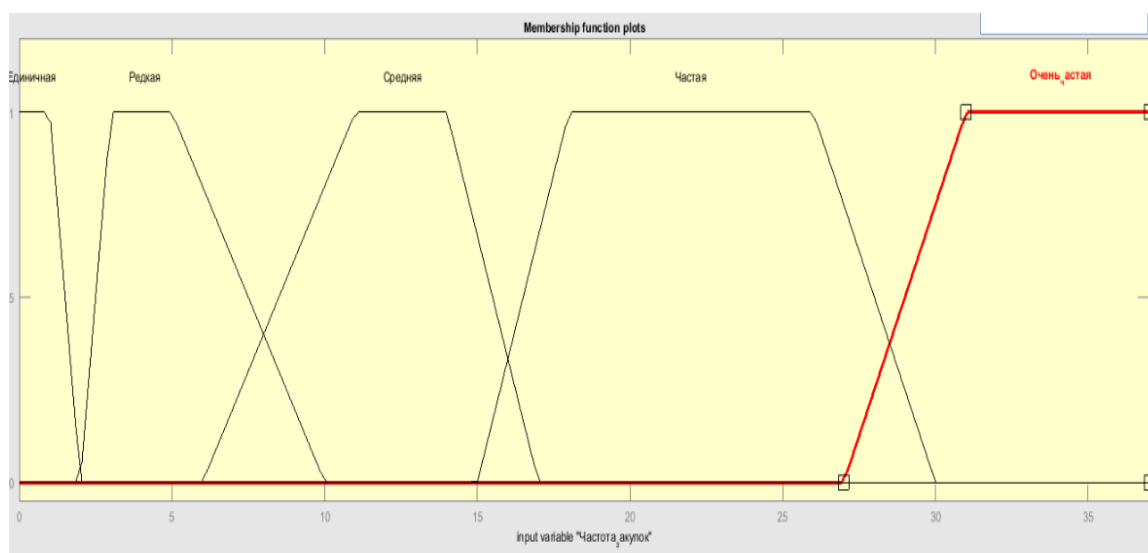


Рис. 2. Графіки функцій приналежності критеріїв оцінювання входного параметру "Частота заупок" для Головного підприємства ПАТ "Харківгаз"

За допомогою цих 6 входних змінних передбачається визначити 2 вихідних параметри: очікувані надходження від боржника (у відсотках по відношенню до наявного боргу), плановані витрати на супроводження боргу певного споживача. Графіки вихідних даних зображено на рисунках 3 та 4.

Для кожного з вихідних параметрів оцінювання розглядалися 3 входних параметри. Правила виводу для оцінювання параметру будувалися таким чином, що для визначення параметру "Очікувані надходження від боржника" приймалися до уваги вихідні змінні: "Частота заупок", "Залишок боргу", "Математичне очікування погашення боргу"; а для

вихідного параметру "Плановані витрати на супроводження боргу" визначальними були параметри: "Загальний об'єм закупок", "Період супроводу боргу", "Рентабельність стягнення боргу у судовому порядку".

Враховуючи, що можливі будь які комбінації цих критеріїв, можна стверджувати, що якщо правила повинні враховувати одразу 3 вхідних параметри, кількість правил для одного вихідного параметру досягатиме 125.

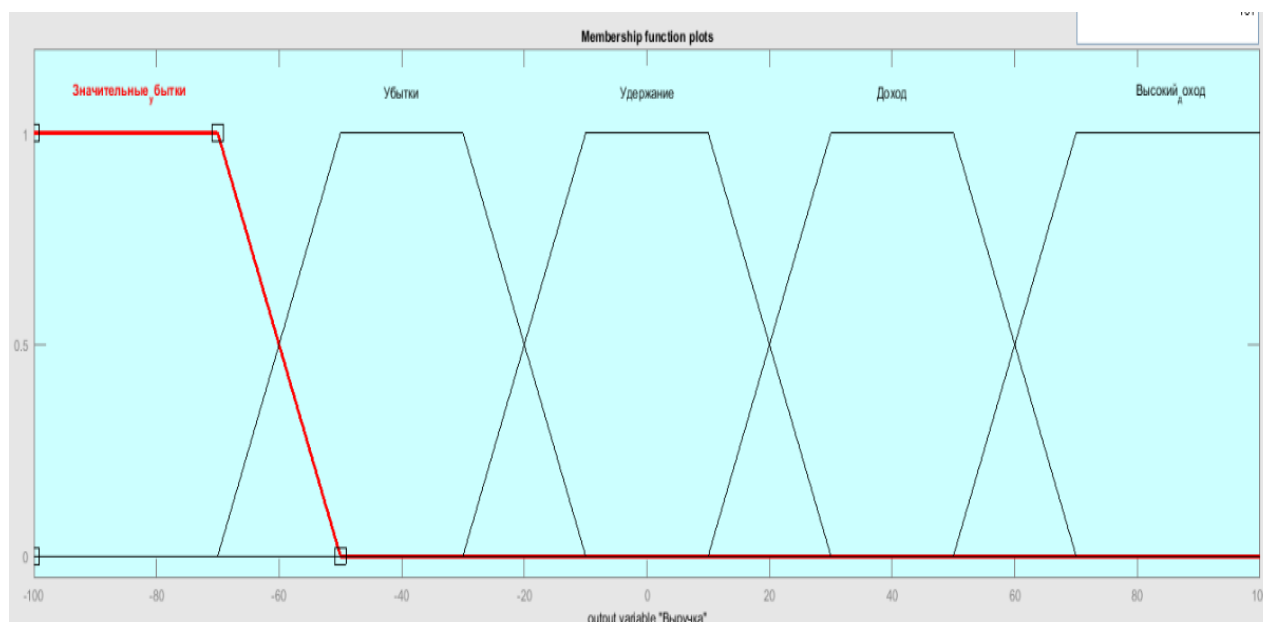


Рис. 3. Графіки функцій приналежності вихідного параметру "Очікувані надходження від боржника"

Вся база правил складатиме 250 правил, що значно ускладнює експертам роботу по впорядкуванню цієї бази. Для спрощення процедури побудови бази правил та позбавлення її від протиріч було застосовано Метод ЗАПРОС (Замкнуті Процедури у Опорних Ситуації). Суть якого полягає в

наступному. При будь-якій сукупності критеріїв можна припустити, що існує ідеальна альтернатива, яка має кращі оцінки за всіма критеріями. Будемо розглядати ідеальну альтернативу як опорну ситуацію, орієнтуючись на яку, можна порівняти між собою зниження якості уздовж шкал двох критеріїв.

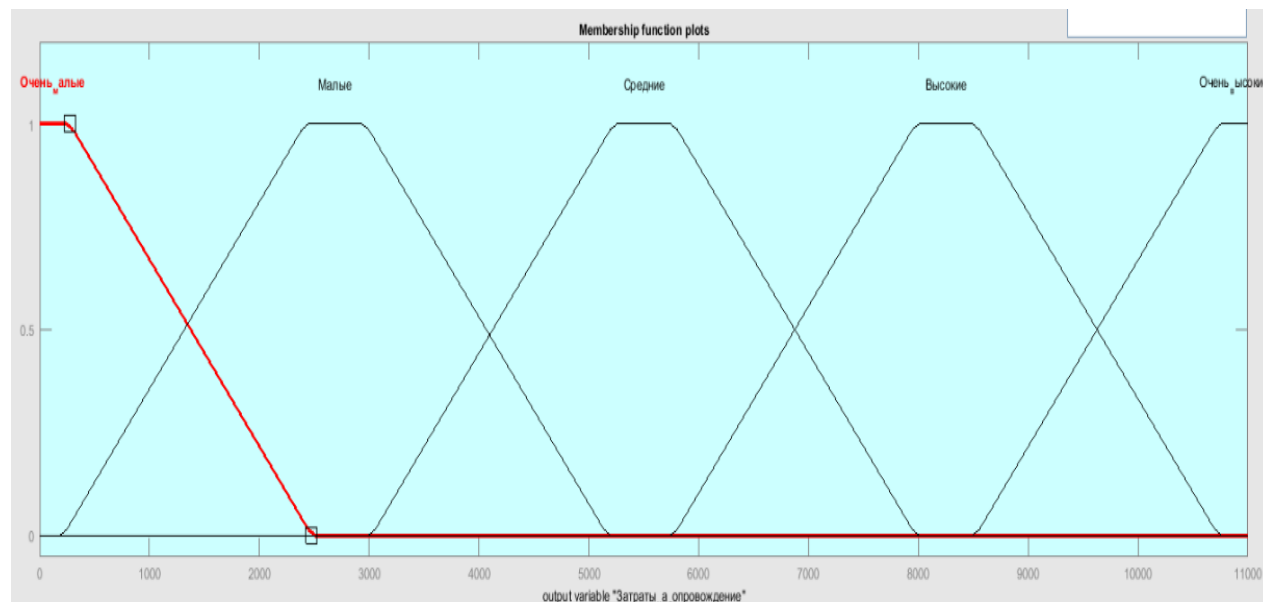


Рис. 4. Графіки функцій приналежності вихідного параметру "Плановані витрати на супроводження боргу"

Переваги методу ЗАПРОС полягають в наступному:

- всі питання прості і зрозумілі для експерта, вони сформульовані на мові оцінок критеріїв;

- відповідаючи на питання, експерт повинен бути логічним і послідовним, тоді завдяки цьому алгоритму зберігається несуперечливість вихідної інформації;

- будь-які порівняння якості альтернатив можуть бути пояснені цією ж мовою.

За результатом експертної оцінки була заданими параметрами вхідних критеріїв, сформована база правил для даного алгоритму, до певної групи вихідного критерію. Приклад складених правил зображено на рис. 5.

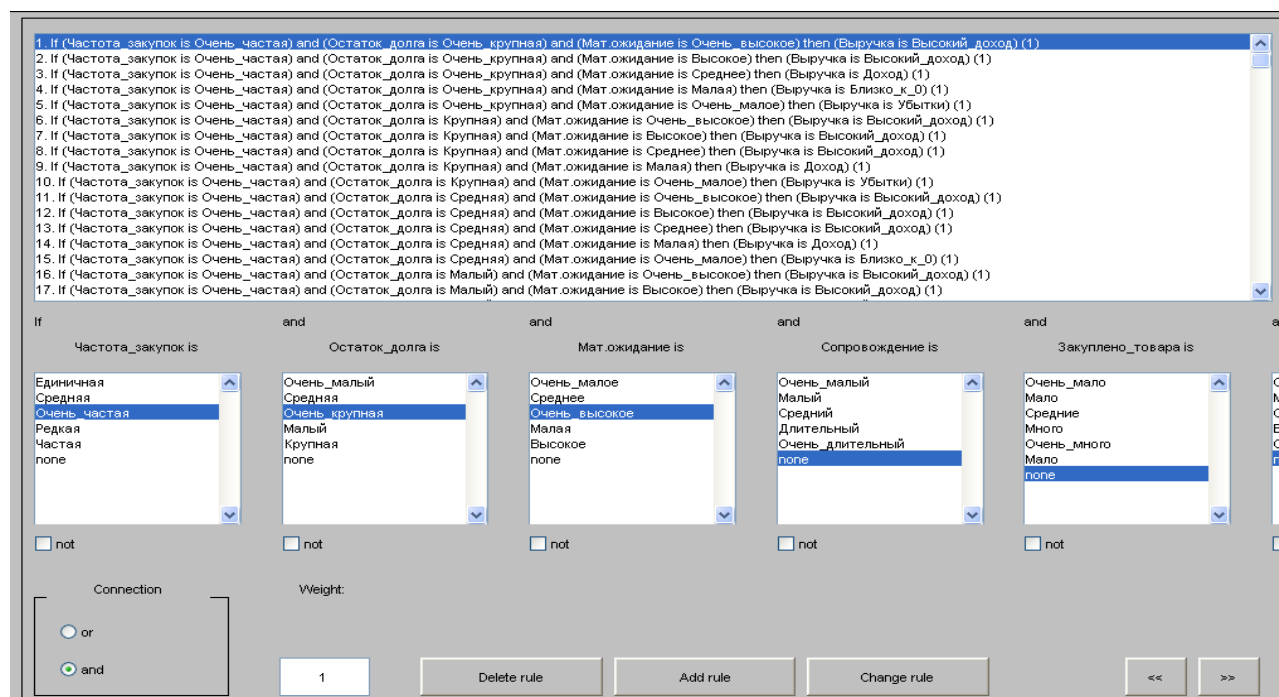


Рис. 5. Приклад бази правил для формування нечіткого логічного виводу

Після реалізації алгоритму, було отримано 2 лінгвістичні змінні, які характеризують всіх споживачів за двома напрямками – "Планові витрати на супроводження боргу" та "Очікувані надходження від боржника". Такі змінні не лише більш прості для проведення аналізу, але й описані у вигляді більш зрозумілому для людини, яка цими даними буде користуватися (експерта, топ-менеджера, власника і т.д.). На рисунку 6 та 7 зображені графіки відклику

вихідних змінних в залежності від значення параметрів вхідних змінних.

Розглянемо можливість та напрям використання цих даних для цілей управління. Слід зазначити, що дані змінні не пов'язані між собою напряму, але опосередкований зв'язок між ними існує. Тому можна ввести додаткову змінну, через яку можливо провести композицію цих змінних. Такою змінною може бути наприклад ефективність стягнення боргу в залежності від застосованого методу впливу на боржника.

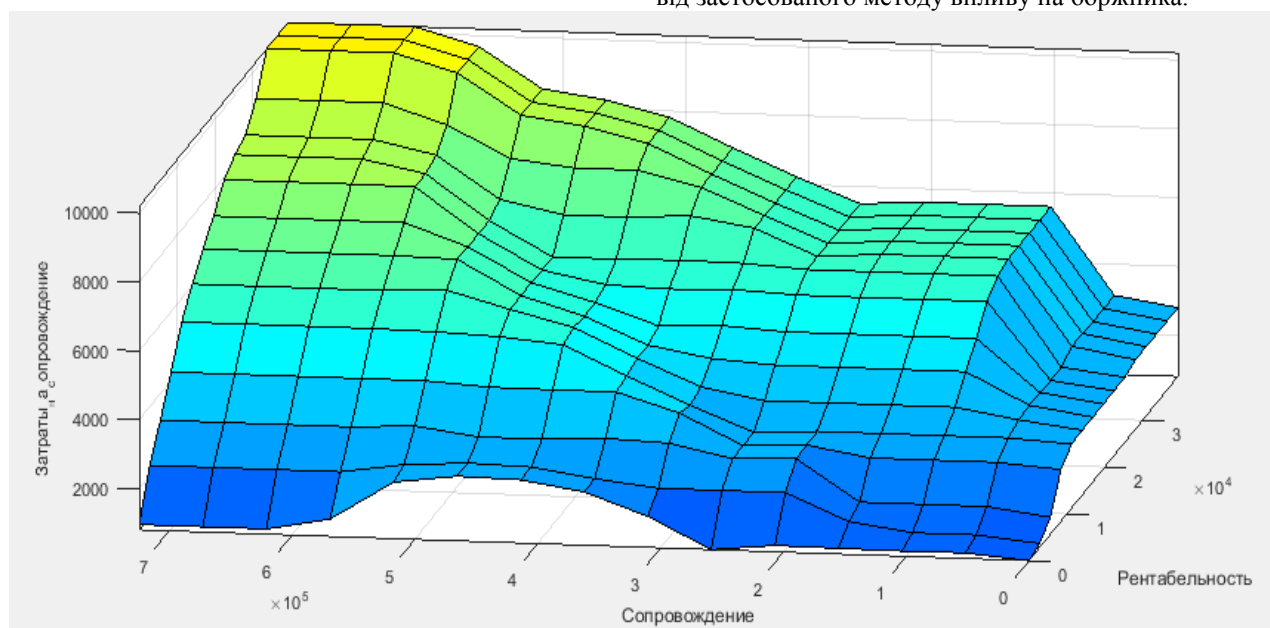


Рис. 6. Графік відклику вихідної змінної "Плановані витрати на супроводження боргу" в залежності від значень вхідних змінних

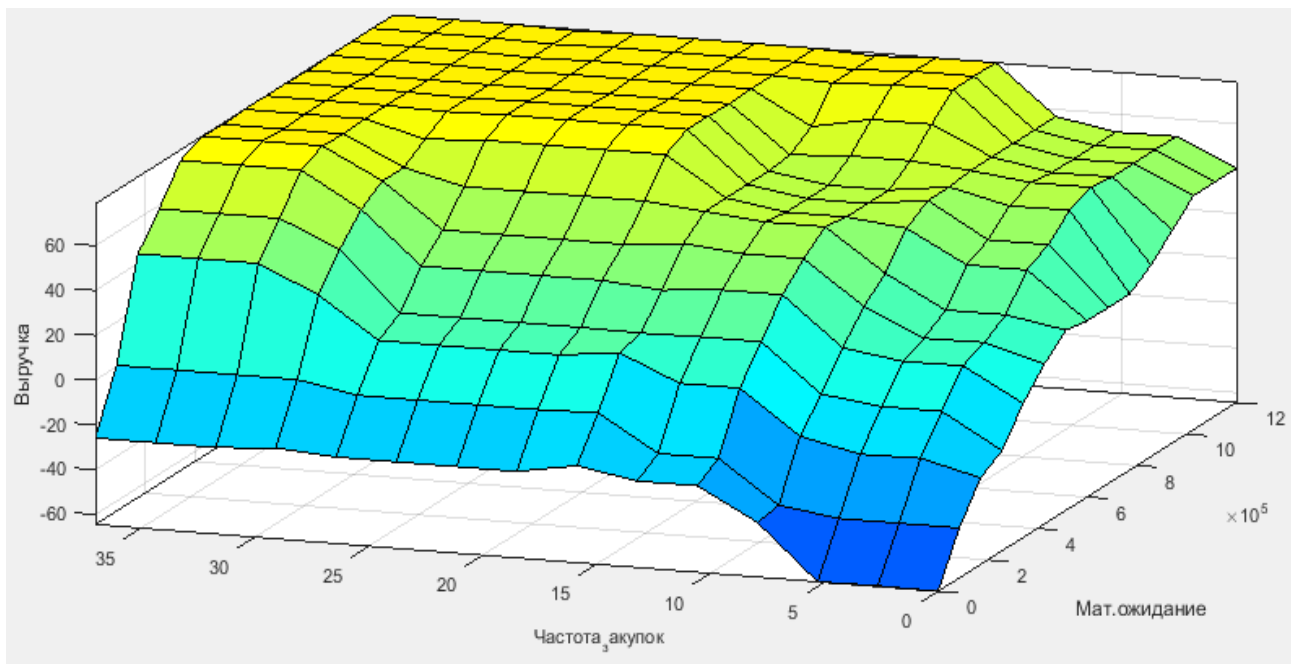


Рис. 7. Приклад графіку відклику вихідної змінної "Очікувані надходження від боржника" в залежності від значень вхідних змінних

Серед можливих методів впливу на боржника для газотранспортних підприємств існує обмежений перелік дозволених методів, серед яких:

- стимулювання до погашення боргу, шляхом повідомлення про стан боргу та попередження боржника про можливі наслідки затягування виплат;
- нарахування пені за прострочену заборгованість;
- розірвання відносин з боржником, з подальшим відключенням від мережі постачання;
- стягнення боргу у судовому порядку;
- списання боргу, як безнадійного.

Слід вирішити яким чином взаємодіють дані змінні в контексті питань стимулювання стягнення дебіторської заборгованості, та яку мету переслідує керівництво – збільшення надходження грошових коштів, або зменшення витрат на супроводження боргу. Як вказують Гудзь О.І. та Мусійовська О.Б., шляхи управління дебіторською заборгованістю повинні врахувати етап життєвого циклу підприємства [12]. Шляхом опитування топ-менеджменту було вирішено визначити, яким чином застосовані методи можуть призвести до

збільшення грошового потоку. Для цього були також задіяні експерти, для визначення відносин між отриманими лінгвістичними змінними та методами впливу на стягнення боргу. По-перше була визначена важливість споживача з огляду на рівень планованих витрат на супровід боргу та очікуваних надходжень (табл. 2).

Таким самим чином експертами був визначений рівень ефективності методу стягнення боргу з огляду на рівень планових витрат на супроводження боргу (табл. 3).

Враховуючи такі відношення побудуємо їх композицію за формулою 1.

$$\mu_{en}(m, n) = \max[\mu_{ev}(m, v), \mu_{en}(v, n)], \quad (1)$$

де $\mu_{en}(m, n)$ – рівень ефективності методу стягнення боргу з огляду на рівень очікуваних надходжень, $\mu_{ev}(m, v)$ – рівень ефективності методу стягнення боргу з огляду на рівень планових витрат на супроводження боргу, $\mu_{en}(v, n)$ – важливість споживачів з огляду на рівень витрат на супровід боргу та очікуваних надходжень.

Таблиця 2. Важливість споживачів з огляду на рівень витрат на супровід боргу та очікуваних надходжень

	Дуже великі надходження	Великі надходження	Середні надходження	Малі надходження	Дуже малі надходження
Дуже високі витрати	67.00%	18.00%	9.00%	5.00%	1.00%
Високі витрати	21.00%	37.00%	22.00%	15.00%	5.00%
Середні витрати	7.20%	26.85%	39.55%	16.40%	10.00%
Низькі витрати	3.40%	16.00%	23.00%	29.60%	28.00%
Дуже низькі витрати	1.40%	2.15%	6.45%	34.00%	56.00%

Таблиця 3. Рівень ефективності методу стягнення боргу з огляду на рівень витрат на супроводження боргу

	Дуже високі витрати	Високі витрати	Середні витрати	Низькі витрати	Дуже низькі витрати
Попередження боржника	3.00%	7.00%	25.00%	43.00%	77.00%
Нарахування пені	26.50%	29.00%	22.50%	13.00%	0.50%
Відключення	7.50%	20.00%	31.00%	32.00%	12.40%
Стягнення боргу у суді	60.00%	35.00%	9.00%	1.00%	0.10%
Списання боргу	3.00%	9.00%	12.50%	11.00%	10.00%

Результат композиції даних викладені у таблиці 4.

Таблиця 4. Рівень ефективності методу стягнення боргу з огляду на рівень очікуваних надходжень

	Дуже великі надходження	Великі надходження	Середні надходження	Малі надходження	Дуже малі надходження
Попередження боржника	2.01%	2.59%	9.89%	14.62%	2.01%
Нарахування пені	17.76%	10.73%	8.90%	4.42%	17.76%
Відключення	5.03%	7.40%	12.26%	10.88%	5.03%
Стягнення боргу у суді	40.20%	12.95%	3.56%	0.34%	40.20%
Списання боргу	2.01%	3.33%	4.94%	3.74%	2.01%

Висновки та перспективи подальшого розвитку

Підводячи підсумок проведених досліджень зауважимо, що ймовірно-статистичні методи математичного опису в умовах невизначеності відрізняються за обсягом інформації, яка потрібна для збільшення достовірності висновків, і складністю математичного апарату, причому збільшення інформації тягне за собою збільшення складності. Ймовірно-статистичний опис доцільно застосовувати лише у разі, якщо точно відомі ймовірнісні характеристики об'єкта моделювання. У випадках із високим рівнем невизначеності даних доцільніше використовувати математичний опис із застосуванням нечіткої логіки, що основана на обробці експертних оцінок.

У даній роботі проведена оцінка та класифікація показників, які характеризують базу споживачів газотранспортного підприємства ПАТ "Харківгаз" та всіх його структурних підрозділів. Ця інформація та опитування експертів дозволили сформувати базу правил, на основі якої були розраховані чіткі показники, що можуть бути використані для управління заборгованістю на підприємстві.

Хоча математичні моделі, що спираються на нечітку логіку і не мають настільки вагому доказову базу, як чіткі моделі, вони мають ряд переваг у застосуванні: простота опису, легкість взаєморозуміння між обчислювальною технікою та людиною, яка користуватиметься даними, обґрунтоване зменшення наявної і достовірної інформації. В роботі представлені рекомендації для застосування у сфері оптимізації методик стягнення дебіторської заборгованості. Алгоритм має досить високий рівень адекватності, оскільки всі дані базуються на статистичній інформації, яка була оброблена експертами з багаторічним стажем профільної діяльності. При застосуванні чітких алгоритмів цієї інформації було б недостатньо для отримання більш-менш адекватного результату.

Сутність нечіткої логіки полягає у тому, що для неї немає необхідності у стовідсотковій достовірності інформації, проте при її застосуванні завжди буде отриманий результат, використання якого буде обґрунтованим. В подальшому можливе дослідження впливу прийнятих рішень на досягнення запланованих показників. З огляду на це даний алгоритм може слугувати базисом для застосування різноманітних коригувальних методів.

Список літератури

1. Лелюк О. В. Аналіз особливостей українського ринку видобутку та споживання природного газу. *Бізнесінформ*. 2013. № 11. С. 170–179.
2. Метешоп І. М., Сорока Х.-І.Ю. Аналіз особливостей газозабезпечення підприємств України та шляхи його диверсифікації. URL http://www.economyandsociety.in.ua/journal/2_ukr/24.pdf (дата звернення 23.10.2018).
3. Кучумова І. Ю. Реалізація системи контролінгу на підприємствах: теоретичний аспект. *Інвестиції: практика та досвід*. 2014. № 12. С. 63–67.
4. Томчук О. Ф. Аналітичне забезпечення управління кредиторською заборгованістю підприємства. *Науковий вісник ЛНУВБТ імені С.З. Гжицького*. 2016. Т. 18. № 2 (69).
5. Губарик О. М., Губан А. В. Управління кредиторською заборгованістю як фактор забезпечення фінансово-економічної безпеки підприємства "Young Scientist". 2017. № 10 (50). October. С. 871–874.

6. Грабовський І. С., Чепурко О. В. Механізм управління заборгованістю на підприємствах теплопостачання. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2018. Вип. 4 (15). С. 475–479.
7. Кирий В. В., Чеченець Д. О. Формування механізму ефективного управління суб'єктами господарювання за умов державного регулювання їх діяльності на основі збалансованої системи показників. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2018. № 3. С. 87–94. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.087>.
8. Труніна І. М. Теоретичні та практичні проблеми визнання дебіторської заборгованості. *Економіка: реалії часу. Науковий журнал*. 2016. № 4 (26). С. 90–97. URL : <http://economics.opu.ua/files/archive/2016/n4.html>.
9. Управління заборгованістю. Чого очікувати боржникам? *Юридична Газета online*. 2017. 06 грудня 2017. URL : <http://yur-gazeta.com/dumka-eksperta/upravlinnya-zaborgovanistyu-chogo-ochikuvati-borzhnikam.html>.
10. Червінська О. С., Демків О.І., Вацко С.В. Управління дебіторською заборгованістю на підприємстві. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.10. С. 260.
11. Яременко Л. М. Формування обліково-аналітичної інформації в управлінні дебіторською заборгованістю підприємства. *Економічний вісник університету*. 2017. Вип. 32 (1). С. 123–129.
12. Гудзь О. І., Мусійовська О. Б. Управління дебіторською заборгованістю відповідно до етапу життєвого циклу підприємства. *Економіка і суспільство*. 2017. № 8. С. 231–235. URL : http://www.economyandsociety.in.ua/journal/8_ukr/40.pdf.
13. Кручак Л. В. Методика аналізу дебіторської заборгованості в системі управління підприємством. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. URL : <http://www.vestnik-econom.mgu.od.ua/journal/2016/22-2016/37.pdf>.
14. Блакита Г. В., Бровко О. Т. Актуальні питання управління дебіторською заборгованістю. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія : Економічні науки*. № 3 (69). С. 23–29.
15. Акімова Н. С., Топоркова О. В., Євлаш Т. О., Говоруха О. О. Облік та аналіз дебіторської заборгованості в системі управління підприємств оптової торгівлі: монографія. Харків : ХДУХТ, 2016. 293 с.

References

1. Lelyuk, O. V. (2013), "Analysis of Specific Features of the Ukrainian Market of Natural Gas Production and Consumption" ["Analiz osobly`vostej ukrayins`kogo ry`nku vy`dobutku ta spozhy`vannya pry`rodnogo gazu"], *Biznesinform*, No. 11, P. 170–179.
2. Metoshop, I. M., Soroka, X.-I.Yu. (2016), "Analysis of the gas supply enterprises of ukraine and the pathways to diversification" ["Analiz osobly`vostej gazozabezpechennya pidpry`yemstv Ukrayiny` ta shlyaxy` jogo dy`versy`fikaciyi"], available at : http://http://www.economyandsociety.in.ua/journal/2_ukr/24.pdf (last accessed 23.10.2018).
3. Kuchumova, I. Yu. (2014), "Implementation of controlling in enterprises: a theoretical aspect" ["Realizaciya sy`stemy` kontrolyngu na pidpry`yemstvax: teorety`chny`j aspekt"], *Investy`ciyi: prakty`ka ta dosvid*, No. 12, P. 63–67.
4. Tomchuk, O.F. (2016), "Analytical support of managing enterprise's accounts payable", *Scientific Messenger LNUVMBT named after S.Z. Gzhytskyj*, No. 2 (69), P. 160–164.
5. Gubary`k, O. M., Guban, A. V. (2017), "Management of creditorial debt as a factor ensuring financial and economic safety of enterprises" ["Upravlinnya kredy`tors`koyu zaborgovanistyu yak faktor zabezpechennya finansovo-ekonomichnoyi bezpeky` pidpry`yemstva"], *Young Scientist*, No. 10 (50), P. 871–874.
6. Grabovs`ky`j, I. S., Chepurko, O. V. (2018), "The mechanism of debt management at heat supply companies" ["Mexanizm upravlinnya zaborgovanistyu na pidpry`yemstvax teplopostachannya"], *Sxidna Yevropa : ekonomika, biznes ta upravlinnya*, No. 4 (15), P. 475–479.
7. Kyriy, V. V., Chechenec`z, D. O. (2018), "Formation of business entity effective management system in conditions of government moderation of its activity based on the balanced system of indexes", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (5), P. 87–94. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.087>.
8. Trunina, I. M. (2016), "The theoretical and practical problems of recognition of receivables", *ECONOMICS: time realities*, No. 4 (26), P. 90–97. URL: <http://economics.opu.ua/files/archive/2016/n4.html>.
9. "Debt management. What to expect the debtors?" ["Upravlinnya zaborgovanistyu. Chogo ochikuvaty` borzhny`kam?"], *Yury`dy`chna Gazeta online*, 2017, No. 06/12/2017, available at : <http://yur-gazeta.com/dumka-eksperta/upravlinnya-zaborgovanistyu-chogo-ochikuvati-borzhnikam.html>.
10. Chervins`ka, O. S., Demkiv, O. I., Vatsko, S. V. (2011), "Accounts receivable management at the enterprise", *Scientific Bulletin of UNFU*, Vol. 21.10, P. 260.
11. Jaremenko, L. M. (2017), "Formation of accounting-analytical information in receivables management enterprise", *University Economic Bulletin*, Vol. 32 (1), P. 123–129.
12. Levchuk, O. V., Kovalenko, V. A. (2017), "Current issues of reformation national economic interests of Ukraine in the conditions of globalization", *Economy and Society*, No. 8, P. 231–235.
13. Kruchak, L. V. (2016), "The method of analysis of receivables in the enterprise management system", *Naukovy`j visny`k Mizhnarodnogo humanitarnogo universy`tetu*, available at : <http://www.vestnik-econom.mgu.od.ua/journal/2016/22-2016/37.pdf>.
14. Blakuta, G. V., Brovko, O. T. (2012), "Problems of management accounts receivable", *Proceedings of VNAU. A series of economic science*, No. 3 (69), P. 23–29.
15. Akimova, N. S., Toporkova, O. V., Yevlash, T. O., Govoruxa, O. O. (2016), "Accounting and analysis of receivables in the system of management of wholesale trade enterprises" [Oblik ta analiz debitors`koyi zaborgovanosti v sy`stemi upravlinnya pidpry`yemstv optovoyi torgivli] : monografiya, Kharkiv : XDUXT, 293 p.

Надійшла (Received) 20.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кирий Валентина Василівна – кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри економічної кібернетики та управління економічною безпекою, Харків, Україна; e-mail: valentyana.kyriy@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2537-264X>.

Кирий Валентина Васильевна – кандидат экономических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, Харьков, Украина.

Kyriy Valentyna – PhD (Economics Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor at the Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security, Kharkiv, Ukraine.

Чеченец Дмитрий Александрович – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри економічної кибернетики та управління економічною безпекою, Харків, Україна; e-mail: dmytro.chechenets@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0998-7265>.

Чеченец Дмитрий Александрович – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, Харьков, Украина.

Chechenets Dmytro – Kharkiv National University of Radio Electronics, Postgraduate at the Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security, Kharkiv, Ukraine.

Петрова Роксана Вадимівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри економічної кибернетики та управління економічною безпекою, Харків, Україна; e-mail: roksana.petrova@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5886-8943>.

Петрова Роксана Вадимовна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, Харьков, Украина.

Petrova Roksana – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor at the Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security.

Довгопол Ніна Василівна – кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри економічної кибернетики та управління економічною безпекою, Харків, Україна; e-mail: nina.dovgopol@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2438-0904>.

Довгопол Нина Васильевна – кандидат экономических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, Харьков, Украина.

Dovgopol Nina – PhD (Economics Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor at the Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security.

МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ ДЕБИТОРСКОЮ ЗАДОЛЖЕННОСТЮ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРІДПРИЯТТЯ

Предметом исследования данной работы является развитие механизма рыночного взаимодействия между субъектами хозяйствования на рынке газа. Актуальность исследования обусловлена тем, что существующие механизмы управления дебиторской задолженностью предприятий не имеют достаточного влияния на потребителей, хотя во многих компаниях существует соответствующая кредитная политика. **Целью** исследования является разработка механизма управления дебиторской задолженностью газотранспортных предприятий с учетом эффективности мер по взысканию долга. **Задачей** работы является определение критериальных характеристик дебиторской задолженности газотранспортных предприятий и оценка возможностей по взысканию долга. При проведении исследования в работе использованы **методы** и основные положения финансового менеджмента для оценки состояния задолженности, нечеткого логического вывода для определения целесообразности использования методов воздействия на дебитора по взысканию долга в пользу газотранспортного предприятия. **Результаты:** проанализированы и классифицированы показатели, которые определяют базу потребителей газотранспортного предприятия ПАТ "Харьковгаз" и всех его структурных подразделений. Перечень вербальных критериев анализа потребителей включает: частота закупок; общий объем закупок; остаток долга; математическое ожидание погашения долга; период сопровождения долга; рентабельность взыскания долга в судебном порядке. На основе опроса экспертов были использованы две лингвистические переменные, характеризующие эффективность работы с потребителями-должниками по двум направлениям – "Плановые расходы на сопровождение долга" и "Ожидаемые поступления от должника". На основе этих данных и опроса экспертов была сформирована база правил, где были рассчитаны четкие показатели, возможные к использованию для будущего взаимодействия с потребителем. Переменные, характеризующие всех потребителей-должников, не связанные между собой напрямую. Поэтому введена дополнительная переменная, по которой можно провести композицию этих показателей – эффективность взыскания долга в зависимости от применяемого метода воздействия на должника. **Выводы** в работе предложен алгоритм определения целесообразности применения различных методов воздействия на должника, приводящий к максимальному увеличению денежного потока газотранспортного предприятия. В дальнейшем возможно совершенствования вычислений, путем исследования и оценки влияния принятых решений на достижение запланированных показателей.

Ключевые слова: дебиторская задолженность; управление финансами; нечеткий логический вывод; газотранспортные предприятия.

MECHANISM OF DEBT SECURITY MANAGEMENT OF THE GAS TRANSPORT ENTERPRISE

The subject of the given work is the development of mechanism of market interaction between the business activity subjects at the gas market. The study is relevant due to the fact that although many companies have a corresponding credit policy, the existing mechanisms of managing the enterprises' receivables do not have sufficient impact on consumers. **The aim** of the study is to develop

a mechanism for managing receivables of gas transport companies, taking into account the effectiveness of debt recovery measures. **The task** of the work is to determine the criterial characteristics of receivables of gas transport companies and to assess the possibilities for debt collection. During the study, in the work have been used **methods** and basic provisions of financial management to assess the state of debt, fuzzy inference to determine the feasibility of using methods of influencing the debtor to recover the debt in favor of the gas transmission enterprise. **The outcomes:** were analyzed and classified the indexes, which define the base of consumers of the gas transport enterprise PJS "Kharkiv gas" and all of its structure departments. The list of verbal criteria of the consumers analysis includes: the frequency of purchases; total size of purchases; the balance of the debt; the expected maturity of the debt; maintenance of a debt; the profitability of debt collection in court. Based on the survey of experts, two linguistic variables were used to characterize the effectiveness of work with consumers-debtors in two directions – "Planned costs of debt support" and "Expected revenues from the debtor". A base of rules was formed at the basis of the data and the expert survey, in which were calculated distinct indicators that can be used for future interaction with the consumer. The variables, which characterize all of the consumers-debtors, do not have a direct connection. Therefore, an additional variable was introduced to compose the aforementioned indexes – the effectiveness of debt collection depending on the used method of influence on the debtor. **The conclusion:** In the given work is proposed an algorithm for determining the way the applied methods of influence on the debtor can lead to an increase in the cash flow of the gas transportation enterprise. In the future, it is possible to improve the calculations by studying and assessing the impact of decisions on the achievement of planned indexes.

Keywords: receivables; finances management; fuzzy logic interference; gas transportation enterprises.

V. KOSENKO

DECISION SUPPORT SYSTEM IN PLANNING INVESTMENT PROJECTS

The **subject matter** of the study is the processes of planning investment projects for the development of organizations. The **goal** of this article is to develop an algorithm and software product of the decision support system to select the method of attracting investment project funds. The following **tasks** were solved in the article: the model of complex planning was studied and the investment project was implemented, the method of selecting an optimal variant of investment project implementation was developed, the elements of the decision support system to select the investment method were specified. The following **methods** were used: the system analysis, the project approach, plural theoretical models, the heuristic methods of selection, production rules. The following **results** were obtained: it is shown that the efficiency of the investment process is related to the assessment and selection of the most attractive investment projects from a number of alternatives, which will provide the maximum profit in the future; the strategic tasks of investing in the development of organizations and enterprises are singled out; the main finances that can be involved in carrying out an investment project are considered; the concepts of an investment project, a subject and an object of the investment activity were defined; the above concepts were formalized using the theory of sets and the system approach; the basic conditions under which the project should be implemented are formulated; the generalized diagram of the investment project implementation is developed. While developing the method of selecting the optimal variant of the investment project, the types of source information about the project and the organization which will use the finances are involved are determined. The rules for selecting the preferred variants for attracting investment depending on project factors are presented as a table. The generalized iterative algorithm for selecting the method of investing is built. The main dialogue forms of the user interface of the decision support system are considered. **Conclusions.** The application of the proposed method and decision support system at the planning stage of the investment project will enable making sound decisions regarding the selection of an investment method depending on the main factors of the project and the object of investment.

Keywords: investment project; decision making; ways of financing; variant selection; user interface.

Introduction

Modern issues of the investment management are related to the need to implement unified principles of management at different levels of manufacturing and sales of products and services. Financial management in project management requires long-term decisions that are part of a development strategy and are based on the predictive assessment of project costs and revenues [1, 2].

Under modern economic conditions, an enterprise acting through its owners and senior management should take care of its future by solving all its strategic and tactical issues independently. Such activities in the field of investment planning should be specially organized and primarily depends on the policy of financial activity in the enterprise.

The issues of system optimization of investment projects

To determine the optimal directions of capital investments and to identify the most efficient ways of using it for a sufficiently long period of time, the investment strategy should be developed and successfully implemented. Decisions are identified and justified, alternatives to determine and assess the strategy are selected on the basis of the strategic analysis of the investment activity [3 – 5].

To manage investment projects, the situational approach is used. It involves making a decision on the basis of the situational analysis, which includes the preparation of a number of analytical methods, techniques and management mechanisms in case of the change of conditions in the future or under new situations that are different from the basic forecast ones [6].

While calculating the investment efficiency it is recommended taking into account the uncertainty associated with the probability of unfavourable situations and consequences in the course of project implementation [7]. The assessments of the investment project efficiency are based on the understanding risk as a probability of negative deviations and involve the use of non-average but moderately pessimistic estimates of indicators while creating the baseline scenario of project implementation.

To optimize decisions on an investment project, a financial-economic mechanism is used that includes the procedure for selecting indirect incentive methods and instruments (state-regulator) or direct financial support for investment activity of enterprises (state-investor) [8].

Problem statement

The efficiency of the investment process is related to the assessment and selection of the most attractive investment projects from a number of alternatives that will provide the future maximum profit.

Under actual management conditions, an investor has to consider a lot of investment issues related, for example, to the distribution of limited investment resources, to the assessment of investment projects both with the same and different terms of implementation. But a firm itself selects acceptable conditions for the implementation of investment projects, basing on its own financial management, perspective financial planning and overall financial policy, including the development of the entire organization.

But today there is no method that would enable assessing the efficiency of the investment project, taking into account different variants for attracting funds under different financing patterns and different scales of project objectives.

The goal of the article is to develop an algorithm and software product of the decision support system to select the way of attracting the investment project funds. The following tasks are solved in the article:

1. The model of complex planning is studied and the investment project is implemented.
2. The method of selecting an optimal variant of investment project implementation is developed.
3. The elements of the decision support system to select the investment method are specified.

Models of complex planning on investments projects

Let us list the strategic investment objectives [9]:

- substantiating the investment project practicability;
- selecting the optimal project from possible alternatives;
- assessing the efficiency and ensuring the profitability of a project over a certain period;
- finding ways, means and reserves to maximize the investment efficiency.

To get a complex updated project plan, the budget of the project implementation should be calculated first, then the sources of investment financing should be selected and analyzed, the amount and patterns of financing should be determined, the project implementation should be simulated taking into consideration the probability of risky situations [10].

Consider the main types of funds that can be involved in implementing an investment project of an organization (enterprise):

- 1) internal funds – finances of an organization and its intercompany reserves;
- 2) loaned funds – finances attracted by selling shares or obtained as share contributions and other contributions of members of labour collectives, citizens, legal persons;
- 3) external funds:
 - funds that are in the centralized possession of business associations;
 - funds of extra-budgetary funds;
 - funds of the State Budget;
 - funds of foreign investors [11].

Let us note that own financial resources of an organization are used most often to finance small innovative development projects (to introduce the system of quality standards, to upgrade certain types of equipment, to modify products, etc.). Loaned funds involve payment for using with interest or without payment [12].

Making decisions to invest also depends on the size and sectoral affiliation of a company. Thus, portfolio investors are focused on obtaining a trading profit, therefore, they mainly invest in the shares of large enterprises [13].

Leasing is a type of financing fixed assets. In case of the operational lease, any property that can be attributed to fixed assets is leased. In case of financial lease, fixed assets are also leased but they are leased through special financial companies that act as a mediator between an owner and a renter paying the amount for the leased property to the owner immediately, while the renter pays

lease payments to the financial company during the entire term of leasing [14].

To determine the sources and methods of financing investments, the following concepts should be singled out – an investment project, a subject and an object of the investment activity. Let us formalize the above concepts using the set theory and the system approach.

An investment project (IP) is understood as an investment activity that involves a number of measures (works) on an object that is in the state S_0 . A set of works on the project is designated as $U = \{U_i\}$. This refers to the use of a certain amount of financial resources from various sources. A set of financial sources is designated as $R = \{R_i\}$. To obtain the planned result – to change S_0 state for S_k state for achieving a certain goal Ω , a time period is given, that is the project term T .

Therefore, in the context of the general theory of systems, the investment project can be represented as the following model:

$$IP = \{\Omega, U, S_0, S_k, R, T\}. \quad (1)$$

The goal of the investment project Ω is to obtain the main financial result – profit P and a tangible result will be new or renovated key assets, that is the object state S_k .

Investments can be expressed both in the monetary equivalent. If an asset is fixed, tangible, intangible and other types of assets Im .

The objects of the investment project are newly created and upgraded funds and current assets in all branches and spheres of economic activity, paper holdings, scientific and scientific and technical products and so on.

The subjects of the investment project, a set of which is designated as $V = \{V_m\}$, $m = 1..M$, are investors, customers, work performers, project team, users of investment objects, as well as suppliers and legal persons.

Let us consider the investor $V1$ as the main subject of the investment project who invests own, borrowed and attracted funds and ensures their intended use by Ω . Customers $V2$ can be investors or other persons authorized to implement the investment project. The user of investment activities objects $V3$ can be an investor, organization, enterprise or other persons for whom an investment activity object is created.

The project must be implemented under the following conditions:

- 1) investment dynamics $I(t)$ should provide the implementation of the project according to the term of the project T and financial constraints – profit $P(t)$:

$$I(t): S_0 \rightarrow S_k | T, P(t); \quad (2)$$

- 2) the goal of the investment project Ω is to obtain the main financial result – profit and the tangible result S_k will be new or renovated key assets;

- 3) the maximization of profit $P \rightarrow \max$ and risk reduction $R_i \rightarrow \min$ of the project should be ensured by the appropriate structure and funding sources $VI = \{Vi\}$

and certain organizational measures throughout the project $U(t)$.

Taking into consideration the above, the generalized diagram of the investment project implementation can be presented as follows (fig. 1):

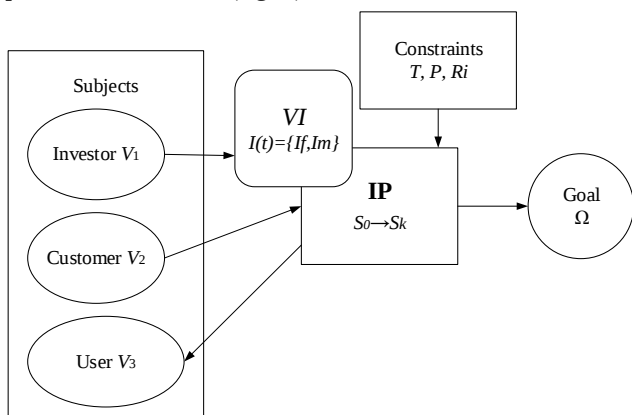


Fig. 1. The generalized diagram of the investment project implementation

The method of selecting the best variant for implementing the investment project

To determine the variant of investment attracting, information about a type of the organization resource shortage (that will be compensated financially), the necessary rate of financing and the levels of planning will be used [15]:

1) $R=Y$ – technological shortage; $R=Z$ – facilities shortage (equipment); $R=E$ – personnel shortage (labour resources); $R=M$ – the shortage of organizational resources (for management);

2) $D=1$ – an advance plus payment at the end of the investment period; $D=2$ – the receipt of funds at the beginning of the period; $D=3$ – the receipt of funds at the end of the period; $D=4$ – progress payment;

3) $T=d$ – a long-term project, $T=s$ – a medium-term project, $T=k$ – a short-term project, $TV=g$ – single investment.

The considered investment variants are presented in Table 1. The table shows the best investment variants depending on the values of the three project factors above. "1" means that the investment method can be used for a given factor value, "0" means that the method cannot be used. Based on the table, the production rules for making decisions on attracting funds are worked out.

The generalized algorithm for selecting the investment method is presented in fig. 2.

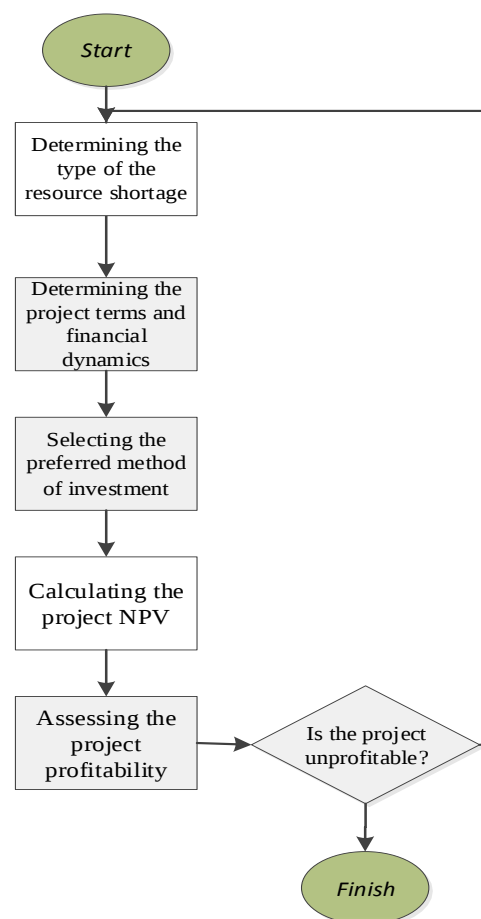


Fig. 2. The algorithm for selecting the investment method

Table 1. The preferred options for attracting investment depending on the factors of the project

Investment attraction method	Resource type, R				Planning level, T				Financial dynamics, D			
	Y	Z	E	M	d	s	k	g	1	2	3	4
1. Long-term loan	1	1	1		1	0	0	0	1	0	1	1
2. Instalment buying	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
3. Long-term lease	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
4. Medium-term loan	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1
5. Medium lease		1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
6. Short-term loan	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
7. Overdraft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
8. Long-term shares	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
9. Long-term bonds	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
10. Short-term shares	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
11. Long-term bonds	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
12. Medium-term bonds	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
13. Short-term bonds, summer bonds	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1

The user interface of decision support system (DSS)

The basic components of the suggested system are the interface "user-system", database and the base of models (rules).

The interface "user-system" provides the connection of a user with each base and includes the

software to manage the database, the base of models as well as to manage and generate the dialogue.

The user indicates the shortage value (in relative terms, for example, percentage), selects the level of planning and the dynamics of financing (fig. 3).

№	Дефицит	Значение дефицита
1	Оборудования	12
2	Технологий	23
3	Исполнителей	56
4	Средств на управление	78

Уровень планирования

☐ Долгосрочный
☐ Среднесрочный
☒ Краткосрочный

Период годового планирования

Динамика финансирования

☐ 1 ☒ 3
☒ 2 ☐ 4

1-динамика финансирования(аванс +оплата в конце)
 2-динамика финансирования(поступление средств в начале)
 3-динамика финансирования(поступление средств в конце)
 4-динамика финансирования(оплата поэтапная)

Fig. 3. Entering data on the organization and project parameters

Fig. 4 shows the dialogue interaction that includes the system of rules for certain investment methods. The

system administrator can add or delete particular methods or correct the system of rules.

Способ инвестирования	Дефицит технологий	Дефицит оборудования	Дефицит исполнителей	Деф
Долгосрочная ссуда	1	1	1	
Покупка в рассрочку	0	1	0	
Долгосрочная аренда (эксплуатац	0	1	0	
Среднесрочная ссуда	1	1	1	
Среднесрочная аренда (эксплуатац	0	1	0	
Краткосрочная ссуда	0	0	1	
Овердрафт	0	0	0	
Долгосрочные акции	1	1	0	
Среднесрочные акции	1	1	0	

Fig. 4. Editing the investment forms and methods

Depending on the selection of parameters (chosen in fig.3), probable (recommended) financial methods are given in fig.5. The project performance indicator is approximately calculated at the final step of the suggested

method (in the form of NPV – the values of discounted cash flow taking into consideration a certain capital structure). For this, the volume of the investment flow, the payment date and the discount rate must be set.

The screenshot shows a software window titled "Form1" with a menu bar containing "File". Below the menu bar are three tabs: "Параметры источников финансирования", "Варианты выбора", and "Редактирование формы способов инвестирования". The "Варианты выбора" tab is active. It contains a list box titled "Способ инвестирования" with the following items: "Долгосрочная ссуда" (selected), "Покупка в рассрочку", "Долгосрочная аренда (эксплуатационная)", "Среднесрочная ссуда", "Среднесрочная аренда (эксплуатационная)", "Краткосрочная ссуда", and "Долгосрочные акции". Below the list box are four radio buttons: "Долгосрочное планирование", "Среднесрочное планирование" (selected), "Краткосрочное планирование", and "Годовое планирование". To the right of these are three input fields: "I(инвестиционный поток)" with value 34, "CF(платеж через неделю)" with value 2, and "d(ставка дисконтирования)" with value 3. A "Расчет" button is located at the bottom left of the form.

Fig. 5. Selecting the investment methods

Conclusions

The article deals with the issues and existing methods of the system optimization of investment projects. It is shown that the efficiency of the investment process is related to the assessment and selection of the most attractive investment projects from a number of alternative projects that would provide the maximum profit in the future.

The strategic tasks of investing in the development of organizations and enterprises are singled out. The main finances that can be involved in carrying out an investment project are considered. The concepts of an investment project, a subject and an object of the investment activity are defined. The above concepts are formalized using the theory of sets and the system approach. The basic conditions under which the project should be implemented are formulated. The generalized

diagram of the investment project implementation is developed.

While developing the method of selecting the optimal variant of the investment project, the types of source information about the project and the organization which will use the finances are involved are determined. The rules for selecting the preferred variants for attracting investment depending on project factors are presented as a table. The generalized iterative algorithm for selecting the method of investing is built.

The main dialogue forms of the user interface of the decision support system are considered.

Applying the proposed method and decision support system at the planning stage of an investment project will enable making sound decisions relating the selection of an investment method depending on the main factors of the project and the investment object.

References

1. Mova, N., Khaustov, V. (2008), "Innovation activity in Ukraine and directions of its development" ["Innovatsiyna diyal'nist' v Ukraini i napryamky yiyi rozvytku"], *Ukraine economy*, No. 6, P. 29–34.
2. Lapko, O. (2009), "Problems of innovation activity" ["Problemy innovatsiynoyi diyal'nosti"], *Ukraine economy*, No. 8, P. 93–95.
3. Davidov, M. V. (2008), "The ways of organizational and financial provision of the innovation process at the enterprises of Ukraine" ["Shlyakhy orhanizatsiyno-fiansovoho zabezpechennya innovatsiynoho protsesu na pidpryyemstvakh Ukrainy"], *Actual problems of the economy*, No. 4 (82), P. 130–134.
4. Balanyuk, I. (2009), "Analysis of investment and innovation activity of enterprises" ["Analiz investytsiyno-innovatsiynoyi diyal'nosti pidpryyemstv. Visnyk Ternopil's'koho natsional'noho ekonomichnoho universytetu"], *Bulletin of the Ternopil National University of Economics*, No. 3, P. 149–150.
5. Zaika, S. O. (2015), "Investment potential of the enterprise and variants of its formation" ["Investytsiynyy potentsial pidpryyemstva ta varianty yoho formuvannya"], *Scientific Herald of Kherson State University*, No. 13, P. 84–86.
6. Morozov, A. A., Tesler, G. S. (2005), "Situational management and decision support systems" ["Situatsionnoye upravleniye i sistemy podderzhki prinyatiya resheniy"], *Decision support systems. Theory and practice*, P. 5–9.
7. Terenchuk, S. A., Yeremenko, B. M., Zhuribeda, D. B. (2009), "Models and methods of risk assessment in investment construction projects under uncertainty", *The theory and practice of construction*, No. 5, P. 49–53.
8. Bogutska, O. (2018), "Financial and economic mechanism of ensuring investment activity of enterprises within institutional models of financing the real sector of economics", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (5), P. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.079>.

9. Shtanko, L. O. (2009), "Process of planning of an effective investment strategy of the enterprise" ["Protses planuvannya efektyvnoyi investytsiynoyi stratehiyi pidpryyemstva"], *Problems of a systemic approach to the economy enterprises*, No. 4, P. 12–16.
10. Petrunja, Yu. E. (2003), "Risk of investing in the stock market" ["Ryzyky investuvannya na rynku aktsiy"], *Economic Bulletin of the National Mining University*, No. 2, P. 83–88.
11. Bierman, Jr., Harold, Smidt S. (2012), *The capital budgeting decision: economic analysis of investment projects*, Routledge, 402 p.
12. Kirichenko, O. (2007), "Financial management at Ukrainian enterprises: principles of ensuring positive dynamics" ["Finansovyy menedzhment na pidpryyemstvakh Ukrainy: pryntsypy zabezpechennya pozytyvnoyi dynamiky"], *Banking*, No. 5, P. 3–17.
13. Asiedu, E., Esfahani, H. S. (2001), "Ownership structure in foreign direct investment projects", *Review of Economics and statistics*, No. 4 (83), P. 647–662.
14. Dyugovannets, O. M. (2011), "Peculiarities of Venture Investment in Ukraine" ["Osoblyvosti venchurnoho investuvannya v Ukraini"], *Scientific herald of Uzhgorod University*, Special Issue 33, Part 2, P. 70–73.
15. Druzhinin, E. A., Lukhanin, M. I., Mazorchuk, M. S. (2001), "A model for choosing the most rational method of financing in assessing the feasibility of large-scale projects and programs based on the discount method" ["Model' vybora naiboleye ratsional'nogo sposoba finansirovaniya pri otsenke realizuyemosti krupnomasshtabnykh proyektov i programm na osnove metoda diskontirovaniy"], *Aerospace Engineering and Technology*, Vol. 25, P. 205–213.
16. Druzhinin, E. A., Yashina, E. S., Komarov, V. S. (2001), "Modeling of the project financing process under the influence of random factors" ["Modelirovaniye protsessa finansirovaniya proyekta v usloviyakh vozdeystviya sluchaynykh faktorov"], *Aerospace Engineering and Technology*, Vol. 24, P. 187–194.

Received 15.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Косенко Віктор Васильович – доктор технічних наук, доцент, Державне підприємство "Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування", директор, Харків, Україна; e-mail: kosv.v@ukr.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4905-8508>.

Косенко Виктор Васильевич – кандидат технических наук, доцент, Государственное предприятие "Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения", директор, Харьков, Украина.

Kosenko Viktor – Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, State Enterprise "Kharkiv Scientific-Research Institute of Mechanical Engineering Technology", Director, Kharkiv, Ukraine.

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ПЛАНУВАННІ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ

Предметом дослідження є процеси планування інвестиційних проектів розвитку організацій. **Метою** даної статті є розробка алгоритму та програмного продукту системи підтримки прийняття рішень по вибору способу залучення коштів інвестиційного проекту. В статті вирішуються наступні **завдання**: дослідження моделі комплексного планування та реалізації інвестиційного проекту, розробка методу вибору оптимального варіанта реалізації інвестиційного проекту, розробка елементів системи підтримки рішень по вибору способу інвестування. **Методи**, що застосовуються: системний аналіз, проектний підхід, теоретико-множинні моделі, евристичні методи вибору, продукційні правила. Отримано такі **результати**. Показано, що ефективність інвестиційного процесу пов'язана з оцінкою і вибором найбільш привабливих інвестиційних проектів з ряду альтернативних, які забезпечували б у майбутньому максимальний прибуток. Перелічено стратегічні завдання інвестування розвитку організацій та підприємств. Розглянуто основні види коштів, що можуть бути залучені для виконання інвестиційного проекту. Визначено поняття: інвестиційний проект, суб'єкт і об'єкт інвестиційної діяльності. Проведено формалізацію вказаних понять з використанням теорії множин і системного підходу. Сформульовано основні умови, за яких має бути реалізований проект. Розроблено узагальнену схему реалізації інвестиційного проекту. При розробці методу вибору оптимального варіанта реалізації інвестиційного проекту визначено види вихідної інформації про проект та організацію, для якої залучаються кошти. Правила вибору переважних варіантів способу залучення інвестицій в залежності від факторів проекту подано у вигляді таблиці. Сформовано узагальнений ітераційний алгоритм методу вибору способу інвестування. Розглянуто основні діалогові форми інтерфейсу користувача системи підтримки прийняття рішень. **Висновки**: застосування запропонованого методу та системи підтримки прийняття рішень на етапі планування інвестиційного проекту дозволить приймати обґрунтовані рішення щодо вибору способу інвестування в залежності від основних факторів проекту та об'єкту інвестування.

Ключові слова: інвестиційний проект; прийняття рішень; способи фінансування; вибір варіанту; інтерфейс користувача.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПЛАНИРОВАНИИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Предметом исследования являются процессы планирования инвестиционных проектов развития организаций. **Целью** данной статьи является разработка алгоритма и программного продукта системы поддержки принятия решений по выбору способа привлечения средств инвестиционного проекта. В статье решаются следующие **задачи**: исследование модели комплексного планирования и реализации инвестиционного проекта, разработка метода выбора оптимального варианта реализации инвестиционного проекта, разработка элементов системы поддержки решений по выбору способа

инвестирования. **Методы**, которые применяются: системный анализ, проектный подход, теоретико-множественные модели, эвристические методы выбора, продукционные правила. Получены следующие **результаты**. Показано, что эффективность инвестиционного процесса связана с оценкой и выбором наиболее привлекательных инвестиционных проектов из ряда альтернативных, которые обеспечивали бы в будущем максимальную прибыль. Перечислены стратегические задачи инвестирования развития организаций и предприятий. Рассмотрены основные виды средств, которые могут быть привлечены для выполнения инвестиционного проекта. Определены понятия: инвестиционный проект, субъект и объект инвестиционной деятельности. Проведено формализацию указанных понятий с использованием теории множеств и системного подхода. Сформулированы основные условия, при которых должен быть реализован проект. Разработана обобщенная схема реализации инвестиционного проекта. При разработке метода выбора оптимального варианта реализации инвестиционного проекта определены виды исходной информации о проекте и организации, для которой привлекаются средства. Правила выбора предпочтительных вариантов способа привлечения инвестиций в зависимости от факторов проекта представлены в виде таблицы. Сформирован обобщенный итерационный алгоритм метода выбора способа инвестирования. Рассмотрены основные диалоговые формы интерфейса системы поддержки принятия решений. **Выводы**: применение предложенного метода и системы поддержки принятия решений на этапе планирования инвестиционного проекта позволит принимать обоснованные решения по выбору способа инвестирования в зависимости от основных факторов проекта и объекта инвестирования.

Ключевые слова: инвестиционный проект; принятие решений; способы финансирования; выбор варианта; интерфейс.

О. Ф. Кришан, О. М. Бондарець, Д. О. Лебедева, Л. І. Чигова

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ТА МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ОПОДАТКУВАННЯ
КОМЕРЦІЙНИХ БАНКІВ У СУЧАСНИХ УМОВАХ**

Предметом дослідження в статті є оптимізація оподаткування комерційних банків. **Мета** роботи полягає у виявленні напрямків та розробка методу оптимізації оподаткування комерційних банків на основі теоретичної бази. В статті вирішуються наступні **завдання**: формування системи принципів та критеріїв оптимізації оподаткування комерційних банків, розробка системи показників, що використовуються для виявлення рівня оптимізації оподаткування, визначення етапів, методів та видів оптимізації оподаткування комерційних банків. Використовуються такі **методи**: загальні наукові, аналіз, структурування та класифікація основних складових системи оптимізації оподаткування. Отримано наступні **результати**: розроблено метод оптимізації оподаткування комерційних банків в сучасних умовах, а саме: сформована система принципів, критеріїв, показників, етапів, методів та видів оптимізації оподаткування. Запропоновано авторське трактування поняття "оптимізація оподаткування", сформульоване за підсумками комплексного аналізу наявних на сьогоднішній день поглядів та підходів до розуміння його сутності та необхідних уточнень, обумовлених складанням практики податкових правовідносин. В запропонованих формулюваннях вперше об'єднані та конкретизовані етапи податкового процесу, альтернативні варіанти суб'єкта складу, а також відображено взаємозв'язок між податком та оптимізацією оподаткування з різними стадіями податкових правовідносин. **Висновки**: розкриття питання методології оптимізації оподаткування комерційних банків стане теоретичним підґрунтям для реалізації економічних цілей учасників податкових відносин: держави у забезпеченні збільшення дохідної частини бюджету за рахунок податків та економічних суб'єктів у вигляді платників податків – комерційними банками у забезпеченні мінімізації витрат. Наявність власного відокремленого змісту, принципів реалізації, елементів, методів проведення, багатокритеріальної класифікації різновидів та інших характеристик в оптимізації оподаткування дозволяє виділити останній у самостійну галузь наукового знання, що, в свою чергу, забезпечить певний інтерес у учасників податкових відносин до даного напрямку з метою проведення різних досліджень.

Ключові слова: оподаткування; оптимізація оподаткування; методологія; етапи оптимізації; критерії оптимізації.

Вступ

З моменту переходу до ринкової економіки почала формуватися національна податкова система України. З тих пір пройшло достатньо часу для побудови базису відносин у даній області: були закладені основні поняття, що застосовуються в контексті податкової сфери; сформоване уявлення учасників податкових правовідносин про їхні права та обов'язки, налагоджені організаційні процеси наповнення бюджету податковими доходами тощо. Звісно ж цілком закономірним бажання учасників будь-якого процесу (і оподаткування в тому числі) після "налагодження" механізму взаємодії оптимізувати його. Тому в якості першої причини високого ступеня актуальності питань оптимізації оподаткування слід назвати закономірність розвитку національної податкової системи України.

При введенні до практичного обороту будь-якого інституту або категорії необхідно, щоб поряд з чітко сформульованим визначенням була логічно вибудована система допоміжних елементів, що дозволить дозволяти відокремити той чи інший термін від повноцінної області наукового знання. До складових такого роду слід віднести принципи, сукупність підстав для класифікації видів досліджуваного процесу або предмета, його складові елементи, критерії та (або) характеристики, притаманні предмету розгляду тощо.

Аналогічний підхід можна застосувати і по відношенню до оптимізації оподаткування. Стосовно до неї в цілому і оптимізації оподаткування комерційних банків зокрема, в якості найбільш коректного трактування поняття "оптимізація

оподаткування комерційних банків" [1–6] доцільно побудувати найбільш наочну систему оптимізації оподаткування.

Зважаючи на відсутність однакового підходу до визначення сутності оптимізації оподаткування, а також в силу складності конструкції об'єкта дослідження, на який впливає і універсальність оптимізації, і наявність різноспрямованих думок фахівців, створення теоретичної бази оптимізації оподаткування комерційних банків представляє самостійний напрям для дослідження.

**Принципи та критерії оптимізації оподаткування
комерційних банків**

Основним фактором, що породжує неоднозначне розуміння оптимізації оподаткування, безумовно є відсутність узгодженості у розумінні суті цього процесу і офіційно закріпленого визначення. У даний час вже приймаються спроби вивести і впровадити в практичний оборот універсальний підхід до даного поняття, в тому числі і з урахуванням галузевої специфіки. Однак, не менш важливим є дослідження принципів та методів оптимізації, що включало б:

- принципи, на яких базується те чи інше явище, оскільки саме вони зумовлюють природу і характер "поведінки" процесу при його практичній реалізації;
- критерії, яким повинен відповідати сам процес і результат, на який він спрямований;
- етапи, що відображають ту чи іншу частину загального змісту процесу;
- елементи процесу і його місце в загальній системі поглядів у даній області господарської діяльності.

Говорячи про склад принципів, на яких базується оптимізація оподаткування, необхідно відзначити, що він буде обумовлений сукупністю принципів оподаткування, принципів оптимізації, а також принципів, які можна застосувати виключно при оптимізації оподаткування, оскільки принципи оподаткування і оптимізації не у всіх випадках можуть бути застосовні по відношенню один до одного в повному обсязі, внаслідок чого виникає необхідність формулювання окремого переліку.

Існує позиція, згідно з якою "на сучасному етапі принципи оподаткування – це, по суті, основні і керівні ідеї, провідні положення, що визначають початок здійснення податкових відносин, що являють собою, з одного боку, систему координат, в рамках якої розвивається українська податкова система, а з іншого боку, вектор, що визначає напрямок розвитку оподаткування" [7].

З огляду на універсальність природи оптимізації, принципи, на основі яких вона реалізується, також будуть носити досить загальний характер. Систематичний аналіз наведених в літературі визначень оптимізації, дозволяє виділити наступні

принципи, які необхідно враховувати при розробці принципів оптимізації оподаткування, а саме:

обов'язкова наявність одного або декількох об'єктів, які оптимізуються та мають різні параметри і характеристики в кількісному і якісному вираженні;

обов'язкова зміна або параметра об'єкта, або його самого в ході реалізації оптимізаційних заходів задля досягнення цілей, які є найбільш сприятливими для одного або декількох суб'єктів оптимізації.

Оскільки на поточний момент в літературі поняття "оптимізація оподаткування", "оптимізація податкових платежів" і "податкової оптимізації" ототожнюються окремими авторами [1–10], для повноти побудови системи принципів оптимізації оподаткування також було проведено аналіз можливості урахування принципів, які виділяють деякі автори щодо зазначених процесів. Поєднуючи два блоки принципів (принципів оподаткування і принципів оптимізації), а також результати розгляду принципів інших процесів даної області дослідження, отримуємо принципи, на яких, будується процес оптимізації оподаткування (табл. 1).

Таблиця 1. Система принципів оптимізації оподаткування

Принципи оподаткування	Принципи оптимізації	Принципи податкової оптимізації, мінімізації податкових платежів, оптимізації оподаткування
1. Принцип законності оподаткування 2. Принцип загальності та рівності 3. Принцип справедливості 4. Принцип економічного обґрунтування податків і зборів 5. Принцип презумпції тлумачення на користь платника податків (платника зборів) всіх непереборних сумнівів, протиріч і неясностей актів законодавства про податки і збори 6. Принцип визначеності податкового обов'язку 7. Принцип єдності економічного простору України та єдності податкової політики	1. Обов'язкова наявність одного або декількох об'єктів оптимізації, яким властивий якийсь параметр; 2. Обов'язкова зміна або параметра об'єкта, або самого об'єкта; 3. Зміна, що проводиться в рамках оптимізації, спрямоване на досягнення певних цілей, які є найбільш сприятливими для одного або декількох суб'єктів оптимізації.	1. Принцип адекватності витрат 2. Принцип юридичної відповідності 3. Принцип підконтрольності 4. Принцип розумності та економічної обґрунтованості 5. Облік політичних аспектів 6. Принцип оптимальної кількості учасників 7. Документальне оформлення
1. Принцип законності 2. Принцип загальності та рівності 3. Принцип справедливості 4. Принцип підконтрольності 5. Документальне оформлення 6. Принцип розумності та економічної обґрунтованості 7. Урахування політичних аспектів 8. Принцип багатосуб'єктності 9. Принцип зміни параметра об'єкта або самого об'єкта		

При формулюванні сутності оптимізації, незалежно від сфери та процесу, що підлягає цій процедурі, низка дослідників визначає наступне положення: в результаті її проведення процес (у даному випадку оподаткування комерційних банків), його показники (рівень податкового навантаження, збирання, обсяг податкових доходів бюджетів тощо [8]) або їх співвідношення повинні стати оптимальними.

Наприклад, "оптимізація структури капіталу – процес визначення співвідношення використання

власного і позикового капіталу, при якому забезпечуються оптимальні пропорції між рівнем рентабельності власного капіталу та рівнем фінансової стійкості, тобто максимізується ринкова вартість підприємства [9]". При цьому чітких граней оптимальності в науковій літературі на поточний момент не виділено.

Стосовно до оптимізації оподаткування комерційних банків, необхідно, в першу чергу вказати, що критерії повинні будуватися на ступені реалізації цілей, які переслідують суб'єкти

оптимізації. При оптимізації оподаткування "з одного боку, держава прагне збільшити дохідну частину бюджету для виконання своїх соціальних функцій, з іншого – економічні суб'єкти, що знаходяться в умовах жорсткої конкуренції і боротьби за виживання, зацікавлені в максимальному скороченні своїх витрат [10]".

Тобто, у суб'єктів оптимізації оподаткування цілі будуть переважно різноспрямованими. Хоча, в частині прагнення держави збільшити податкові доходи бюджету, необхідно обумовити факт відсутності всебічного прагнення по максимізації податкових доходів через наступне:

Вилучити до бюджетів бюджетної системи у формі податків все ресурси комерційних банків недоцільно, оскільки державі необхідна діюча банківська система, у якій у наявності після оподаткування повинні залишатися ресурси для функціонування в перспективі;

Якщо звузити сферу оподаткування та розглядати процес сплати податків виключно у вигляді грошового потоку, то в обороті фінансового сектора повинна залишатися певна грошова маса, як регулятор економічних процесів.

Таким чином, під виконанням основного критерію оптимізації оподаткування комерційних банків слід розуміти ситуацію, при якій встановлено баланс між показниками величин податкових доходів

(зобов'язань), що дозволяють з одного боку задовольнити інтереси держави в ресурсах, необхідних для реалізації функцій і завдань, покладених на нього, а з іншого – будуть мінімальними законно обчисленими і сплаченими платниками податків-комерційними банками. При цьому під податковими доходами (зобов'язаннями) будуть матися на увазі фінансові потоки від платників податків до бюджетів бюджетної системи, які відібрають виконання ними податкового обов'язку (для платників податків ці суми будуть зобов'язаннями, а для держави – податковими доходами).

На окрему увагу заслуговує вказівка на законність оптимізації оподаткування. Передумови оптимізації оподаткування "спочатку закладені в податковому законодавстві, що передбачає можливість застосування різних схем оподаткування для одних і тих же об'єктів, а також різних режимів оподаткування для одного і того ж суб'єкта [10]". Крім цього легітимну природу оптимізації підтримує низка авторів [11–13].

Однак, використання одного критерію оптимальності є недостатнім. Оскільки зв'язок оподаткування та фіскальної функції податків є очевидним, орієнтування на оптимальні значення показників, що відображають реалізацію фіскальної функції податкової системи, є допустимим критерієм оптимальності оподаткування (табл. 2).

Таблиця 2. Система показників, що використовуються для виявлення рівня оптимальності оподаткування комерційних банків з позиції платників податків шляхом аналізу їх еластичності

№ з/п	Найменування вихідних показників, що застосовуються для розрахунку	Напрямок аналізу оптимальності оподаткування
1	Податкове навантаження, величина виручки майбутнього періоду	Взаємозалежність між цими двома показниками допоможе виявити "силу" податкового регулювання щодо результатів банківської діяльності
2	Податкове навантаження, величина довгострокових вкладень	Аналіз характеру залежності між двома даними дозволить об'єктивно оцінити реалізацію регулюючої функції щодо банківського сектора
3	Податкове навантаження, прибуток майбутнього періоду	Розгляд податкового навантаження і показників майбутніх періодів діяльності комерційних банків дозволить виявити тенденції встановлення оптимальності оподаткування на найближчу перспективу
4	Податкове навантаження, обсяг виданих кредитів у майбутньому періоді	

При цьому оптимальними будуть значення і співвідношення, зафіксовані у момент встановлення базового критерію – балансу між інтересами держави і банків – платників податків.

Етапи, елементи і методи оптимізації оподаткування комерційних банків

Оптимізацію оподаткування комерційних банків, як і будь-який процес, можна представити як послідовну реалізацію підпроцесів, що реалізуються по черзі й називаються етапами. Якщо уявити оптимізацію оподаткування у вигляді постановки задачі, то "процес знаходження оптимального рішення, як правило, складається з чотирьох етапів: формулювання проблеми, побудови моделі, знаходження оптимального модельного рішення, перевірки адекватності моделі [14]". Накладаючи на даний розподіл зміст "оптимізація

оподаткування", яке взято за основу у даній роботі, етапи будуть викладені у наступному вигляді:

- визначення факторів, що порушують рівновагу основного критерію оптимальності оподаткування;
- пошук і розробка заходів, реалізація яких відновить рівновагу;
- побудова та перевірка системи моделей поведінки учасників оптимізації оподаткування;
- нівелювання виявлених на теоретичному рівні перевірки недоліків та прогалин сформованого переліку заходів по відновленню оптимізації оподаткування;
- реалізація оптимізаційних заходів;
- збір даних та аналіз результатів здійснених заходів, і їх подальша коректування (при наявності необхідності) для більш ефективної реалізації поставленої задачі.

На підставі комплексного аналізу сутності оптимізації оподаткування, принципів, на яких

базується даний процес, можна виділити наступні співвідношення і склади елементів оптимізації оподаткування:

- один оптимізується і один оптимізує елемент;
- один оптимізується і кілька оптимізують елемент;
- кілька оптимізуються і один оптимізує елемент;
- кілька оптимізуються і кілька оптимізують елемент.

Наявність тієї чи іншої з представлених комбінацій буде залежати від обсягу і складу параметрів оптимальності та їх критеріїв, які будуть розглядатися в кожному конкретному випадку виходячи з поставлених задач.

Поряд з елементами в систему оптимізації оподаткування входять і методи оптимізації оподаткування у даному аспекті особливо важливим є той факт, що методи оптимізації оподаткування багато в чому схожі з методами оптимізації інших процесів. Тому при формуванні теоретичної бази в цій частині більшу частину методів можна запозичити з інших областей. Наприклад, при оптимізації загальної потреби в капіталі застосовуються балансовий метод і метод аналогій [9].

Перший зі згаданих може бути застосований до оподаткування на увазі базового критерію оптимальності, що складається в балансі інтересів, а метод аналогій з певними поправками, може бути застосований на аналізі оподаткування як інших сфер господарської діяльності, так і при розгляді тієї ж категорії платників податків, але на території іншої держави.

Широкого поширення також отримали математичні методи і моделювання: методи теорії графів, лінійне програмування, нелінійне програмування, динамічне програмування, методи теорії ігор, методи теорії статистичних рішень, мережеве планування і управління, системи масового обслуговування та інші [15]. Більш того, всередині кожного методу можливо велике кількості варіацій в залежності від конкретного способу оптимізації [6], а для ілюстрації і підтвердження придатності моделювання при оптимізації процесу оподаткування можна привести модель, запропоновану у [16].

Таке різноманіття інструментарію, а також наявність власних принципів і критеріїв оптимізації оподаткування, дозволяє виділити оптимізацію оподаткування комерційних банків у самостійний елемент загальнооекономічної системи оптимізації.

Оптимізація має багатосторонній характер і тому може бути проведена по відношенню до процесів у різних галузях економіки та інших сферах. Крім того, оподаткування передбачає складну багатокомпонентну класифікацію видів, зважаючи на різноманіття підходів до систематизації податків. При взаємодії між собою обидва ці тези призводять до утворення великої кількості критеріїв, за якими можна класифікувати оптимізацію оподаткування. Наведемо деякі з них:

- за суб'єктом оптимізації (проводиться платниками податків, державою, податковими органами);
- за сферою проведення (оптимізація оподаткування банків, страхових організацій, промислових підприємств тощо);
- за кількістю критеріїв оптимізації (однокритеріальна і багатокритеріальна [15]);
- за часовим інтервалом (статична і динамічна оптимізація [17]);
- за постановкою задачі (умовна і безумовна оптимізація [18]);
- за етапами оподаткування, які підлягають оптимізації, та їх кількості;
- за тривалістю проведення;
- за охопленням податків, що сплачуються комерційними банками;
- за змістом (кількісний та якісний);
- за категоріями банків (форма власності, організаційно-правова форма, пріоритетний напрямок кредитування тощо).

Якщо розглядати оптимізацію оподаткування як постановку задачі, то процес знаходження оптимального рішення, як правило, складається з чотирьох етапів: формулювання проблеми, побудови моделі, знаходження оптимального модельного рішення, перевірки адекватності моделі.

При поєднанні даного підходу, властивого оптимізації, з змістом оптимізації оподаткування, етапи будуть перетворені в такий вигляд:

1. Визначення факторів, дестабілізуючих рівновагу основного критерію оптимальності оподаткування;
2. Формування переліку заходів проведення яких сприятиме відновленню рівноваги;
3. Побудова та перевірка системи моделей поведінки учасників під час проведення оптимізації оподаткування;
4. Усунення виявлених на теоретичному рівні перевірки недоліків сформованого переліку заходів по відновленню оптимізації оподаткування;
5. Проведення комплексу заходів по оптимізації оподаткування;
6. Аналіз результатів проведених заходів та їх подальша коректування (при необхідності) для більш вірною реалізації поставленого завдання.

Варто відзначити, що відсутність єдиних поглядів на етапи оптимізації оподаткування є наслідком неоднозначних поглядів на зміст оподаткування в частині включення до нього крім сплати процесу обчислення податків та інших підпроцесів. Однак, щодо перших етапів, з відповідними поправками на утримання, а також в силу універсальності оптимізації в літературі можна зустріти схожі думки: "Перш ніж вирішувати задачу оптимізації, необхідно визначити види ризиків в кожному конкретному випадку, виділити серед них основні і формалізувати їх" [19].

Висновки

Резюмуючи все вищесказане, а також підсумовуючи системний аналіз сутності оптимізації оподаткування та його теоретичної бази, можна визначити наступні положення:

У даний час ні в наукових колах, ні на законодавчому рівні не вироблено однаковий підхід до розуміння сутності оптимізації оподаткування, яка часто ототожнюється з податковою оптимізацією та мінімізацією податкових платежів. Це обумовлено як об'єктивними, так і суб'єктивними факторами;

Різноманіття інструментарію, а також наявність власних принципів і критеріїв оптимізації оподаткування, дозволяє виділити оптимізацію оподаткування комерційних банків в самостійний елемент загальнооекономічної системи оптимізації.

Під основним критерієм оптимізації оподаткування комерційних банків доцільно розуміти встановлення балансу між показниками величин податкових доходів (зобов'язань), які з одного боку дозволяють задовольнити потребу держави в ресурсах, необхідних для реалізації функцій, покладених на нього, а з іншого будуть мінімальними, законно обчисленими і сплаченими комерційними банками.

Склад принципів оптимізації оподаткування комерційних банків буде визначено як сукупність принципів оподаткування, принципів оптимізації, а також принципів, які можна виявити тільки щодо оптимізації оподаткування, оскільки принципи двох складових не у всіх випадках можуть бути застосовні один до одного в повному обсязі, внаслідок чого виникає необхідність формулювання нових принципів.

Законодавче закріплення підходів до визначення оптимізації оподаткування найбільш принципово для захисту податкових інтересів сторін податкових правовідносин, в тому числі в разі відстоювання податкових інтересів в судовому порядку. Незважаючи на появу пропозицій офіційного закріплення оптимізації оподаткування кілька років тому, актуальність даного напрямку не втрачено і на сьогоднішній день.

Таким чином, можна сказати, що наявність власного відокремленого змісту, принципів реалізації, елементів, методів проведення, багатокритеріальної класифікації різновидів та інших характеристик в оптимізації оподаткування дозволяє виділити останній у самостійну галузь наукового знання, що, в свою чергу, забезпечить певний інтерес у учасників податкових відносин до даного напрямку з метою проведення різних досліджень.

Список літератури

1. Konvisarova E. V., Stihljas I. V., Koren A. V., Kuzmicheva I. A., Danilovskih T. E. Principles of Profit Taxation of Commercial Banks in Russia and Abroad. *International Journal of Economics and Financial*. 2016. No. 6 (S8). P. 189–192.
2. Goolsbee A. The impact of the corporate income tax: evidence from state organizational form data. *Journal of Public Economics*. 2004. Vol. 88. P. 2283–2299.
3. Chaudhry S. M., Mullineux A., Agarwal N. Balancing the regulation and taxation of banking. *International Review of Financial Analysis*. 2015. Vol. 42. P. 38–52.
4. Casey K. M., Dickens R. N. The effects of tax and regulatory changes on commercial bank dividend policy. *The Quarterly Review of Economics and Finance*. 2000. Vol. 40. Issue 2. P. 279–293.
5. Gropp R., Heider F. The Determinants of Bank Capital Structure. *Review of Finance*. 2010. Vol. 17. P. 1947–1988.
6. Brei M., Gambacorta L., von Peter G. Rescue Packages and Bank Lending. *Journal of Banking and Finance*. 2013. Vol. 37. P. 490–505.
7. Пашкурова Н. П. Оподаткування прибутку комерційних банків: тенденції та проблемні аспекти. *Economics and Management (EM-2011)*. 24–26 November, 2011. P. 254–255.
8. Зглюй Т. В. Налоговая эффективность как составляющая модернизации экономики. *Научові записки. Серія "Економіка"*. 2013. Вип. 23. С. 158–162.
9. Бушмин А. Взаимосвязь показателей экономической эффективности компании с показателями налогообложения. *Финансовый менеджмент*. 2008. № 3. С. 34–36.
10. Savina P. Determining the impact of taxation on corporate financial decision-making. *Reflets et perspectives de la vie économique*. 2012. 2012/3 (Tome LI). P. 161–170.
11. Шальнева Н. С. Налоговая нагрузка: способы ее определения и возможности оптимизации. *Международный бухгалтерский учет*. 2011. № 44 (194). С. 52–59.
12. Nieuwenhuis A. J. State and religion, a multidimensional relationship: Some comparative law remarks. *International Journal of Constitutional Law*. 2012. Vol. 10. Issue 1. P. 153–174.
13. Церенов Б. В. Оптимизация налогообложения и уклонение от уплаты налогов: правовая грань. *Налоги*. 2006. № 23. С. 11.
14. Mohajan H. Optimization Models in Mathematical Economics. *Journal of Scientific Achievements*. 2017. Vol. 2. Issue 5. P. 30–42.
15. Baxley J. Optimization Methods in Economics. Wake Forest University. 2015. 61 p.
16. Luptacik M. Mathematical Optimization and Economic Analysis. *AUCO Czech Economic Review*. 2009. Vol. 4. No. 2. P. 224–229.
17. Pintarič Z. N. Kravanja Z. Selection of the Economic Objective Function for the Optimization of Process Flow Sheets. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2006. Vol. 45 (12). P. 4222–4232.
18. Schmedders K. Numerical optimization methods in economics. *The new Palgrave dictionary of economics*. 2008. Ed. 2. P. 4647–4666.
19. Митякова О. И. Оптимизация денежных потоков как инструмент антикризисного управления предприятием. *Финансы и кредит*. 2005. № 30. С. 45–49.

References

1. Konvisarova, E. V., Stihljias, I. V., Koren, A. V., Kuzmicheva, I. A., Danilovskih, T. E. (2016), "Principles of Profit Taxation of Commercial Banks in Russia and Abroad", *International Journal of Economics and Financial Issues*, No. 6 (S8), P. 189–192.
2. Goolsbee, A. (2004), "The impact of the corporate income tax: evidence from state organizational form data", *Journal of Public Economics*, Vol. 88, P. 2283–2299.
3. Chaudhry, S. M., Mullineux, A. Agarwal, N. (2015), "Balancing the regulation and taxation of banking", *International Review of Financial Analysis*, Vol. 42, P. 38–52.
4. Casey, K. M., Dickens, R. N. (2000), "The effects of tax and regulatory changes on commercial bank dividend policy", *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Vol. 40, Issue 2, P. 279–293.
5. Gropp, R., Heider, F. (2010), "The Determinants of Bank Capital Structure", *Review of Finance*, Vol. 17, P. 1947–1988.
6. Brei, M., Gambacorta, L., von Peter, G. (2013), "Rescue Packages and Bank Lending", *Journal of Banking and Finance*, Vol. 37, P. 490–505.
7. Pashkurova, N. P. (2011), "Taxation of the profit of commercial banks: trends and problem aspects" ["Opodatkuvannya pributku komertsyynih bankiv: tendentsiyi ta problemni aspekti"], *Economics and Management (EM-2011)*, 24–26 November, 2011, P. 254–255.
8. Zglyuy, T. V. (2013), "Tax efficiency as a component of economic modernization" ["Nalogovaya effektivnost kak sostavlyayushaya modernizatsii ekonomiki"], *Proceedings. Economics series*, No. 23, P. 158–162.
9. Bushmin, A. (2008), "Interrelation of the indicators of economic efficiency of the company with the indicators of taxation" ["Vzaimosvyaz pokazateley ekonomicheskoy effektivnosti kompanii s pokazatelyami nalogooblozheniya"], *Financial management*, No. 3, P. 34–36.
10. Savina, P. (2012), "Determining the impact of taxation on corporate financial decision-making", *Reflets et perspectives de la vie économique*, 2012/3 (Tome LI), P. 161–170.
11. Shalнева, N. S. (2011), "Tax burden: how to determine it and the possibility of optimization" ["Nalogovaya nagruzka: sposobyi ee opredeleniya i vozmozhnosti optimizatsii"], *International Accounting*, No. 44 (194), P. 52–59.
12. Nieuwenhuis, A. J. (2012), "State and religion, a multidimensional relationship: Some comparative law remarks", *International Journal of Constitutional Law*, Vol. 10, Issue 1, P. 153–174.
13. Tserenov, B. V. (2006), "Tax Optimization and Tax Evasion: Legal Edge" ["Optimizatsiya nalogooblozheniya i uklozenie ot uplaty nalogov: pravovaya gran"], *Taxes*, No. 23, P. 11.
14. Mohajan, H. (2017), "Optimization Models in Mathematical Economics", *Journal of Scientific Achievements*, Vol. 2, Issue 5, P. 30–42.
15. Baxley, J. (2015), *Optimization Methods in Economics*, Wake Forest University, 61 p.
16. Luptacik, M. (2009), "Mathematical Optimization and Economic Analysis", *AUCO Czech Economic Review*, Vol. 4, No. 2, P. 224–229.
17. Pintarič, Z. N. Kravanja, Z. (2006), "Selection of the Economic Objective Function for the Optimization of Process Flow Sheets", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 45 (12), P. 4222–4232.
18. Schmedders, K. (2008), "Numerical optimization methods in economics", *The new Palgrave dictionary of economics*, Ed. 2, P. 4647–4666.
19. Mityakova, O. I. (2005), "Optimization of cash flows as a tool for crisis management of an enterprise" ["Optimizatsiya denezhnyh potokov kak instrument antikrizisnogo upravleniya predpriatiem"], *Finance and credit*, No. 30, P. 45–49.

Надійшла (Received) 01.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кришан Олексій Федорович – кандидат економічних наук, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, декан факультету авіаційного транспорту, електроенергетики і управління, викладач кафедри управління і адміністрування, Кременчук, Україна; e-mail: avia.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2967-0126>.

Крышан Алексей Федорович – кандидат экономических наук, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, декан факультета авиационного транспорта, электроэнергетики и управления, преподаватель кафедры управления и администрирования, Кременчуг, Украина.

Kryshan Olexii – PhD (Economics Sciences), Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Dean of Faculty of Aviation Transport, Electricity and Management, Teacher at the Department of Management and Administration, Kremenchuk, Ukraine.

Бондарець Олена Миколаївна – Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, викладач кафедри управління і адміністрування, Кременчук, Україна; e-mail: avia.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5294-0155>.

Бондарец Елена Николаевна – Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, преподаватель кафедры управления и администрирования, Кременчуг, Украина.

Bondarets Elena – Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Teacher of the department of management and administration, Kremenchuk, Ukraine.

Лебедєва Дар'я Олександрівна – Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, викладач циклової комісії загальноекономічних дисциплін, Кременчук, Україна; e-mail: zed.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8900-4160>.

Лебедева Дарья Александровна – Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, преподаватель цикловой комиссии общеэкономических дисциплин, Кременчуг, Украина.

Liebidieva Daria – Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Teacher at the Department of General Economic Disciplines, Kremenchuk, Ukraine.

Чиждова Людмила Іванівна – Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, голова циклової комісії української та іноземної мов, Кременчук, Україна; e-mail: uim.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4105-1520>.

Чиждова Людмила Ивановна – Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, председатель цикловой комиссии украинского и иностранного языков, Кременчуг, Украина.

Chyzhova Liudmyla – Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Teacher at the Department of Ukrainian and Foreign Languages, Kremenchuk, Ukraine.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ И МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ КОММЕРЧЕСКИХ БАНКОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Предметом исследования в статье является оптимизация налогообложения коммерческих банков. **Цель** работы заключается в выявлении направлений и разработка метода оптимизации налогообложения коммерческих банков на основе теоретической базы. В статье решаются следующие **задачи**: формирование системы принципов и критериев оптимизации налогообложения коммерческих банков, разработка системы показателей, используемых для выявления уровня оптимизации налогообложения, определения этапов, методов и видов оптимизации налогообложения коммерческих банков. Используются следующие **методы**: общие научные, анализ, структурирование и классификация основных составляющих системы оптимизации налогообложения. Получены следующие **результаты**: разработан метод оптимизации налогообложения коммерческих банков в современных условиях, а именно: сформирована система принципов, критериев, показателей, этапов, методов и видов оптимизации налогообложения. Предложено авторское определение понятия "оптимизация налогообложения", сформулированное по итогам комплексного анализа имеющихся на сегодняшний день взглядов и подходов к пониманию его сущности и необходимых уточнений, обусловленных сборкой практики налоговых правоотношений. В предложенных формулировках впервые объединены и конкретизированы этапы налогового процесса, альтернативные варианты субъекта состава, а также отражено взаимосвязь между налогом и оптимизацией налогообложения с различными стадиями налоговых правоотношений. **Выводы**: раскрытие вопросы методологии оптимизации налогообложения коммерческих банков станет теоретическим основанием для реализации экономических целей участников налоговых отношений: государства в обеспечении увеличения доходной части бюджета за счет налогов и экономических субъектов в виде налогоплательщиков - коммерческими банками в обеспечении минимизации затрат. Наличие собственного обособленного содержания, принципов реализации, элементов, методов проведения, многокритериальной классификации разновидностей и других характеристик в оптимизации налогообложения позволяет выделить последний в самостоятельную отрасль научного знания, что, в свою очередь, обеспечит определенный интерес у участников налоговых отношений к данному направлению с целью проведения различных исследований.

Ключевые слова: налогообложение; оптимизация налогообложения; методология; этапы оптимизации; критерии оптимизации.

RESEARCH OF PRINCIPLES AND METHODS OF COMMERCIAL BANKS TAX MITIGATION IN THE UP-TO-DATE CONDITIONS

The **subject matter** of the article is commercial banks tax mitigation. The **goal** of the work is identifying areas and developing a method for commercial banks tax mitigation based on theoretical basis. The following tasks were solved in the **article**: systematization of principles and criteria for commercial banks tax mitigation, developing a system of indicators used to identifying the level of tax mitigation, determining the stages, methods, and types of commercial banks tax mitigation. The following **methods** used are – general scientific, analysis, structuring and classification of the main components of the tax mitigation system. The following **results** were obtained – a method for commercial banks tax mitigation in updated conditions was developed, as follows: a system of principles, criteria, indicators, stages, methods and types of tax mitigation was developed. The author's definition of the concept "tax mitigation" is formulated after a comprehensive analysis of the views and approaches currently available to understanding its essence and the necessary clarifications arising from the compilation of the practice of tax legal relations. The suggested formulations for the first time are combined and specified the stages of the tax process, alternative options for the subject of the structure, and also reflected the interconnection between tax and tax mitigation with different stages of tax legal relations. **Conclusions**: disclosure of the methodology for commercial banks tax mitigation will be the theoretical basis for realization the economic goals for the participants in tax relations: the state in ensuring an increase in the budget revenues through taxes and economic agents in the form of taxpayers – commercial banks in ensuring cost minimization. The presence of its own separate content, principles of implementation, elements, methods of carrying out, multicriteria classification of varieties and other characteristics in tax mitigation makes it possible to isolate it as an independent branch of scientific knowledge, which in one's turn will ensure a certain interest among participants in tax relations to this area in order to preform various research.

Keywords: tax; tax mitigation; methodology; stages of tax mitigation; criteria.

Д. Т. МОМОТ

ОЦІНКА РИЗИКІВ ІНВЕСТИВАННЯ НА РИНКУ АРТ-ІНДУСТРІЇ: СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ

Предметом дослідження в статті є сукупність теоретичних, методичних і практичних аспектів щодо оцінки ризиків інвестування на ринку арт-індустрії. **Мета** роботи – є систематизація теоретико-методичних підходів до оцінки ризиків інвестування на ринку арт-індустрії та обґрунтування практичних рекомендацій щодо оцінки інвестиційної привабливості об'єктів арт-інвестування для визначення оптимальної стратегії інвестування на ринку арт-індустрії. В статті вирішуються наступні **завдання**: виділено чотири основні (базові) стратегії інвестування на ринку арт-індустрії; здійснено систематизацію арт-індексів, що відображають динаміку доходності арт-ринку, здійснено оцінку цінових трендів за обраними арт-індексами доходності арт-ринку, виокремлено два типи прибутку, що генерує власність на об'єкти мистецтва: фінансові та ірраціональні (емоційні); розглянуто методи експертного оцінювання арт-об'єктів, обґрунтовано практичні рекомендації щодо оцінки інвестиційної привабливості об'єктів арт-інвестування. Використовуються такі **методи**: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення, системного та статистичного аналізу. Отримано наступні **результати**: систематизовано цінові і нецінові арт-індекси, що відображають динаміку арт-ринку та дозволяють оцінити ризики інвестиційних стратегій на ринку арт-індустрії; проаналізовано динаміку трендів арт-індексів; обґрунтовано доцільність формування інформаційно-аналітичного забезпечення оцінки інвестиційної привабливості арт-об'єктів. **Висновки**: доведено, що експертне оцінювання арт об'єкта є важливою складовою процесу ціноутворення та мінімізації ризику інвестування на ринку арт-індустрії. Узагальнено теоретичні положення та методичні підходи до оцінювання арт-індексів, що відображають динаміку доходності арт-ринку. Доведено, що застосування арт-індексів дозволяє оптимізувати інвестиційний аналіз, виконати коректну оцінку предметів мистецтва, зробити перспективну оцінку цінових трендів. За результатами аналізу трендів арт-індексів встановлено, що кореляція арт-ринку з фінансовими та товарними ринками є слабкою. Для арт-ринку характерними є такі специфічні особливості, а саме низька прозорість і ліквідність ринку; проблеми оцінки достовірності; складність аналітичної оцінки інвестиційних перспектив; отримання прибутків можливо лише у довгостроковій перспективі мінімум через 8–10 років. Зазначено, що власність на об'єкти мистецтва генерує два типи прибутку: фінансові та ірраціональні (емоційні). Запропоновано застосування системи інформаційно-аналітичного забезпечення оцінки інвестиційної привабливості арт-об'єктів, що сприятиме визначенню оптимальної інвестиційної стратегії на ринку-арт індустрії за критерієм мінімізації ризиків інвестування.

Ключові слова: ринок арт-індустрії; ризики інвестування; арт-індекси доходності арт-ринку; оцінка вартості предметів мистецтва інвестиційної якості; стратегії інвестування на ринку арт-індустрії; методи експертного оцінювання арт-об'єктів; інвестиційна привабливість об'єктів арт-інвестування; інформаційно-аналітичне забезпечення оцінки інвестиційної привабливості арт-об'єктів.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Арт-ринок є одним із найбільш ємних і динамічних світових ринків альтернативного інвестування, що характеризується специфічними рисами, які впливають на процес формування ціни на арт-об'єкти. Арт-ринок, як поліфункціональне явище, виступає регулятором взаємовідносин між художниками і публікою та синхронно виконує ряд соціальних функцій: інформаційну, посередницьку, ціноутворюючу, стимулюючу, регулюючу та соціокультурну [1].

Проблема невизначеності арт-інвестування характеризується недостатністю забезпечення процесу прийняття обґрунтованого рішення інформацією щодо здійснення інвестування на ринку арт-індустрії: учасники арт-ринку не впевнені, чи дійсно арт-об'єкти мають будь-яку художню цінність, не кажучи вже про довгострокову економічну ефективність арт-інвестування [2; 3; 4]. Асиметричний розподіл інформації щодо якості арт-об'єктів [5] або аспектів, невідомих жодній із сторін на момент складання договору купівлі-продажу, значно ускладнює прийняття обґрунтованих інвестиційних рішень на ринку арт-індустрії. При цьому зменшення невизначеності при придбанні арт-об'єктів є

практично неможливим, оскільки цінність твору мистецтва залежить переважно не від об'єктивних властивостей самого твору, а скоріше від процесу міжсуб'єктивного визнання художньої цінності [6]. Незважаючи, на це арт-ринок є спонтанно високодохідним, що обумовлює доцільність дослідження динаміки доходності арт-ринку та розробки інформаційно-аналітичного забезпечення оцінки інвестиційної привабливості арт-об'єктів для мінімізації ризиків арт-інвестування. Здійснення економічно обґрунтованого арт-інвестування може забезпечити отримання високого доходу та створити умови для успішного розміщення капіталу.

Таким чином, враховуючи, що арт-ринок є прикладом ринку "унікальних товарів" (singular goods) з високим рівнем невизначеності щодо якості і ціни арт-об'єктів [7], доцільним є систематизація теоретико-методичних підходів до оцінки ризиків арт-інвестування для формування інформаційно-аналітичного забезпечення здійснення інвестиційних стратегій на ринку арт-індустрії.

Актуальність теми дослідження визначається необхідністю попередження та нейтралізації загроз фінансово-економічної безпеки арт-інвестування шляхом застосування сучасного інструментарію оцінки ризиків інвестування для обґрунтування

інвестиційних стратегій на ринку арт-індустрії з врахуванням ризикованості зовнішнього і внутрішнього середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню інвестування на ринку арт-індустрії свої роботи присвятили такі зарубіжні вчені: В. Баумол [8], Б. Фрей і В. Поммерехне [9], Б. Фрей і Р. Кюні [10], В. Готцманн [11; 12], В. Готцманн і М. Шпігел [13], Ц. Мей і М. Мойсес [14; 15], Р. Кемпбелл [16; 17], Р. Краусль і Ц. Лі [18] та інші.

Так, В. Баумол [8] стверджує, що ціни на мистецтво є неприродними (unnatural) тобто не підпадають під класичне визначення рівноважної ціни, що обумовлено неоднорідністю і специфічністю арт об'єктів на відміну від інших товарів та цінних паперів (облігацій та акцій), які є однорідними та для яких ринки відкриваються щодня. Він робить висновок, що, як і у випадку з фінансовими ринками, рух цін на арт-ринку є непередбачуваним, і що неможливо "вибрати з будь-яким ступенем надійності поєднання дати покупки і об'єкта мистецтва, які дозволять отримати норму прибутку, що перевищує альтернативну вартість арт-інвестиції". Для підтвердження цієї пропозиції, В. Баумол обчислює ставки прибутку на картини, які були продані принаймні двічі в період 1650–1960 рр., за умови, що продажі здійснювались більш ніж через 20 років (щоб уникнути спекулятивних операцій). За результатами розрахунків він доводить, що середня реальна ставка прибутковості арт-інвестування становила 0,55 % на рік, що на 2 % нижче, ніж рівень доходності облігацій. Ця різниця, на думку В. Баумоля, може бути пов'язана з поверненням, наданим естетикою задоволення. Проте, такий результат різко контрастує з тим, що можна було спостерігати протягом останнього періоду часу. Так, наприклад, вже у 1987 р. "Іриси" Ван Гога продано за 53,9 млн. доларів, при цьому колишній власник отримав річну норму прибутку приблизно 12,5 % між 1948 та 1987 роками. Це зазначають у своєму дослідженні Н. Буленс і В. Гінзбург [19].

Б. Фрей і В. Поммерехне [9] присвятили свої дослідження визначенню фундаментальних детермінант попиту та пропозиції на арт-ринку та встановили їх особливий вплив на ціну арт об'єктів. Вони довели, що картини французьких імпресіоністів і старих майстрів в період з 1635 по 1987 рр., характеризуються високою віддачею на вкладені інвестиції. Б. Фрей і С. Кюні [10] звернули увагу на той факт, що інвестиції в мистецтво забезпечують не тільки фінансове, а й "духовне" повернення. Ц. Мей і М. Мойсес [14; 15] в своїх статтях обґрунтовують доцільність вкладення в мистецтво. Вони доводять, що інвестування в мистецтво набагато вигідніше, ніж інвестування в цінні папери. Згідно Р. Якутісом [20], віддачу від інвестицій в мистецтві важко передбачити, оскільки суттєвим є вплив модних тенденцій, але статистично ці інвестиції окупаються в дев'яти випадках з десяти.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою роботи є систематизація теоретико-методичних підходів до оцінки ризиків інвестування на ринку арт-індустрії та обґрунтування практичних рекомендацій щодо оцінки інвестиційної привабливості об'єктів арт-інвестування для реалізації стратегії інвестування на ринку арт-індустрії. Виділено чотири основні (базові) стратегії інвестування на ринку арт-індустрії; здійснено систематизацію індексів, що відображають динаміку доходності арт-ринку, зроблено оцінку цінових трендів за обраними індексами доходності арт-ринку, виокремлено два типи прибутку, що генерує власність на об'єкти мистецтва: фінансові та ірраціональні; розглянуто методи експертного оцінювання арт-об'єктів.

Матеріали та методи

Теоретико-методичною основою дослідження стали наукові праці провідних вітчизняних і зарубіжних учених-економістів, інформаційно-аналітичні матеріали, інтернет-ресурси. У ході дослідження використано такі методи: абстрактно-логічний аналіз – для теоретичного узагальнення й обґрунтування напрямів та результатів дослідження; теоретичного узагальнення – для виявлення закономірностей у тлумаченні основних понять при систематизації теоретико-методичних підходів до оцінки ризиків інвестування на ринку арт-індустрії, системного та статистичного аналізу – для аналізу та оцінювання динаміки розвитку арт-ринку.

Виклад основного матеріалу дослідження

Доцільно виділити чотири основні (базові) стратегії інвестування на ринку арт-індустрії:

- арт-інвестиції як звичайні інвестиції: основним критерієм прийняття інвестиційних рішень є впевненість інвестора в отриманні прибутку на вкладений капітал;
- колекціонування: інвестування переважно здійснюється не з метою максимізації прибутку, а для отримання задоволення;
- портфельне інвестування: створення портфелю творів мистецтва та / або портфелю компаній арт-ринку (включаючи фонди спільного інвестування);
- інвестиції в твори мистецтва, їх творців або організації арт-ринку з метою їх подальшого комерційного використання.

Усі види стратегій арт-інвестування є перспективними та потенційно високодохідними. Проте, всі вони є ризиковими, що пов'язано з невизначеністю арт-інвестування та суттєвим впливом ірраціональних факторів. Для обґрунтування доцільності здійснення арт-інвестування важливим є дослідження динаміки розвитку арт-ринку за агрегованими арт-індексами.

В даний час розроблено безліч цінних і сегментів, що дозволяють оцінити ризики нецінових арт-індексів, що відображають динаміку інвестиційних стратегій на ринку арт-індустрії як арт-ринку в цілому, так і окремих його (табл. 1.).

Таблиця 1. Основні арт-індекси, що відображають динаміку доходності арт-ринку

Індекси	Опис
Індекс повторних продажів Мея-Мозеса (The Mei-Moses World All Art Index (WAAI))	Базується на базі даних Мея-Мозеса, що постійно оновлюється та нараховує 45000 пар повторних аукціонних продажів у восьми категоріях збирання, яка розширюється щороку приблизно на 4000 пар, що збираються і аналізуються по всьому світу.
Індекс продажів предметів мистецтва (BASI – Blouin Art Sales Index)	Індекс продажів BASI – це визнаний в галузі інструмент дослідження онлайн-арт-ринку, який дозволяє колекціонерам, інвесторам, дослідникам, аналітикам та науковцям отримувати доступ до повної бази даних аукціонних цін, постійно оновлюючись за останніми та відповідними результатами аукціонних торгів. Базується на базі даних з 425 000 виконавців та 3 000 аукціонних будинків, має доступ до 9,7 мільйонів записів. Дозволяє дослідити найбільшу базу даних аукціонів для образотворчого мистецтва, дизайну, декоративних предметів, вина тощо, починаючи з 1920 року.
Індекс сучасного мистецтва (C50 – Contemporary Art Index C50), розроблений компанією Artnet	Американська компанія Artnet проводить аналіз не тільки аукціонних цін, але і галерейних продажів (що дає більш розгорнуту картину попиту і пропозиції, в порівнянні з "аукціонним" аналізом індексу Мея – Мозеса). У своїй базі Artnet має більше 11 млн. Записів аукціонних угод, починаючи з 1985 року. База даних охоплює більш 1.7 тис. аукціонних будинків і близько 330 тис. художників.
Індекс ринкової визначеності (певності) (AMC – Art Market Confidence), розроблений компанією Artprice	Французька компанія Artprice збирає дані 6.3 тис. аукціонів і веде статистику 660 тис. художників з усього світу, починаючи з 1962 року. На сайті Artprice можна також переглянути довідник цін за XVIII-XIX століття, виданий 100 років тому.
Індекс ST 5 000 (Skate's Top 5 000)	Показує поріг входження в рейтинг п'яти тисяч найдорожчих в світі робіт
Artistic Power Value Індекс	Розроблений Charlin та Cifuentes (2013 р.), базується на визначенні ціни за одиницю площі твору мистецтва (долари США на квадратний сантиметр), застосовується до двовимірних творів мистецтва. На основі індексу здійснюються порівняння робіт відібраних художників відповідно до зображення і теми твору мистецтва.
ARTIMX, розроблений компанією ARTInvestment.RU	Ці індекси розділені на три групи: ARTIMX – інтегральний показник, що характеризує динаміку відносної величини ціни умовно усередненого твору мистецтва на певний момент часу. Розрахунок індексу здійснюється за даними про результати продажів творів мистецтва на основних світових аукціонах; ARTIMXp – індекс прибутковості (profit, p) творів мистецтва – аналог індексів ARTIMX, скоригований з урахуванням інфляції цін на поточний момент часу, відносно до базового рівня за станом на 1 січня 2001 року; ARTIMXba – індекс купівельної активності (buying activity, ba), є усередненою величиною поточного співвідношення кількості проданих і кількості виставлених на продаж лотів на основних світових аукціонах, виражену у відсотках.

Методики розрахунків кожного індексу є унікальними, проте часто базуються або на статистичній обробці повторних продажів, або на зміні капіталізації аукціонного арт-ринку, або на їх комбінації.

Індекс повторних продажів Мея-Мозеса (WAAI) є найбільш відомим індикатором арт-ринку. Для оцінки фінансових показників ринку мистецтва Цзяньпін Меєм і Майклом Мозесом була зібрана база даних повторних продажів одних й тих же арт-об'єктів. Повторні продажі розглядаються як єдиний базис для порівняння співставних величин доходності у часі. У 2016 році всі права на індекс Мея-Мозеса викупив аукціонний будинок Sotheby's, який тепер повноправно користується даними та графіками доходності при продажу об'єктів мистецтва.

Зрозуміло, що аукціонні будинки, володіючи довголітньою історією продажів предметів мистецтва, мають і бази даних, і професійне чуття, і вміння вгадувати настрої публіки, і здатність маніпулювання цінами.

Проте, при застосуванні індексу Mei Moses слід враховувати такі обмеження щодо його використання:

- індекс не враховує трансакційних витрат;
- ігнорує одиничні продажі;
- арт-індекс базується тільки на даних аукціонного ринку.

Індекси групи Mei Moses розраховують дохідність за аукціонними цінами на предмети мистецтва як для світових, так і для регіональних ринків. Згідно провідному індексу Mei Moses All Art, який складається в основному з урахуванням продажів

в Лондоні і Нью-Йорку, 2011 рік приніс інвесторам в мистецтво дохід в 11 %.

За останні десять років ключовий індекс Mei Moses шість разів перевищував індекс S&P 500. Середня річна прибутковість арт-інвестора за цей період склала 7,8 % проти скромних 2,7 % для інвестора в цінні папери.

Слід констатувати, що найвигоднішими інвестиціями залишаються роботи імпресіоністів і модерністів (прибутковість досягає 14 %). Післявоєнне і сучасне мистецтво гарантує повернення вкладень до 6,4 %, тоді як роботи старих майстрів і предмети мистецтва XIX століття забезпечують зростання добробуту на 4,8 %.

Фактично, для робіт, що створені сучасними художниками та продані протягом 2016/2017 років, приріст середньорічної доходності інвестицій склав + 7,6 % протягом 8-річного періоду тримання арт-об'єкту (рис. 1).

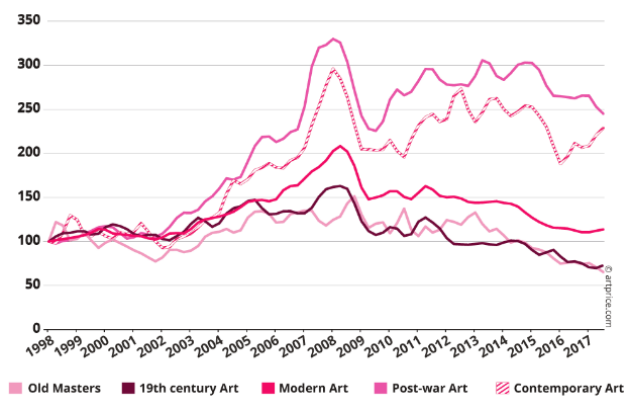


Рис. 1. Динаміка індексу зростання цін за секторами арт-ринку (База 100 % – січень 1998 року)

Таблиця 2. Ризик і кореляція інвестицій в мистецтво на різних часових інтервалах

Часовий інтервал	δ предметів мистецтва, WAAI, %	δ акцій, S&P 500, %	Кореляція WAAI и S&P 500
2002–2012	12,5	19,7	-0,07
1992–2012	10,6	18,6	+0,02
1972–2012	-	-	-0,03
1952–2012	18,5	17,6	-0,08

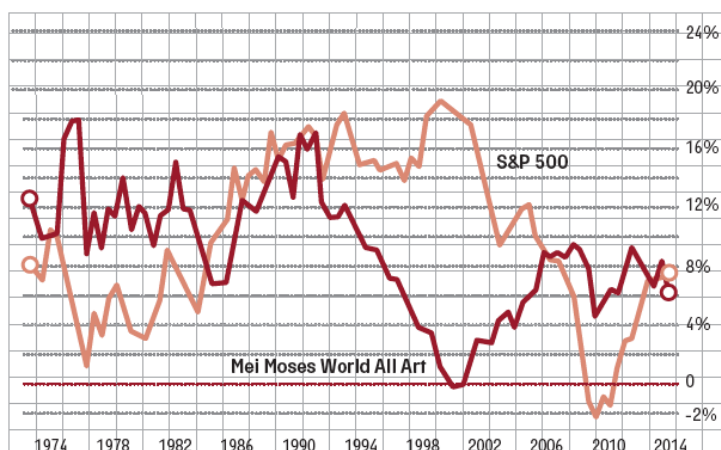


Рис. 3. Динаміка доходності індексів Mei Moses World All Art і S&P 500 за 60 років

Світовий індекс цін на мистецтво Artprice, розрахований на основі результатів всіх аукціонів в усьому світі, був нестабільним з останнього кварталу 2015 року (рис. 2).

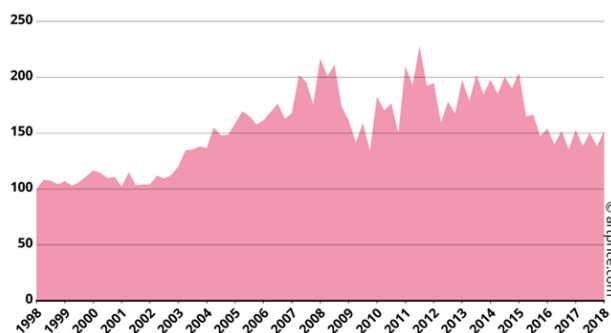


Рис. 2. Динаміка Artprice Global Price Index

2012 рік ще раз довів, що інвестиції в предмети мистецтва є гідною альтернативою (або, правильніше сказати, доповненням) традиційним видам інвестиційних активів (рис. 3, 4). Однією з головних переваг арт-ринку є його слабкий зв'язок з політичними та економічними факторами. Індекс Mei Moses All Art, що відслідковує ціни на живопис, що продається на аукціонах в Нью-Йорку і Лондоні, два роки поспіль домінує у порівнянні з американським фондовим ринком та інвестиціями в золото. Аналогічний результат спостерігається і за індексом арт-ринку Росії ARTIMX-RUS (рис. 5).



Рис. 4. Динаміка цін на золото

Динаміка індексу ARTIMXba показує, що за часовим інтервалом 2001 р. – вересень 2017 р. максимальний відсоток проданих лотів на світових аукціонах не перевищував 73 %, досягнувши максимального значення в 72,7 % у жовтні 2007 р., мінімальне значення у 59,03 % у червні 2002 року.

Станом на кінець 2017 р. значення індексу становило 46. Як видно, більше третини лотів на аукціонах не знаходять покупця, що має відобразитися при розрахунку інвестиційної привабливості, рівня ризику та при оцінці предметів мистецтва.

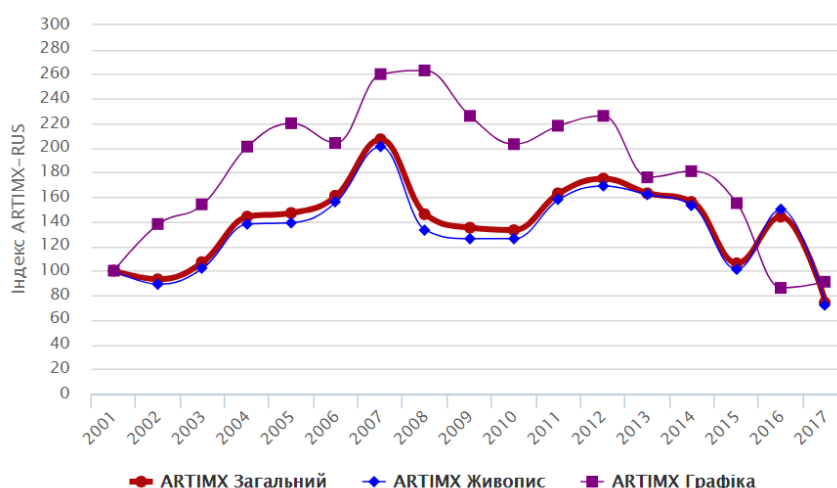


Рис. 5. Динаміка індексу ARTIMXba

Проте слід пам'ятати, що альтернативні інвестиції традиційно супроводжують великі ризики, пов'язані з їх спекулятивним характером. Низька прозорість і ліквідність ринку; проблеми оцінки достовірності; складність аналітичної оцінки інвестиційних перспектив тощо – все це фактори ризику і вони є характерними для арт-ринку. Проте, з кожним роком залишається все менше і менше скептиків в питанні доцільності інвестування в предмети мистецтва. Відповідно до сучасних тенденцій ринку, провідні інвестбанки запропонували послуги з арт-банкінгу для найбільш заможних клієнтів, і арт-фонди для менш крупних інвесторів.

Застосування арт-індексів, що відображають динаміку доходності арт-ринку дозволяють оптимізувати інвестиційний аналіз, виконати коректну оцінку предметів мистецтва, зробити перспективну оцінку цінових трендів і попередити про виникнення цінової спіралі, що веде до утворення "мильних бульбашок" на арт-ринку.

У довгостроковій перспективі результативність Artprice100 значно перевищує показник Global Trend в Artprice та американський фондовий ринок, який представлений S&P 500.

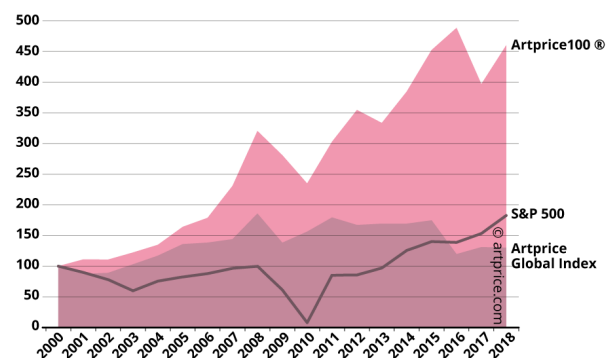


Рис. 6. Динаміка індексів Artprice100, S&P 500 (база 100 саном на 1 січня 2000 року)

Отримані результати свідчать що, кореляція арт-ринку з фінансовими та товарними ринками є слабкою. Проте, очевидною є залежність від вільної грошової маси в обігу. Ціновий потік постійно зростає – з 10 мільйонів доларів в 1980-х роках до 100 мільйонів доларів в 2000-х, до 300 мільйонів доларів у 2010-х, до 450 мільйонів доларів в 2017 р. Ріст цін у вищому сегменті стимулює не тільки неухильно зростаючі (на 7-8 % у рік) капітали HNWI (заможних людей, від англ. High-net-worth індивідууми), але й світова музейна індустрія – з 2000 по 2017 рік в світі відкрили більше музеїв, ніж за попередні 200 років. 22 % всіх зареєстрованих в базі ArtPrice транзакцій – це продажі музеям, які є покупцями значимого мистецтва, що зменшує пропозицію арт-об'єктів на арт-ринку.

Дійсно, рішення про інвестування у твір мистецтва базується на застосуванні поняття альтернативної вартості, що є основним для прийняття економічно обґрунтованих рішень. Тобто враховується, що грошові кошти, які інвестовані у конкретний предмет мистецтва, могли б бути використані для альтернативного інвестування. Альтернативою може бути інший предмет мистецтва інвестиційної якості, новий будинок або автомобіль, або інвестування в цінні папери на ринку цінних паперів.

Загалом, можна стверджувати, що власність на об'єкти мистецтва генерує два типи прибутку: фінансові та ірраціональні.

Розрахунок прибутковості арт-інвестування найбільше привертає увагу постачальників посередницьких послуг на ринку арт-індустрії (експертів арт-ринку, арт-консультантів, арт-банкінгу). Це складне завдання не тільки тому, що арт-ринок характеризується низькою ліквідністю, принаймні, порівняно з ринками цінних паперів, але також й за його різноманітність – кожен витвір мистецтва є унікальним об'єктом.

І. Реннебург і С. Спаєнієрс [21], Г. Хігс і А. Ворсінгтон [22], Р. Агнелло і Р. Пієрсе [23], Artnet Analytics [24] пропонують здійснювати розрахунки із застосуванням моделі гедонічної регресії, за якою ціна знижується, коли твори мистецтва мають певні характеристики. Побудова системи оцінювання базується на ідентифікації матеріальних і нематеріальних характеристик, які визначають вартість об'єкта мистецтва інвестиційної якості, наприклад, ім'я художника, його репутацію, матеріали, період створення, якість тощо.

Останнім часом набули поширення незалежні, раціональні і публічно відкриті підходи до оцінки шедеврів, що базуються на обробці статистичної інформації про аукціонні продажі за базами даних таких провідних компаній як: французькі компанії Artprice і Akoun, а також німецька – Artnet.

Для більшої прозорості ці компанії першими застосували до оцінки картин підхід усереднення, використовуючи показники середньої ціни і середньої

вартості квадратного сантиметра картин для тих або інших художників. Проте аналіз оцінки картин найвідоміших художників, вартість яких вимірюється мільйонами доларів США, показує, що оцінка за квадратний сантиметр полотна виявляється просто недоцільною, – картини одного учасника, написані в один і той же період, можуть відрізнятися за вартістю в кілька разів через вплив таких чинників, як провенанс (відомості про те, хто раніше володів картиною і наскільки ця інформація достовірна), сюжет і пов'язана з ним історія, наявність копій і відбитків в літературі, фізичний стан, і десятка інших причин.

Системний підхід до оцінки ринкової вартості шедеврів розроблено Kunst Asset Management GmbH і викладено в форматі моделі оцінки художніх активів (MOXA, Art Asset Pricing Model).

За цим підходом вартість картини визначається як сума різних чинників формування ціни (з яких фактор автора є однією з важливих, але далеко не єдиною детермінантою ціни), зважених на коефіцієнти значущості цих чинників. У свою чергу ці вагові коефіцієнти розраховуються на основі регресивного статистичного аналізу історичної цінової інформації по картинах, включеним до списку KunstAM Top 500 починаючи з 1985 р.

Емоційний ефект (psychic returns) включає, але не обмежуючись ними, естетичне задоволення та інші ефекти престижу та взаємодоповнюваності.

Оцінити важливість естетичного задоволення досить складно, адже краса і її роль в житті кожної людини є індивідуальною. Проте, в першу чергу, варто зрозуміти, що таке естетика в розумінні, яке відноситься саме до чуттєвого сприйняття. Це поняття, що вивчає виразні форми, які відповідають уявленню людини про прекрасне і потворне, піднесене і низьке. Художня творчість сприймається під призвою естетики, як одна з форм ідеології. Естетичне задоволення людини може отримувати при безпосередньому чуттєвому контакті з предметом мистецтва за допомогою органів почуттів. Естетичний настрій є особливим емоційним станом, притаманним людині. Він виражається в готовності задовольнити естетичні потреби.

Фінансовий ефект залежить від зміни вартості предметів мистецтва. Ціни на твори мистецтва формуються з врахуванням фактичних ринкових цін та експертного оцінювання. Взагалі, легше визначити фінансову прибутковість, ніж емоційний ефект від володіння предметами мистецтва інвестиційної якості.

У літературі з економіки мистецтва розглядаються різні підходи щодо вимірювання емоційного ефекту.

Таблиця 3. Підходи щодо вимірювання емоційного ефекту

Підхід	Автори
Для апроксимації величини емоційного ефекту від інвестування в арт-об'єкти використовується ціна оренди картин	Stein (Stein, 1977); Граєсер (Graeser, 1993); Фрей і Ейхенбергер (Frey and Eichenberger, 1995)

Розрахунок премії за ірраціональність (ціну сприйняття, IP) – це раціональний алгоритм оцінки емоційних особливостей ціноутворення на ринку предметів мистецтва, не пов'язаних з власне інвестиційними якостями арт-активу.

Компонента IP, що збільшує справедливую вартість предмета мистецтва, дозволяє визначити яку додаткову суму покупець готовий заплатити понад справедливої ціни за даний предмет мистецтва.

Намагаючись уникнути можливих помилок, експерти виконують широке коло досліджень, рухаючись у рамках таких методів оцінки:

"1) порівняльний метод дослідження – один із головних, який передбачає вивчення широкого спектра іконографічного матеріалу;

2) художній є продовженням порівняльного; передусім виявляються візуальні очевидні стилістичні ознаки твору, майстерність художника, вказуються особливості колористичної гами та інші складові мистецтвознавчого дослідження;

3) історіографічний передбачає вивчення літописів, оповідань, щоденників, листів, бібліографічного матеріалу;

4) утилітарний (структурно-функціональний) дозволяє визначити утилітарне призначення портретів, їхню функцію в суспільстві та виявити тип портрета: ктиторський, родинний, натрунний;

5) візуально-просопографічний включає просопографічне "зчитування" інформації, яка "надходить" із гербів, одягу портретованого, навколишнього антуражу та написів на портреті;

6) техніко-технологічне (фізико-хімічне, мікроскопічне та ін.) дослідження дозволяє додатково розкрити широкий спектр питань: встановити мистецьку школу, датування, підтвердження оригінальності полотна та ін." [25].

Чим вище ризик, пов'язаний з інвестуванням в твори мистецтва, тим вище премію за ризик інвестор зможе отримати в момент продажу. Тому оцінка ризику суттєво впливає на оцінку творів мистецтва на ринку арт-індустрії.

Висновки з цього дослідження

Арт-інвестування є альтернативним видом інвестиційної діяльності, що здійснюється з метою отримання грошового та негрошового прибутку у разі наявності у потенційного інвестора вільного капіталу. При чому, розраховувати на отримання прибутків можливо лише у довгостроковій перспективі мінімум через 8–10 років.

Проаналізовано динаміку доходності арт-ринку за індексами Mei Moses All Art, Artprice, ARTIMXba. За останні десять років ключовий індекс Mei Moses шість разів перевищував індекс S&P 500. Середня річна прибутковість арт-інвесторів за цей період склала 7,8 % проти скромних 2,7 % для вкладника в цінні папери. Застосування арт-індексів, що відображають динаміку доходності арт-ринку дозволяють оптимізувати інвестиційний аналіз при оцінюванні ризиків інвестування в арт-об'єкти.

Отримані результати свідчать що, кореляція арт-ринку з фінансовими та товарними ринками є слабкою. Проте, очевидною є залежність від вільної грошової маси в обігу. Ціновий потік постійно зростає – з 10 мільйонів доларів в 1980-х роках до 100 мільйонів доларів в 2000-х, до 300 мільйонів доларів у 2010-х, до 450 мільйонів доларів в 2017 р.

Зазначено, що власність на об'єкти мистецтва генерує два типи прибутку: фінансові та ірраціональні (емоційні).

Модель MOXA (Art Asset Pricing Model) базується на системному підході до оцінки ринкової вартості арт-об'єкту та дозволяє визначити вартість арт-об'єкту як суму різних чинників формування ціни, зважених на коефіцієнти значущості цих чинників. Вагові коефіцієнти розраховуються на основі регресивного статистичного аналізу історичної цінової інформації по об'єктам інвестування.

Доведено, що експертне оцінювання арт об'єкта є важливою складовою процесу ціноутворення та мінімізації ризику інвестування на ринку арт-індустрії.

Таким чином, для комплексного врахування факторів, що впливають на прийняття інвестиційних рішень на ринку арт-індустрії доцільним є формування інтегрованої системи інформаційно-аналітичного забезпечення оцінки інвестиційної привабливості арт-об'єктів. При цьому, для оцінки інвестиційної привабливості арт-об'єкта на ринку арт-індустрії доцільно враховувати такі групи критеріїв: розмір сегменту арт-ринку твору мистецтва та темпи його росту, особливості конкуренції в сегменті арт-ринку твору мистецтва; прибутковість сегмента арт-ринку твору мистецтва; привабливість комерційного використання твору мистецтва даного автора або напрямку; моду на твір мистецтва даного напрямку; рівень ринкових ризиків твору мистецтва даного автора або напрямку, враховуючи ризик знецінення.

Оцінку конкурентного статусу твору мистецтва доцільно здійснювати з врахуванням таких критеріїв: відносна доля ринку продавця твору мистецтва; рівень інформаційного забезпечення потенційних споживачів твору мистецтва; рівень розвитку маркетингових комунікацій і знання продавцем потенційної цільової аудиторії тощо.

Розробка інтегральних систем інформаційно-аналітичного забезпечення оцінки інвестиційної привабливості арт-об'єктів базується на використанні експертних процедур. При цьому, може бути застосована пряма процедура експертного оцінювання за розробленою системою критеріїв або спеціальна експертно-ієрархічна процедура, що сприятиме збільшенню достовірності експертного оцінювання. Найбільш доцільним на думку фахівців є використання методики аналізу ієрархій, що дозволяє отримати не тільки інтегральні компоненти системи оцінювання, але й дозволяє провести перевірку якості експертної процедури й експертних оцінок за кожним критерієм оцінювання інвестиційної привабливості арт-об'єкта.

Таким чином, застосування системи визначенню оптимальної інвестиційної стратегії на інформаційно-аналітичного забезпечення оцінки ринку-арт індустрії за критерієм мінімізації ризиків інвестиційної привабливості арт-об'єктів сприятиме інвестування.

Список літератури

1. Момот Т. В., Момот Д. Т. Інфраструктура ринку арт-індустрії: аналіз сучасної структури та функцій. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2018. № 2 (4). С. 34–44. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.034>.
2. Moulin, R. (1987), *The French Art Market. A Sociological View*. New Brunswick : Rutgers University Press, 227 p.
3. Janssen, S. (2001), "The empirical study of careers in literature and arts", in D. Schram and G. Steen (eds), *The Psychology and Sociology of Literature*, Amsterdam : Benjamins, P. 323–357.
4. Yorgev, T. (2010), "The social construction of quality: Status dynamics in the market for contemporary art", *Socio-Economic Review* 8, No. 3, P. 511–536.
5. Akerlof, G. A. (1970), "The market for 'lemons': quality uncertainty and the market mechanisms", *Quarterly Journal of Economics*, No. 84, P. 488–500.
6. Rossel, J. (2007), "A sthetisierung, Unsicherheit und die Entwicklung von Markten", in J. Beckert, R. Diaz-Bone and H. Ganßmann (eds), *Markte als soziale Strukturen*, Frankfurt A. M. : Campus, P. 167–181.
7. Karpik, L. (2010), *Valuing the Unique. The Economics of Singularities*, Princeton, NJ : Princeton University Press, 288 p.
8. Baumol, W. J. (1986), "Unnatural Value: or Art Investment as Floating Crap Game", *The American Economic Review*, Vol. 76, No. 2. P. 10–14.
9. Frey, B. S., Pommerehne, W. W. (1989), *Muses and Markets: Explorations in the Economics of the Arts*. Blackwell, Oxford, 219 p.
10. Frey, Bruno S; Cueni, Reto (2013), "Why invest in art?", *The economists' voice*, No. 10 (1), P. 1–6.
11. Goetzmann, William N. (1993), "Accounting for Taste: Art and Financial Markets over Three Centuries", *American Economic Review*, 83(5). P. 1370–1376.
12. Goetzmann, W. N. et. al. (2011), "Art and Money", *American Economic Review*, No. 101 (3), P. 222–226.
13. Goetzmann, W. N., Spiegel, M. (1995), "Private Value Components, and the Winner's Curse in an Art Index", *European Economic Review*, Vol. 39, P. 549–555.
14. Mei, J., Moses, M. (2002), "Art as an Investment and the Underperformance of Masterpieces", *The American Economic Review*, Vol. 92, No. 5, P. 1656–1668.
15. Mei, J., Moses, M. (2005), "Beautiful Asset: Art as Investment", *Journal of Investment Consulting*, Vol. 7, No. 2, P. 45–51.
16. Campbell, R. (2004), "The Art of Portfolio Diversification", *Maastricht University – Limburg Institute of Financial Economics*, Research Paper, No. WP05-001.
17. Campbell, R. (2008), "Art as a Financial Investment", *The Journal of Alternative Investments*. Spring, Vol. 10, No. 4, P. 64–81.
18. Kraeussl, R., Lee, J. (2010), "Art as an Investment: the Top 500 Artists", Department of Finance, VU University, Amsterdam, URL : <http://www.efmaefm.org/0EFMSYMPOSIUM/2011-Toronto/papers/Kraeussl.pdf> (last accessed 01.11.2018).
19. Buelens, N., Ginsburgh, V. (1993), "Revisiting Baumol's art as floating crap game", *European Economic Review*, Elsevier, Vol. 37 (7), P. 1351–1371.
20. Jakutis, R. (2013), "Apie kolekcijas", URL : <http://www.snaujienos.lt/naujienos/mes-tokie/30866-apie-kolekcijas> (last accessed 01.11.2018).
21. Renneboog, L., Spaenjers, C. (2011), "The Inconic Boom in Modern Russian Art", *Journal of Alternative Investments*, No. 13 (1), P. 67–80.
22. Higgs, H., Worthington, A. C. (2005), "Financial Returns and Price Determinants in the Australian Art Market, 1973-2003", *The Economic Record*, No. 81 (253), P. 113–123.
23. Agnello, R. J., Pierce, R. K. (1996), "Financial Returns, Price Determinants, and Genre Effects in American Art Investment", *Journal of Cultural Economics*, No. 20 (4), P. 359–383.
24. Artnet Analytics. "Artnet Indices White Paper", URL : <http://www.artnet.com/analytics/reports/white-paper> (last accessed 01.11.2018).
25. Походяща О. Б. До питання атрибуції історичних портретів XVII – поч. XIX ст. в музеях України. *Перші наукові читання, присвячені пам'яті професора Олександра Івановича Мінжуліна : збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції*. Київ : НАККІМ, 2014. С. 100–104.

References

1. Momot, T. V., Momot, D. T. (2018), "Art-industry market infrastructure: the analysis of modern structure and functions" ["Infrastrukturа rynku art-industrii: analiz suchasnoi struktury ta funktsii"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (4), P. 34–44. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.034>.
2. Moulin, R. (1987), *The French Art Market. A Sociological View*. New Brunswick : Rutgers University Press, 227 p.
3. Janssen, S. (2001), "The empirical study of careers in literature and arts", in D. Schram and G. Steen (eds), *The Psychology and Sociology of Literature*, Amsterdam : Benjamins. P. 323–357.
4. Yorgev, T. (2010), "The social construction of quality: Status dynamics in the market for contemporary art", *Socio-Economic Review* 8, No. 3, P. 511–536.
5. Akerlof, G. A. (1970), "The market for 'lemons': quality uncertainty and the market mechanisms", *Quarterly Journal of Economics*, No. 84, P. 488–500.
6. Rossel, J. (2007), "A sthetisierung, Unsicherheit und die Entwicklung von Markten", in J. Beckert, R. Diaz-Bone and H. Ganßmann (eds), *Markte als soziale Strukturen*, Frankfurt A. M. : Campus, P. 167–181.
7. Karpik, L. (2010), *Valuing the Unique. The Economics of Singularities*, Princeton, NJ : Princeton University Press, 288 p.

8. Baumol, W. J. (1986), "Unnatural Value: or Art Investment as Floating Crap Game", *The American Economic Review*, Vol. 76, No. 2, P. 10–14.
9. Frey, B. S., Pommerehne, W. W. (1989), *Muses and Markets: Explorations in the Economics of the Arts*. Blackwell, Oxford, 219 p.
10. Frey, Bruno S., Cueni, Reto (2013), "Why invest in art?", *The economists' voice*, No. 10 (1), P. 1–6.
11. Goetzmann, William N. (1993), "Accounting for Taste: Art and Financial Markets over Three Centuries", *American Economic Review*, No. 83 (5), P. 1370–1376.
12. Goetzmann, W. N. et. al. (2011), "Art and Money", *American Economic Review*, No. 101 (3), P. 222–226.
13. Goetzmann, W. N., Spiegel, M. (1995), "Private Value Components, and the Winner's Curse in an Art Index", *European Economic Review*, Vol. 39, P. 549–555.
14. Mei, J., Moses, M. (2002), "Art as an Investment and the Underperformance of Masterpieces", *The American Economic Review*, Vol. 92, No. 5, P. 1656–1668.
15. Mei, J., Moses, M. (2005), "Beautiful Asset: Art as Investment", *Journal of Investment Consulting*, Vol. 7, No. 2, P. 45–51.
16. Campbell, R. (2004), "The Art of Portfolio Diversification", *Maastricht University – Limburg Institute of Financial Economics*, Research Paper, No. WP05-001.
17. Campbell, R. (2008), "Art as a Financial Investment", *The Journal of Alternative Investments*. Spring, Vol. 10, No. 4, P. 64–81.
18. Kraeussl, R., Lee, J. (2010), "Art as an Investment: the Top 500 Artists", Department of Finance, VU University, Amsterdam, available at : <http://www.efmaefm.org/0EFMSYMPOSIUM/2011-Toronto/papers/Kraeussl.pdf> (last accessed 01.11.2018).
19. Buelens, N., Ginsburgh, V. (1993), "Revisiting Baumol's art as floating crap game", *European Economic Review*, Elsevier, Vol. 37 (7), P. 1351–1371.
20. Jakutis, R. (2013), "Apie kolekcijas", available at : <http://www.snaujienos.lt/naujienos/mes-tokie/30866-apie-kolekcijas> (last accessed 01.11.2018).
21. Renneboog, L., Spaenjers, C. (2011), "The Inconic Boom in Modern Russian Art", *Journal of Alternative Investments*, No. 13 (1), P. 67–80.
22. Higgs, H., Worthington, A. C. (2005), "Financial Returns and Price Determinants in the Australian Art Market, 1973-2003", *The Economic Record*, No. 81 (253), P. 113–123.
23. Agnello, R. J., Pierce, R. K. (1996), "Financial Returns, Price Determinants, and Genre Effects in American Art Investment", *Journal of Cultural Economics*, No. 20 (4), P. 359–383.
24. Artnet Analytics. "Artnet Indices White Paper", available at : <http://www.artnet.com/analytics/reports/white-paper> (last accessed 01.11.2018).
25. Pokhodiashcha, O. B. (2014), "On the issue of attribution of historical portraits XVII – beg. XIX century in museums of Ukraine" ["Do pytannya atybutsii istorichnykh portretiv XVII – poch. XIX st. v muzeiakh Ukrainy"]. Pershi naukovy chytannia, prysviacheni pamiaty profesora Oleksandra Ivanovycha Minzhulina : zbirnyk materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, Kyiv : NAKKKiM, 2014. P. 100–104.

Надійшла (Received) 20.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Момот Дарина Тарасівна – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, магістр кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; e-mail: momotdaryna@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6026-541X>.

Момот Дарина Тарасівна – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, магистр кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Momot Daryna – O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Master Student at the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

ОЦЕНКА РИСКОВ ИНВЕСТИРОВАНИЯ НА РЫНКЕ АРТ-ИНДУСТРИИ: СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ

Предметом исследования в статье является совокупность теоретических, методических и практических аспектов по оценке рисков инвестирования на рынке арт-индустрии. **Цель** работы – является систематизация теоретико-методических подходов к оценке рисков инвестирования на рынке арт-индустрии и обоснование практических рекомендаций по оценке инвестиционной привлекательности объектов арт-инвестирования для определения оптимальной стратегии инвестирования на рынке арт-индустрии. В статье решаются следующие **задачи**: выделены три основных (базовых) стратегии инвестирования на рынке арт-индустрии; осуществлена систематизация индексов, отражающих динамику доходности арт-рынка, произведена оценка ценовых трендов по выбранным индексам доходности арт-рынка, выделены два типа прибыли, генерирующие собственность на объекты искусства: финансовые и иррациональные; рассмотрены методы экспертного оценивания арт-объектов, обоснованы практические рекомендации по оценке инвестиционной привлекательности объектов арт-инвестирования. Используются следующие **методы**: абстрактно-логический анализ, теоретического обобщения, системного и статистического анализа. Получены следующие **результаты**: систематизированы ценовые и неценовые арт-индексы, отражающие динамику арт-рынка и позволяющие оценить риски инвестиционных стратегий на рынке арт-индустрии; проанализирована динамика трендов арт-индексов; обоснована целесообразность формирования информационно-аналитического обеспечения оценки инвестиционной привлекательности арт-объектов. **Выводы** доказано, что экспертная оценка арт-объекта является важной составляющей процесса ценообразования и минимизации риска инвестирования на рынке арт-индустрии. Обобщены теоретические положения и методические подходы к оценке арт-

индексов, отражающих динамику доходности арт-рынка. Доказано, что применение арт-индексов позволяет оптимизировать инвестиционный анализ, выполнить корректную оценку предметов искусства, сделать перспективную оценку ценовых трендов. По результатам анализа трендов арт-индексов установлено, что корреляция арт-рынка с финансовыми и товарными рынками является слабой. Для арт-рынка характерны такие специфические особенности, а именно низкая прозрачность и ликвидность рынка; проблемы оценки достоверности; сложность аналитической оценки инвестиционных перспектив; получение прибыли возможно лишь в долгосрочной перспективе минимум через 8–10 лет. Отмечено, что собственность на объекты искусства генерирует два типа прибыли: финансовые и иррациональные (эмоциональные). Предложено применение системы информационно-аналитического обеспечения оценки инвестиционной привлекательности арт-объектов, что будет способствовать определению оптимальной инвестиционной стратегии на рынке-арт индустрии по критерию минимизации рисков инвестирования.

Ключевые слова: рынок арт-индустрии; риски инвестирования; арт-индексы доходности арт-рынка; оценка стоимости предметов искусства инвестиционного качества; стратегии инвестирования на рынке арт-индустрии; методы экспертного оценивания арт-объектов; инвестиционная привлекательность объектов арт-инвестирования; информационно-аналитическое обеспечение оценки инвестиционной привлекательности арт-объектов.

RISK ASSESSMENT OF INVESTMENTS IN THE ART-INDUSTRY MARKET: SYSTEMATIZATION OF THEORETICAL AND METHODOLOGICAL APPROACHES

The **subject matter** of the article is the set of theoretical, methodological and practical aspects in assessing investment risks in the art industry market. The **goal of the** research is the systematization of theoretical and methodological approaches to the assessment of investment risks in the art industry market and the practical recommendations development for the investment attractiveness of art investment objects assessing in order to determine the optimal investment strategy in the art industry market. The following **tasks** were solved in the article: four basic strategies of investing in the art industry are allocated; the systematization of the art-indexes reflecting the dynamics of the profitability of the art market is done, the estimation of price trends on the selected art-indexes of the profitability of the art market is analyzed, and the two types of profit, generating ownership of objects of art: financial and irrational (emotional) are defined; the methods of expert evaluation of art objects are considered, practical recommendations on investment attractiveness of art investment objects are developed. The following **methods are used**: abstract-logical analysis, theoretical generalization, system and statistical analysis. The following **results** were obtained: the price and non-priced art-indexes that reflect the dynamics of the art market and allow assessing the risks of investment strategies in the art industry are systematized; the dynamics of trend of art-indexes is analyzed; the expediency of formation of informational and analytical support for estimating the investment attractiveness of art objects is substantiated. **Conclusions**: the expert assessment of the art object is an important part of the process of pricing and minimizing the risk of investing in the art industry market is proved. The theoretical positions and methodical approaches to the estimation of the art-indexes reflecting the dynamics of the profitability of the art market are generalized. It is proved that application of art-indexes allows to optimize investment analysis, to carry out a correct assessment of art objects, to make a perspective assessment of price trends. According to the results of the analysis of the art-indexes trends, it was found out that the correlation of the art market with the financial and commodity markets is weak. The art market is characterized by such specific features as: the low transparency and market liquidity; the problems of authenticity assessment; the complexity of analytical estimation of investment perspectives; it is possible to receive profits only in the long run, at least after 8-10 years. It is noted that ownership of objects of art generates two types of profit: financial and irrational (emotional). The application of the system of informational and analytical support for assessing the investment attractiveness of art objects is proposed, which will help to determine the optimal investment strategy in the market of art industry on the criterion of minimizing investment risks.

Keywords: art industry market; investment risks; art-indexes of the profitability of the art market; assessment of the value of art objects of investment quality; investment strategy in the art industry; methods of expert evaluation of art objects; investment attractiveness of objects of art investment; informational and analytical support for assessing the investment attractiveness of art objects.

T. MOMOT, D. TUMIETTO, R. TESLENKO

BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AS AN INNOVATIVE INSTRUMENT OF DIGITAL ECONOMY: TECHNOLOGY ESSENCE, WORLD EXPERIENCE AND IMPLEMENTATION PROBLEMS

The **subject matter** of the article is the substantiation of the problems and perspectives of the introduction of Distributed Ledger Technologies (DLT) / Blockchain in the public and private sectors as a modern digital economy instrument. **The goal of the work** is to substantiate the scientific and methodical principles of implementing the technologies of distributed DLT / Blockchain registers. The following **tasks** were solved in the article: the notion of Distributed Ledger Technologies (DLT) and Blockchain is defined; types of Distributed DLT Registries are presented in the form of a classification with a distinction of features and possibilities of application of each type; the general scheme of work is described and the specific features of the Blockchain technology are systematized; the features and directions of the use of intelligent contracts (smart contracts) based on the technology of blockchain are singled out; the international experience of government initiatives and pilot projects of the blockade technology application has been analyzed; the analysis of the domestic experience of practical application of Blockchain technologies in the public and private sectors and the perspective areas for the future application of technologies of the distributed DLT registries are identified; according to the international analytical agencies research results, the obstacles of the Blockchain technologies implementation in the public and private sectors are systematized. **The following methods are used:** abstract-logical analysis, theoretical generalization, system and statistical analysis. The following **results** were obtained. The concept of technologies of distributed DLT / Blockchain registries is disclosed. The availability of the system is based on open, private and federal DLTs. The specific features of DLT / Blockchain distributed registry technologies include centralization, involvement of a large number of participants to achieve consensus, use of cryptography and digital signatures, almost impossible to change chronological records, the convenience of tracking and verifying information, and the ability to program. The international experience of using Blockchain technology in countries such as the Great Britain, Georgia, Estonia, the USA, the United Arab Emirates, Italy has been researched. Examples of practical implementation of DLT / Blockchain registry technology in Ukraine are considered. The main obstacles to implementing distributed DLT / Blockchain registries in the public sector are regulatory restrictions and technology immaturity. The obstacles to the introduction of block technologies in the private sector are identified. **Conclusions:** It is proved that the distributed DLT registry technology has a significant potential for development for the future digital economy. Nevertheless, there are a number of barriers to their full use in the public and private sector, which requires further study by experts.

Keywords: Distributed Ledger Technologies (DLT); Types of Distributed Ledger Technologies Blockchain; Intelligent Contract; specific features of Distributed Ledger Technologies (DLT).

Introduction

Comprehensive corruption is at the same time the cause, effect and factor, accompanies an opaque society relations system with inefficient state market mechanisms and distorted conditions for doing business [1]. Moreover, any abuse of entrusted power for the sake of obtaining one's own benefit may occur not only as a result of actions of state employees, politicians and bureaucrats, but also representatives of the business environment. So, on the one hand, a company can promote its own business interests, interacting illegally with government officials, and on the other, employees of the company, as well as government officials, may be corrupt and misuse their official capacity [2]. This all leads to the formation of various unprofitable for society shadow phenomena in the economy. Effective in combating such negative manifestations are modern digital tools, one of which is new, but promising blockchain technology. Decentralized, secure, well-designed blockchain-based system can reduce costs and increase the speed of information transfer, eliminate intermediaries, ensure transparency and enable detailed tracking of business processes in the public and private sectors.

Gartner analysts [3] predict that blockchain will add more than 3 billion dollars to the business value annually. By 2030, 10 % to 20 % of global economic infrastructures will work with systems that will use blockade as a fundamental technology for business. It is expected that

by 2025, the cost of a business that will operate at the expense of blockchain will increase by more than 176 billion dollars, and by 2030 this amount will exceed 3.1 trillion dollars

According to experts from the World Economic Forum, by 2027, 10 % of world GDP will be allocated to the blockchain technology [4].

All this testifies to the urgency and the necessity of studying the essence, experience of use and problems on the way of introduction of blockchain technologies as a modern tool of the economy.

The analysis of recent literary sources

The basic concept of the blockchain technology came in 2008 and was first applied in practice in 2009 by launching bitcoin cryptographic. Since then, many studies have been devoted to this technology, including the works of A. Genkin and O. Mikheev [5], D. Tapscott and A. Tapscott [6], S. Melani [7], N. Popper [8] and others. Also worth of separate consideration are examples of the practical application of blockchain by private companies and government structures, sociological and other studies of world expert analytical organizations.

The goal and objectives

The purpose of the research is to substantiate the scientific and methodological principles of the

implementation of Distributed Ledger Technologies (DLT) / blockchain technology, which, according to international experience, enables transactions to be carried out in complete safety with the involvement of a large number of objects and without the need for intermediaries, using the mathematical apparatus and technologies to ensure mutual trust. Achievement of the set purpose has led to the solution of such problems as: the concept of technology of the distributed register DLT within the blockchain limits is considered; types of distributed DLT registries are presented in the form of a classification with a distinction of features and possibilities when applying each type; the general scheme of work is described and the specific features of the blockade technology are systematized; the features and scope of the use of intelligent contracts (smart contracts) based on the blockchain technology are singled out; the international experience of government initiatives and pilot projects using the blockchain technology are analyzed; the analysis of the domestic experience of practical application of blockchain technologies in the public and private sectors and the perspective areas for the future application of technologies of the distributed DLT registry are identified; according to research results of international analytical agencies, obstacles to the implementation of blockchain technologies in the public and private sectors are systematized.

Materials and methods

The theoretical and methodological basis for the study was scientific works and informational and analytical materials of leading domestic scientists and foreign economic scientists in the implementation of DLT / blockchain distributed registries in the public and private sectors as a modern digital economy tool. In the course of the study, the following methods were used: abstract-logical analysis – for theoretical generalization and justification of the directions and results of the study; theoretical generalization – to identify and systematize the specific features of technologies of distributed DLT / blockchain registries, highlighting the scope of application of reasonable contracts; system and statistical analysis – for the analysis of international and domestic

experience in the practical implementation of blockchain technologies in the public and private sectors.

The results of the study

The blockchain technology became widely known not immediately, but only after the popularization of bitcoin, which in turn was a response to the global financial crisis of 2008-2009. The concept of bitcoin was published by the author or, more precisely, by a group of authors under the pseudonym Satoshi Nakamoto [9] in 2008, and was first put into practice in 2009 with the first block created by launching a Bitcoin cryptocurrency.

Distributed ledger technology (DLT) is an information storage technology whose key features are sharing and synchronization of digital data in accordance with a consensus algorithm, the geographical distribution of equivalent copies at various points around the world, and the absence of a central administrator. Blockchain is a kind of distributed ledger, but not every DLT is a blockchain.

Blockchain is a distributed database technology that allows to create a digital transaction register and share them within a distributed network of devices. Through the use of cryptography, each network participant manages the registry without centralized administration. They use independent computers (nodes) to record, share, and synchronize transactions in their respective electronic ledger (registries). The blockchain organizes data into blocks that are linked to each other in add-only mode. A node in the context of a cryptocurrency and DLT as a whole are devices with software installed on them that are combined into a common network in order to jointly ensure the operation of a distributed database. The whole system is described as a "system without trust", so that all nodes must come to a consensus to confirm the correct information. Transactions in the blockchain network occur 24/7. The system allows the exchange of digital assets in real time between two unrelated participants without a central counterparty and ensures their transparency and minimizes risks. Such operations are registered in a decentralized public distributed database, allowing network users to control their transactions and data.

By accessibility system is divided into open, private, and federated DLT (Table 1).

Table 1. Types of distributed registries DLT

DLT type	Features	Opportunities after applying
<i>Open (public) DLT</i> – modern public records, based on the algorithms of consensus with open source	- anyone can join the system, for example, run a full node; - anyone in the world can send transactions through the network and wait for their inclusion in the blockade, if they are valid; - anyone can read the transaction in the block browser; - transactions are transparent but anonymous; - do not allow anyone with Internet access to participate - in the process of verifying transactions; are faster and more confidential; - mainly used in the banking sector (consensus is controlled by pre-selected nodes: for example, a consortium of 15 financial institutions, each of which holds a node, and 10 of them must sign each block)	- potentially can destroy existing business models by refusing to mediate; - lack of infrastructure costs: there is no need to maintain servers or system administrators, which drastically reduces the cost of creating and running decentralized applications (dApps)

The end of the **Table 1**

<i>Federated distributed registries, or blockchain-consortia</i> – the systems that operate under the leadership of the group	- do not allow anyone with Internet access to participate in the process of verifying transactions; - are faster and more confidential; - mainly used in the banking sector (consensus is controlled by pre-selected nodes: for example, a consortium of 15 financial institutions, each of which holds a node, and 10 of them must sign each block)	- reduces transaction costs and data abundance; - replaces obsolete systems, simplifies workflow and reduces manual labor; - complements the ecosystem, but does not destroy it
<i>Private blockchains</i> are not DLTs, since permissions are stored centrally for one organization.	- reading permissions may be public or restricted	

In today's conditions and at the current speed of digital technologies development, blockchain as an independent unit of scientific and technical progress is gradually going beyond the financial market framework and the cryptocurrency sphere.

Blockchain is a distributed database that stores

information about all transactions of participants in the system in the form of a chain of blocks. Every blockchain user has an access to the registry. They all act as a collective notary who confirms the information in the database. The general scheme of this technology is shown in fig. 1.

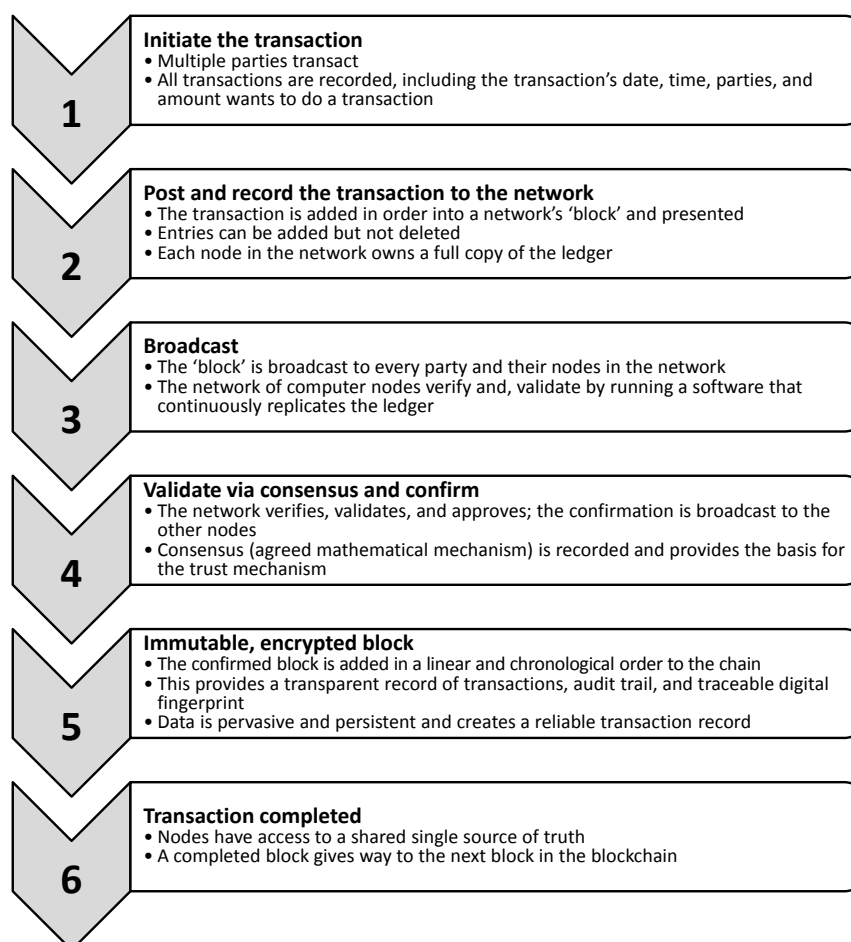


Fig. 1. The general scheme of blockchain technology work (KPMG) [10]

Thus, blockchain is characterized by the following specific features:

- the blockchain is digitally distributed among multiple computers in almost real-time mode: it is decentralized, and a copy of all records is available to all users and participants of the peer-to-peer network, which eliminates the need to have centralized authorized bodies, such as banks, as well as trust intermediaries, such as brokerage firms;

- to achieve consensus, the blockchain attracts many network participants whose computers are used to authenticate and test each new block (for example, to ensure that a single transaction does not take place several times), and new blocks are accepted by the network if most of them agree with their admissibility its members;

- the blockchain uses cryptography and digital signatures to verify identity: transactions can be traced to cryptographic identification data obtained theoretically

anonymously, but can also be attached to real identification data after a certain engineering analysis;

- the blockchain has mechanisms that make it difficult (but not impossible) to change historical records: even though the blockchain allows you to read all the data and add new ones, those records that already exist cannot theoretically be corrected, unless the embedded protocol rules allow changes (for example, if more than 50 % of network members agree on this);

- a time stamp is added to blockchain-based transactions, which makes it easy to track and verify information;

- the blockchain is programmed: the instructions embedded in the blocks allow performing transactions or other actions only under certain conditions and can be accompanied by additional digital data [11].

Smart contracts is one of the blockchain applications, which is the most attractive in the fight against corruption. A smart contract is a computer program with a predetermined and irreversible action that is automatically executed under certain conditions. This is an agreement between two parties, which is stored on the blockchain. Smart contracts allow you to automate payments and transfers of currency or other assets under the agreed terms. As soon as a condition is set in a reasonable contract, it is executed automatically and the assets (for example, cash, digital currency, ownership, data) are exchanged between the parties to the contract, after which the transaction is replicated and checked on a block chain. Smart contracts allow you to swap an asset if third parties are not aware of the transfer. This makes it possible to disintegrate the entire legal system and create a new form of virtual transactions. In fact, being code fragments that automatically perform actions under given conditions, smart contracts cannot yet be considered as regular contracts from a legal point of view. However, they can be used as evidence of a solution to a particular problem and numerous industries are exploring the potential application of such contracts. However, experts see widespread use of reasonable contracts only in the long term, because, despite certain attempts to implement them, this technology is experimental and not yet ripe for the emergence of the first market products [12; 13].

However, the blockchain has already gained popularity for working with smart contracts – Ethereum. It's a platform for creating decentralized online applications based on blockchain technology. The Ethereum distributed network based on the blockchain has all the key advantages of this technology, such as security, irremovability, protection against corruption, hacker attacks and other unauthorized actions. Therefore, besides the fact that Ethereum gives users the opportunity to conduct any financial transactions with any assets, without resorting to the services of intermediaries, it also provides complete reliability of the transaction and protection against fraud. The main value of the Ethereum network is that it allows you to create multiple applications on a single platform, and is able to decentralize any centralized system. Decentralized applications can really make a real revolution in almost every sector of the economy.

It is assumed that many new functions based on blockchain will arise in the sphere of legal services, which will have to be supported by modern laws and institutions. For example, intellectual property rights that can be publicly accessible through a distributed register, land cadastre and document management, public records for voter registration and census data.

Below are examples of some government initiatives and pilot projects using blockchain technology in a number of countries.

Blockchain as a service has become available through the digital market of the UK government. With this service, government agencies can experiment, build and deploy digital services based on distributed registry technologies. In 2016, the report of the Great Britain Government Office for Science [14] noted the benefits of using distributed registry technology in the public and private sectors. It is believed that the blockchain can help in areas such as reducing fraud and corruption, protecting critical infrastructure and registering assets.

Georgia began using the blockchain technology in the land registry to verify land ownership and verify real estate transactions. This has created a safe and defenseless system, increases transparency, reduces costs and prevents corruption.

Estonia is considered the leading country in adopting blockchain technology in key areas such as health, voting and identity management. She has been testing this technology since 2008 and since 2012 has been actively using it in various registries. Already, citizens and residents of Estonia are issued cryptographically protected digital ID cards, reinforced by the blockchain infrastructure, which allows access to various state services. On the blockchain platform, citizens can check the integrity of records stored in state databases and control access to them.

Blockchain and smart contracts are closely monitored by the US regulatory government. In 2016, Delaware became the first state to implement blockchain technology. The technology is used to store contracts and other corporate data in a distributed registry, allowing companies and agencies to store their documents in several places. This will ensure their security and will automate access for voters, shareholders and employees. The public archives of the state of Delaware will be among the first to use the blockchain to archive and encrypt government documents.

The Dubai Economic Development Department (United Arab Emirates) will fully transfer registration and licensing of enterprises to the blockchain. Interest in technology also shows the largest bank in Dubai. Together with IBM, it is planned to transfer trade and logistics operations to the blockchain, as well as replace paper contracts with smart contracts. This will minimize the participation of officials in government, make its economy and management more transparent, and therefore create conditions under which corruption cannot develop, and citizens can be served as quickly and efficiently as possible [15].

The Blockchain government service concept of Italy is to improve efficiency, security, transparency, and participation, while giving every government agency the ability to manage its processes using its own technological "registry", regardless of the processes and technologies of any other state entity.

Singapore, Finland, Switzerland and the list of such countries will only increase in the future.

Ukraine belongs to one of the first countries in the implementation of the distributed DLT registry technology. Back in 2015, the decentralized electronic system of state property auctions E-Auction 3.0 was launched here. The system is the world's first example of how a state uses a decentralized system for the privatization and leasing of state property and licensing. The memorandum on the implementation of the system was signed by the governors of several regions with the Innovation and Development Fund (IDF Reforms Lab). The founder of the foundation is ex-deputy justice minister of Georgia Giorgi Vashadze. Today, in E-Auction 3.0 they plan to join the Deposit Guarantee Fund for individuals, regional administrations and the State Committee for Land Relations.

In October 2017, the State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography and Cadastre joined the development of technology. The blockchain was introduced for the transactions "Registration of the land plot" and "Provision of information from the land cadastre". The blockchain should exclude the possibility of substitution of data in the registry and all operations in the inventory can be tracked online. Transparency International, a public international organization for the fight against corruption, and anyone interested will follow the order of using the technology. All land title documents will receive their QR code, which will encrypt information about the owner of the site, the size and location of the land plot. Technical implementation will provide one of the world leaders in the field of Blockchain – the BitFury company.

Moved to blockchain and OpenMarket – a state-owned enterprise created by the Ministry of Justice for the sale of seized property. In 2016, the State Property Fund began selling state-owned property through the electronic trading system OpenMarket. After the transition to the blockchain technology, anyone can check the chronology of actions performed during the auction. The activity of the auction system OpenMarket also provides BitFury infrastructure.

The Ministry of Infrastructure of Ukraine is also planning to introduce blockchain. Infrastructure Minister Volodymyr Yemelyan announced the launch of a large-scale Blockchain4Ukraine initiative. On the basis of the technology, it is planned to create a register of investment objects in the field of infrastructure, transfer the register of bus routes to technology and launch a national travel reservation system on its basis. In the future – add air and rail traffic.

Among the first industries to be transferred to the blockchain in Ukraine are state registries, housing and public utilities, social insurance, health care, and energy [16].

A study by IBM [17] showed a wave of interest among government organizations around the world with DLT distributed registry technology. It is noted that the blockchain can positively affect their activities in many areas in the near future. However, by interviewing 200 officials from 16 countries, a report from IBM highlighted a number of barriers to the full implementation of the blockchain (fig. 2).

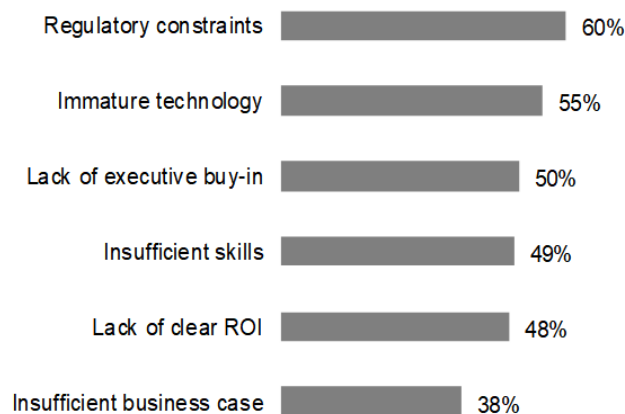


Fig. 2. Obstacles to blockchain implementation for government organizations (IBM) [17]

With a special distrust, the blockchain is perceived by the business. After all, it's business and the private sector of the economy as a whole that can often be the basic driving force for everyday use of the advantages of the DLT distributed database system in other areas. Although the blockchain by its definition should inspire confidence, but in reality, companies raise the issue of trust at every step. This problem is evidenced by a recent study from PwC [18], which reflects the results of a survey of 600 leaders from 15 countries (fig. 3).

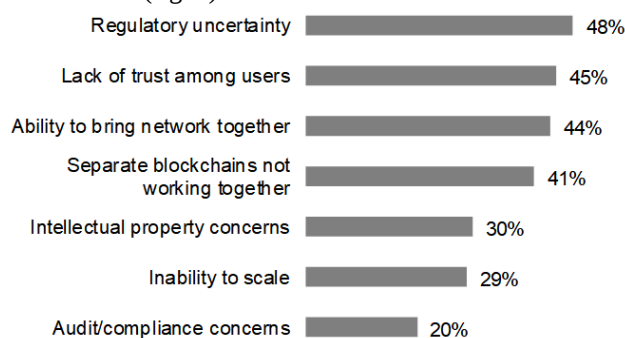


Fig. 3. Obstacles to blockchain implementation for business (PwC) [18]

As with any new technology, problems and doubts exist around the possibility of blockchain to ensure reliability, speed, security and scalability. Also, business is worried about the lack of standards and the potential incompatibility of various blockchains.

In a company that creates a blockchain for itself, there will undoubtedly be difficulties with internal use with the process of restructuring data in the new system and scaling. And yet, the company can independently set the rules and monitor their compliance with the blockchain, as it does in ERP (Enterprise Resource

Planning) systems today. However, as noted by PwC experts, building a blockchain only for their own needs, an enterprise cannot fully realize all the benefits that can be obtained by investing in a blockchain. After all, this technology is really revealed only when various market participants use it to create a single platform. If a third party is involved in the blockchain alone, it will be impossible to establish the rules.

Conclusions

According to the results of the study, the technologies of the distributed DLT registry have a significant development potential for the future of the digital economy.

Relatively new distributed registry / blockchain technology – the data structure, allows to create a digital transactions register and share them within a distributed network of devices. Through the use of cryptography, each member of the network manages the register without centralized administration, provides an unprecedented level of integrity, security and reliability of information, reducing the risks associated with the existence of a single

point of failure. This eliminates the need for intermediaries, reduces bureaucracy, reduces the level of corruption and ensures transparency in the provision of public services in the private sector. It also allows tracking transactions. Blockchain can be applied in practice in the following areas: state registers, financial and legal operations, logistics, voting, copyright, medicine, etc.

Despite the potential of technology, there is a certain number of barriers for its full implementation in the public and private sector, requiring further consideration by experts. At the level of governmental organizations, this is regulatory restrictions, immaturity of technology, lack of support from performers, insufficient level of technology skills, lack of understanding of the process of investment return, and a small number of successfully implemented projects. For representatives of the business environment, the obstacles to the use of technology are regulatory uncertainty, lack of trust, openness of personal data due to the possibility of network unification, technical impossibility for different chain of blocks to work together, intellectual property problems, impossibility of scaling, and problems with auditing / compliance.

Список літератури

1. Момот Т. В., Ващенко О. М., Тесленко Р. Ю. Тіньова економіка як загроза економічній безпеці України [Електронний ресурс]. *Економіка та суспільство*. 2018. № 15. С. 169–176. URL : http://www.economyandsociety.in.ua/journal/15_ukr/27.pdf (дата звернення: 20.08.2018).
2. Чех Н. О., Ващенко О. М. Корупція в бізнесі: корупційна поведінка у внутрішньо бізнесовому середовищі. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2018. № 2 (4). С. 57–62. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.057>.
3. Forecast: Blockchain Business Value, Worldwide, 2017-2030, URL : <https://www.gartner.com/doc/3627117/forecast-blockchain-business-value-worldwide> (last accessed 20.08.2018).
4. Deep Shift – Technology Tipping Points and Societal Impact. World Economic Forum Survey Report, URL : http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf (last accessed 20.08.2018).
5. Генкин А., Михеев А. Блокчейн: Как это работает и что ждет нас завтра. Москва : Альпина Паблишер, 2018. 592 с.
6. Tapscott D., Tapscott A. Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World. New York, 2016. 348 p.
7. Мелани С. Блокчейн. Схема новой экономики. Москва : Олимп-Бизнес, 2017. 240 с.
8. Поппер Н. Цифровое золото: невероятная история биткойна, или как идеалисты и бизнесмены изобретают деньги заново. Москва, Санкт-Петербург, Киев : Диалектика, 2016. 358 с.
9. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System [Electronic resource]. 2008. URL : <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (last accessed 20.08.2018).
10. Consensus- Immutable agreement for the Internet of value. URL : <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/06/kpmg-blockchain-consensus-mechanism.pdf> (last accessed 20.08.2018).
11. Blockchain Enigma. Paradox. Opportunity. URL : <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/Innovation/deloitte-uk-blockchain-full-report.pdf> (last accessed 20.08.2018).
12. Iansiti M., Lakhani K. R. The Truth About Blockchain. Harvard Business Review. Issue January–February. P. 118–127.
13. Белоусов П. Программы блокчейна: что препятствует массовому внедрению смарт-контрактов : веб-сайт. URL : <http://www.forbes.ru/tehnologii/343843-programmy-blokcheyna-chto-prepyatstvuet-massovomu-vnedreniyu-smart-kontraktov> (дата обращения: 20.08.2018).
14. Distributed Ledger Technology: beyond block chain [Electronic resource]. Government Office for Science. 2016. URL : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/492972/gs-16-1-distributed-ledger-technology.pdf (last accessed 20.08.2018).
15. Kwang T. W. How are governments using blockchain technology, URL : <https://www.enterpriseinnovation.net/article/how-are-governments-using-blockchain-technology-1122807855> (last accessed 20.08.2018).
16. Редих Э. Что такое Blockchain и где его применяют в Украине : веб-сайт. URL : https://biz.censor.net.ua/resonance/3061113/chto_takoe_blockchain_i_gde_ego_primenyayut_v_ukraine (дата обращения: 20.08.2018).
17. Building Trust in Government – Exploring the Potential of Blockchain, IBM Institute for Business Value, 2017, URL : https://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/gb/en/gbe03801usen/gbe03801usen-01_GBE03801USEN.pdf (last accessed 20.08.2018).
18. PwC's Global Blockchain Survey 2018, URL : <https://www.pwccn.com/en/research-and-insights/publications/global-blockchain-survey-2018/global-blockchain-survey-2018-report.pdf> (last accessed 20.08.2018).

References

1. Momot, T. V., Vashchenko, O. M., Teslenko, R. Yu. (2018), "The shadow economy as a threat to the economic security of Ukraine" ["Tinova ekonomika yak zahroza ekonomichnii bezpetsi Ukrainy"], *Ekonomika ta suspilstvo*, No. 15, P. 169–176, available at : http://www.economyandsociety.in.ua/journal/15_ukr/27.pdf (last accessed 20.08.2018).
2. Chekh, N. O., Vashchenko, O. M. (2018), "Corruption in business: corrupt behaviour inside business environment" ["Korupsiia v biznesi: korupsiina povedinka u vnutrishno biznesovomu seredovyschi"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 57–62. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.057>.
3. Forecast: Blockchain Business Value, Worldwide, 2017–2030, available at : <https://www.gartner.com/doc/3627117/forecast-blockchain-business-value-worldwide> (last accessed 20.08.2018).
4. Deep Shift – Technology Tipping Points and Societal Impact. World Economic Forum Survey Report, available at : http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf (last accessed 20.08.2018).
5. Genkin, A., Mikheev, A. (2018), Blockchain: How it works and what is waiting for us tomorrow [Blokcheyn: Kak eto rabotaet i chto zhdet nas zavtra], Moscow : Al'pina Publisher, 592 p.
6. Tapscott, D., Tapscott, A. (2016), Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World, New York, 348 p.
7. Melani, S. (2017), Blockchain The scheme of the new economy [Blokcheyn. Skhema novoy ekonomiki], Moscow : Olimp-Biznes, 240 p.
8. Popper, N. (2016), Digital gold: an incredible history of Bitcoin, or how idealists and businessmen reinvent money [Tsifrovoe zoloto: neveroyatnaya istoriya bitkoina, ili kak idealisty i biznesmeny izobretayut den'gi zanovo], Moscow, Saint-Petersburg, Kiev : Dialektika, 358 p.
9. Nakamoto, S. (2008), "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", available at : <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (last accessed 20.08.2018).
10. Consensus-Immutable agreement for the Internet of value, available at : <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/06/kpmg-blockchain-consensus-mechanism.pdf> (last accessed 20.08.2018).
11. Blockchain Enigma. Paradox. Opportunity, available at : <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/Innovation/deloitte-uk-blockchain-full-report.pdf> (last accessed 20.08.2018).
12. Iansiti, M., Lakhani, K. R. (2017), "The Truth About Blockchain", *Harvard Business Review*, Issue January–February. P. 118–127.
13. Belousov, P. (2017), "Blockchain programs: which hinders the massive deployment of smart contracts" ["Programmy blokcheyna: chto prepyatstvuet massovomu vnedreniyu smart-kontraktov"], available at : <http://www.forbes.ru/tehnologii/343843-programmy-blokcheyna-cto-prepyatstvuet-massovomu-vnedreniyu-smart-kontraktov> (last accessed 20.08.2018).
14. Distributed Ledger Technology: beyond block chain. Government Office for Science. 2016, available at : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/492972/gs-16-1-distributed-ledger-technology.pdf (last accessed 20.08.2018).
15. Kwang, T. W. (2017), "How are governments using blockchain technology", available at : <https://www.enterpriseinnovation.net/article/how-are-governments-using-blockchain-technology-1122807855> (last accessed 20.08.2018).
16. Redikh, E. (2018), "What is Blockchain and where it is used in Ukraine" ["Chto takoe Blockchain i gde ego primenyayut v Ukraine"], available at : https://biz.censor.net.ua/resonance/3061113/cto_takoe_blockchain_i_gde_ego_primenyayut_v_ukraine (last accessed 20.08.2018).
17. Building Trust in Government – Exploring the Potential of Blockchain, IBM Institute for Business Value, 2017, available at : https://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/gb/en/gbe03801usen/gbe03801usen-01_GBE03801USEN.pdf (last accessed 20.08.2018).
18. PwC's Global Blockchain Survey (2018), available at : <https://www.pwccn.com/en/research-and-insights/publications/global-blockchain-survey-2018/global-blockchain-survey-2018-report.pdf> (last accessed 20.08.2018).

Received 25.08.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Момот Тетяна Валеріївна – доктор економічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, завідувач кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; e-mail: tvmomot@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7397-3565>.

Момот Татьяна Валерьевна – доктор экономических наук, профессор, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, заведующая кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Momot Tetiana – Doctor of Sciences (Economics), Professor, O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Head at the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

Тумиетто Даниеле – корпоративний консультант з цифрового управління процесами та документами для компаній та державних адміністрацій, експерт в органах законодавчого і технічного стандарту в національних організаціях (UNI / UNINFO), європейських (CE, CEN, CEF) та в усьому світі (ООН / СЕФАКТ, СЕК ООН, МСЕ), ад'юнкт-професор Університету Лінку (Link Campus University), Мілан, Італія; e-mail: tumietto@economisti.it; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-2288>.

Тумиетто Даниеле – корпоративний консультант по цифровому управлінню процесами і документами для компаній і державних адміністрацій, експерт в органах законодавчого і технічного стандарту в національних

организациях (UNI / UNINFO), европейских (CE, CEN, CEF) и во всем мире (ООН / СЕФАКТ, ЕЭК ООН, МСЭ), адъюнкт-профессор Университета Линка (Link Campus University), Милан, Италия.

Tumietto Daniele – Corporate Consultant in the Digital Management of Processes and Documents for Companies and Public Administrations, Expert with the Legislative and Technical Standards Bodies in the National (UNI / UNINFO), European (CE, CEN, CEF) and Worldwide (UN / CEFAC, UNECE, ITU) Standard Organizations, Adjunct Professor at the Link Campus University in Rome, Milan, Italy.

Тесленко Роман Юрійович – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, аспірант кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; e-mail: roman.tslnk@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9008-2959>.

Тесленко Роман Юрьевич – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, аспирант кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Teslenko Roman – O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Post-Graduate Student at the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН ЯК ІННОВАЦІЙНИЙ ІНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ: СУТНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ, СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Предметом дослідження в статті є обґрунтування проблем та перспектив впровадження технологій розподілених реєстрів DLT / блокчейн в державному та приватному секторі як сучасного інструменту цифрової економіки. **Мета** роботи – обґрунтування науково-методичних засад впровадження технологій розподілених реєстрів DLT / блокчейн. В статті вирішуються наступні **завдання**: розглянуто поняття технології розподіленого реєстру DLT за рамками блокчейна; подано види розподілених реєстрів DLT у вигляді класифікації з виокремленням особливостей та можливостей при застосуванні кожного виду; описано загальну схему роботи та систематизовано специфічні особливості технології блокчейн; виокремлено особливості та сфери застосування розумних контрактів (смарт-контрактів), заснованих на технології блокчейн; проаналізовано міжнародний досвід урядових ініціатив та пілотних проектів із використанням технології блокчейн; проведено аналіз вітчизняного досвіду практичного впровадження технологій блокчейн в державному та приватному секторі та виділені перспективні сфери для майбутнього застосування технологій розподіленого реєстру DLT; за результатами досліджень міжнародних аналітичних агентств систематизовано перешкоди впровадження технологій блокчейн в державному та приватному секторі. Використовуються такі **методи**: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення, системного та статистичного аналізу. Отримано наступні **результати**: розкрито поняття технологій розподілених реєстрів DLT / блокчейн. За доступністю системи виділено відкриті, приватні і федеративні DLT. До специфічних особливостей технологій розподілених реєстрів DLT / блокчейн віднесено централізованість, залучення великої кількості учасників для досягнення консенсусу, використання криптографії та цифрових підписів, майже неможлива зміна хронологічних записів, зручність відстеження та перевірки інформації, можливість програмування. Досліджено міжнародний досвід використання технологій блокчейн в таких країнах як Великобританія, Грузія, Естонія, США, Об'єднані Арабські Емірати, Італія. Розглянуто приклади практичного впровадження технології реєстрів DLT / блокчейн в Україні. До основних перешкод впровадження розподілених реєстрів DLT / блокчейн в публічному секторі віднесено регуляторні обмеження та незрілість технології. Визначено перешкоди впровадження блокчейн технологій у приватному секторі. **Висновки**: доведено, що технології розподіленого реєстру DLT мають значний потенціал розвитку для майбутнього цифрової економіки. Не зважаючи на це, існує певна кількість бар'єрів для повноцінного їх застосування в державному та приватному секторі, що потребує подальшого вивчення експертами.

Ключові слова: технології розподілених реєстрів; види розподілених реєстрів DLT; блокчейн; розумні контракти (смарт-контракти); специфічні особливості технологій розподілених реєстрів DLT.

ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ: СУЩНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ, МИРОВОЙ ОПЫТ И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ

Предметом исследования в статье является обоснование проблем и перспектив внедрения технологий распределенных реестров DLT / блокчейн в государственном и частном секторе как современного инструмента цифровой экономики. **Цель** работы – обоснование научно-методических основ внедрения технологий распределенных реестров DLT / блокчейн. В статье решаются следующие **задачи**: рассмотрены понятия технологии распределенного реестра DLT за рамками блокчейна; представлены виды распределенных реестров DLT в виде классификации с выделением особенностей и возможностей при применении каждого вида; описана общая схема работы и систематизированы специфические особенности технологии блокчейн; выделены особенности и области применения умных контрактов (смарт-контрактов), основанных на технологии блокчейн; проанализирован международный опыт правительственных инициатив и пилотных проектов с использованием технологии блокчейн; проведен анализ отечественного опыта практического внедрения технологий блокчейн в государственном и частном секторе и выделены перспективные сферы для будущего применения технологий распределенного реестра DLT; по результатам исследований международных аналитических агентств систематизированы препятствия внедрения технологий блокчейн в государственном и частном секторе. Используются следующие **методы**: абстрактно-логический анализ, теоретического обобщения, системного и статистического анализа. Получены следующие **результаты**: раскрыто понятие технологии распределенных реестров DLT / блокчейн. В зависимости от доступности системы выделено открытые, частные и федеративные DLT. К специфическим особенностям технологий распределенных реестров DLT / блокчейн отнесены централизованность, привлечение большого количества участников для достижения

консенсуса, использование криптографии и цифровых подписей, почти невозможное изменение хронологических записей, удобство отслеживания и проверки информации, возможность программирования. Исследован международный опыт использования технологий блокчейн в таких странах как Великобритания, Грузия, Эстония, США, Объединенные Арабские Эмираты, Италия. Рассмотрены примеры практического внедрения технологии реестров DLT / блокчейн в Украине. К основным препятствиям для внедрения распределенных реестров DLT / блокчейн в публичном секторе отнесены регуляторные ограничения и незрелость технологии. Определены препятствия внедрения блокчейн технологий в частном секторе. **Выводы** доказано, что технологии распределенного реестра DLT имеют значительный потенциал развития для будущего цифровой экономики. Несмотря на это, существует определенное количество барьеров для полноценного их применения в государственном и частном секторе, что требует дальнейшего изучения экспертами.

Ключевые слова: технологии распределенных реестров; виды распределенных реестров DLT; блокчейн; умные контракты; специфические особенности технологий распределенных реестров DLT.

М. А. ОМАРОВ, В. Х. МУРАДОВА

ИНФОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫМ ОБРАЗОВАНИЕМ

Предметом исследования в статье является развитие моделей организации и управления сложной организационной системой на примере организации и управления процессом дистанционного образования. **Цель работы** – создание набора моделей, которые позволят отобразить взаимодействие между субъектами образовательного процесса в дистанционном обучении, а также между субъектами и объектами этого процесса. В статье решаются следующие **задачи**: разработка концепции информационной технологии организации и управления дистанционным обучением, создание инфологического обеспечения (модель социального заказа к дистанционному обучению, мультиагентную модель, модель жизненного цикла системы знаний обучаемого, модель нахождения оптимальной периодичности процесса обучения с вынужденными перерывами); разработка концептуальной модели данных (схема БД) для поддержки информационно-ресурсной модели; выработка практических рекомендаций по улучшению информационных систем организации и управления дистанционной формой обучения в системе высшего образования. Получены следующие **результаты**: проанализирована актуальность научной задачи, сущность которой заключается в повышении эффективности функционирования сложных организационных систем использующих структурированные информационные ресурсы, реализованные в виде платформ дистанционного обучения; построена модель социального заказа к дистанционному обучению; построена мультиагентная модель; построена модель жизненного цикла системы знаний обучаемого; построена модель нахождения оптимальной периодичности процесса обучения с вынужденными перерывами; построена концептуальная модели данных для поддержки информационно-ресурсной модели. **Выводы**: Построенная мультиагентная модель дистанционной формы образования позволяет более полно отобразить взаимодействие между агентами (субъектами) образовательного процесса, и быть использовано в качестве инфологического обеспечения информационной технологии. Разработанная схема базы данных позволяет хранить всю необходимую информацию для управления процессом дистанционного обучения и манипулировать этой информацией.

Ключевые слова: информационная технология; мультиагентная модель; информационные системы; база данных; дистанционная форма обучения; жизненного цикла системы знаний обучаемого.

Введение

Организация и управления дистанционным образованием – это процесс, связанный с принятием сложных управленческих решений. Дистанционное образование является сложной организационной системой, функционирующей в окружении других организационных систем. Отображения взаимодействия этих систем необходимо для понимания сложившейся ситуации лицами, принимающими решения. От правильности и оперативности принятых решений зависит эффективность функционирования рассматриваемой организационной системы. Авторы в качестве такой организационной системы выбрали деканат дистанционного образования вуза.

Современные исследования в сферах организации и управления дистанционным образованием выявляют сложности, связанные как с отсутствием живого контакта с обучаемыми, так и отсутствие контакта с преподавателями и менеджерским составом (работниками деканатов). Даже онлайн общение не всегда в состоянии полноценно заменить живой контакт между преподавателем и обучаемым. В настоящее время идет активный поиск решения данной проблемы [1]. Данная проблема приводит к неоднозначности (даже противоречивости) в выработке критериев оценивания знаний, а также к затруднениям в процессе управления обучением.

Анализ проблемы и существующих методов

В работе [2,3] были исследованы системы дистанционного обучения обеспечение эффективного использования информационного ресурса связано со многими противоречивыми требованиями, которые лежат в основе научной задачи, сущность которой заключается в разработке информационной технологии структурирования информационного ресурса при создании перспективных и усовершенствовании существующих систем дистанционного обучения разнообразных учебных заведений. Таким образом, в настоящее время существует необходимость решения актуальной научной задачи, сущность которой заключается в разработке информационного повышения эффективности функционирования системы, основанной на структурировании информационного ресурса.

В работе [4] предложена усовершенствованная математическая модель представления знаний в виде нечеткой семантической сети, которая отличается от известных тем, что сочетает преимущества семантических сетей и векторно-матричного представления нечеткой логики, что позволяет ввести логические операции без произвольных предположений. Логические операции над нечеткими переменными описываются теми же тензорами, что и в обычной логике. Большое удобство векторного представления состоит в том, что операции над логическими переменными могут быть представлены в матричном виде. Предложенный подход преобразования нечеткой семантической сети на

основе использования элементарных семантических сетей позволил завершить задачу математической формализации N -арной неоднородной нечеткой семантической сети [4].

В работе [5, 6] сформулирована и выполнена научно-практическая задача разработки информационной технологии мониторинга дистанционного обучения по данным сетевого трафика. Получила дальнейшее развитие система критериев оценки качества процесса дистанционного обучения за счет расширения множества показателей динамическими характеристиками. Разработана система мониторинга дистанционного обучения в режиме онлайн по данным сетевого трафика, использование которой позволяет получать значения критериев и характеристик динамики обучения на разных его этапах и на их основе вносить корректировки в план обучения для улучшения результатов. Для решения задачи измерения характеристик дистанционного обучения предложено применение метода мониторинга сетевого трафика, который реализован с помощью технологии "Активных сетей", которая предусматривает обработку данных непосредственно в узлах сети.

Целью данной статьи является разработка концепции информационной технологии организации и управления дистанционным обучением, создание инфологического обеспечения (модель социального заказа к дистанционному обучению, информационно-ресурсную модель, мультиагентную модель); разработка концептуальной модели данных (схему БД) для поддержки информационно-ресурсной модели; выработка практических рекомендаций по улучшению информационных систем организации и управления дистанционной формой обучения в системе высшего образования.

Решение задачи

Построим модель, в которой промоделируем взаимодействие четырех видов активных агентов - преподаватель, тьютор, обучаемый, администрация [7].

Зададим структуры агентов следующими картами: преподаватель (1), представитель администрации (2), студент (3), тьютор (4).

$$\text{AgTeacher} = \{I_{pi}, V_{ymk}, \text{Time } [k], \text{Control}\}; \quad (1)$$

$$\text{AgAdministration} = \{\text{Time } [k], \text{Control}, J(i), \text{Ball } [i]\}; \quad (2)$$

$$\text{AgStudents} = \{\text{Time } [k], \text{Control}, J(i), \text{Ball } [i]\}; \quad (3)$$

$$\text{AgTutor} = \{I_{pi}, V_{ymk}, \text{Time } [k], \text{Control}\}. \quad (4)$$

Структуры этих агентов будут использованы при разработке модели данных информационных систем управления дистанционным обучением.

Для хранения и обработки информации необходимой для информационной системы организации и управления дистанционным

образованием на уровне деканата, которая основывается на предлагаемой информационной технологии, воспользуемся технологией реляционных баз данных.

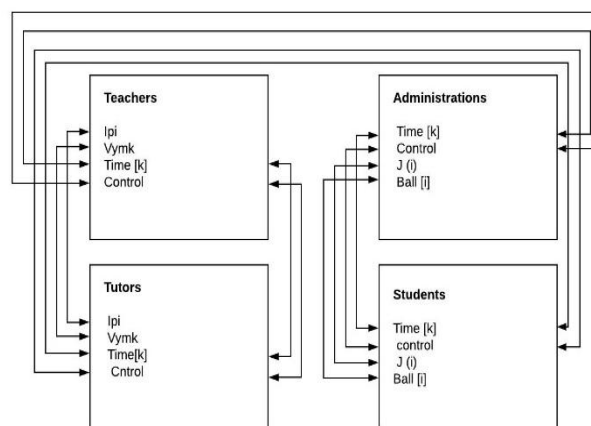


Рис. 1. Мультиагентная модель ДФО

где I_{pi} – поток информации от преподавателя; V_{ymk} – учебные планы и графики лекционных, практических и лабораторных занятий на семестр; $\text{Time } [k]$ – время начало k -го цикла аудиторных занятий, $k=1 \dots 3$; Control – информация о времени проведения и виде контроля; $J(i)$ – Информация о накопленных знаниях i -го агента; $\text{Ball } [i]$ – оценка i -го обучаемого.

Рассмотрим процесс формирования фрагмента структуры базы данных, необходимой для программной реализации мультиагентной модели ДФО. Каждому агенту модели (рис.1) поставим в соответствие таблицу базы данных (отношение). Опустим процесс нормализации отношений и будем рассматривать фрагмент структуры базы данных уже приведенной к 3-ей нормальной форме [8-10].

Агенту AgTeacher поставим в соответствие таблицу Teachers , которая имеет следующую структуру:

- ID_Teacher – идентификационный номер преподавателя, первичный ключ;
- Surname – фамилия преподавателя;
- Name – имя преподавателя;
- Patronymic – отчество преподавателя;
- E-mail – адрес электронной почты;
- Skype – Skype-адрес преподавателя;
- Phone – номер телефона.

Агенту AgTutor поставим в соответствие таблицу Tutors , которая имеет следующую структуру:

- ID_Tutor – идентификационный номер тьютора, первичный ключ;
- поля Surname , Name , Patronymic , E-mail , Skype , Phone – несут ту же семантику, что и одноименные поля в таблице Teachers ;
- Admin_ID – идентификационный номер сотрудника деканата, который курирует данного тьютора, внешний ключ.

Агенту AgAdministration поставим в соответствие таблицу Administrations , которая имеет следующую структуру:

- ID_Admin – идентификационный номер сотрудника деканата, первичный ключ;

- поля Surname, Name, Patronymic, E-mail, Skype, Phone – несут ту же семантику, что и одноименные поля в таблицах Teachers и Tutors;

- Position - должность сотрудника деканата.

Агенту AgStudents поставим в соответствие таблицу Students, которая имеет следующую структуру:

- ID_Student – идентификационный номер обучае́мый, первичный ключ;

- поля Surname, Name, Patronymic, E-mail, Skype, Phone – несут ту же семантику, что и одноименные поля в таблицах Teachers, Tutors и Administrations;

- Number_of_groups – студенческая группа, к которой принадлежит обучае́мый;

- Specialty – специальность обучения.

В соответствии с бизнес-правилом дистанционного образования обучае́мый изучает одновременно несколько дисциплин (одну или более). Для хранения и обработки информации о дисциплинах построим таблицу Discipline, с такой структурой:

- ID_Discipline – идентификационный номер дисциплины, первичный ключ;

- ID_Teacher – идентификационный номер преподавателя, автора дисциплины, внешний ключ;

- Title Discipline – название дисциплины.

Ниже приведен пример заполнения таблицы Discipline (рис. 2).

ID_Discipline	ID_Teacher	Title Discipline
1	2	Computer Based Office Work
2	5	History of Economics and Economics Thought
3	3	Labour Economics & Social Employment Relations
4	1	Mathematics for Economical Specialist
5	4	Regional Economics
6	6	Foreign Language

Рис. 2. Пример заполнения таблицы Discipline

Для реализации бизнес-правила, в соответствии с которым обучае́мый изучает одновременно несколько дисциплин, необходимо также указать для каждого обучае́мого тьютора, который ведет у данного обучае́мого эту дисциплину [8]. Тьютор может вести для данного обучае́мого несколько дисциплин (ноль, одну или более). Для этого создадим таблицу TDS, со следующей структурой:

- ID_TDS – идентификационный номер записи в таблице TDS, первичный ключ;

- ID_Tutor – идентификационный номер тьютора, внешний ключ;

- ID_Student – идентификационный номер обучае́мого, внешний ключ;

- ID_Discipline – идентификационный номер дисциплины, внешний ключ.

Ниже приведен пример заполнения таблицы TDS (рис. 3).

В более удобном виде данная информация отображена на рис. 3.

ID_TDS	Tutors.Surname	Students.Surname	Title Discipline
1	Egorova	Linnik	Computer Based Office Work
2	Derkach	Moiseyenko	History of Economics and Economics Thought
3	Sidorova	Nikolayev	Labour Economics & Social Employment Relations
4	Kibalchich	Aliyev	Mathematics for Economical Specialist
5	Yavtushenko	Ivanko	Foreign Language
6	Egorova	Axundov	Regional Economics
7	Derkach	Aliyev	History of Economics and Economics Thought
8	Sidorova	Moiseyenko	Labour Economics & Social Employment Relations
9	Kibalchich	Linnik	History of Economics and Economics Thought
10	Yavtushenko	Axundov	Mathematics for Economical Specialist
11	Egorova	Aliyev	Labour Economics & Social Employment Relations
12	Derkach	Linnik	Labour Economics & Social Employment Relations

Рис. 3. Вывод данных из таблицы TDS

Информация, отображенная на рис. 3 является результатом запроса на соединение между таблицами

TDS, Tutors, Students и Discipline:

```
Select ID_TDS, Tutors.Surname, Students.Surname, Discipline.TitleDiscipline
From TDS left join Tutors on TDS.ID_Tutor= Tutors.ID_Tutor
left join on TDS.ID_Student=Students.ID_Student
left join Discipline on TDS.ID_Discipline= Discipline.ID_Discipline
```

Приведем фрагмент базы данных (рис. 4), который позволяет поддерживать указанное бизнес-правило и позволяет хранить и обрабатывать данные, соответствующие агентам, приведенным в мультиагентной модели ДФО (рис. 1). Кроме этого, в приведенном фрагменте базы данных (рис. 4) присутствуют таблицы Subsystems и Permission.

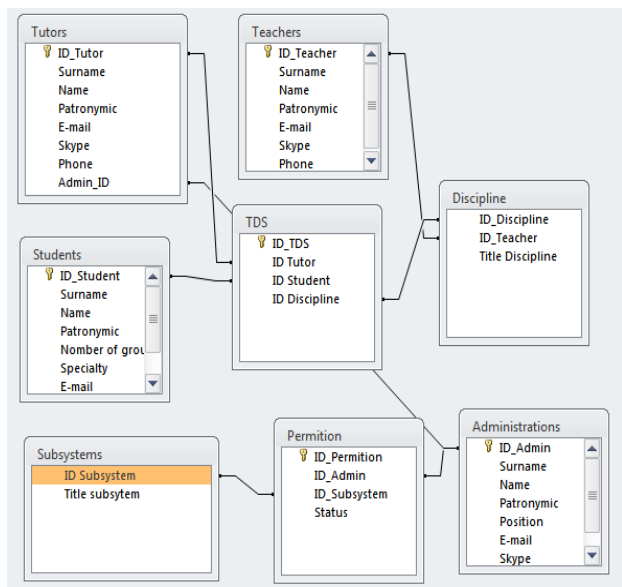


Рис. 4. Фрагмент схемы БД

Таблицы Subsystems и Permission предназначены для хранения прав доступа сотрудников деканата к подсистемам системы организации и управления дистанционным образованием.

Фрагмент схемы БД (рис. 4) позволяет поддерживать реализовать основные функциональные возможности информационной системы построенной на основе модели устойчивой детерминированной системы дистанционного образования (рис. 5). Для включения в информационную систему управления дистанционным обучением функциональности, которая возникает при использовании модели системы дистанционного образования с учетом случайного изменения мотивации участников учебного процесса, необходимо включение в базу данных соответствующих отношений (таблиц) [11].

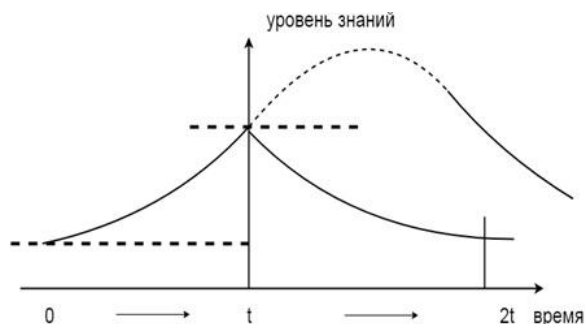


Рис. 5. Модель жизненного цикла система знаний обучаемых

Рассмотрим модель жизненного цикла системы знаний обучаемого (рис. 5). Обучаемый накапливает

знания по закону $y = t^{\alpha+1}$, в момент $t = 0$ происходит контроль. Рассмотрим два варианта: первый вариант – обучаемый прекращает изучать дисциплину, т.е. у него начинается чистая утрата знаний. Второй вариант обучаемый продолжает накапливать знания. Этот процесс становится менее интенсивным, потому что, не все знания, которые были, накоплены используются. Поэтому в действие вступает механизм утраты знаний, который тормозит процесс увеличения общего объема знаний.

Из практики известно, что обучаемый регулярно работающий в течение семестра набирает знания по закону степенной функции $y = t^{\alpha+1}$. Обучаемый с аналогичными способностями, но меньше посещающий занятия может набрать тот же объем знаний к моменту контроля (к сессии). За меньшее время при более интенсивной самостоятельной работе, например: $y = t^{\alpha+1}$, т.е. моменту контроля они набрали одинаковый объем знаний.

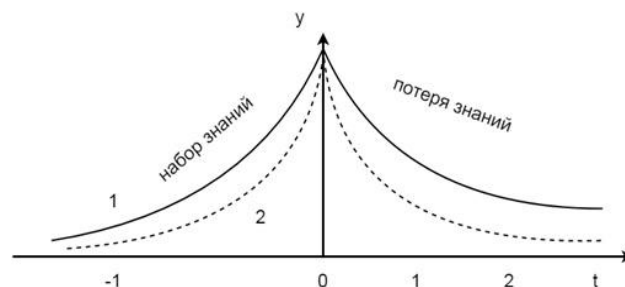


Рис. 6. Модель нахождения оптимальной периодичности процесса обучения с вынужденными перерывами

Независимо от результата сессии для обоих обучаемых их остаточные знания будут убывать по экспоненциальной зависимости (5)

$$U_c = U_{oe} - \left(\frac{t}{t_{\text{подготовка к сессии}} + t_{\text{длительность сессии}}} \right); \quad (5)$$

$$U_c = U_{oc} \left(\frac{f(\alpha) \cdot (-t)}{t_{\text{подготовка к сессии}}} \right), \quad (6)$$

где U_c – это обобщенный показатель накопленных знаний, U_{oe} – максимальное накопленные знания, t – время, $F(a)$ – коэффициент характеризующий специфику обучения (дистанционная форма обучения, заочная, технические, гуманитарные и т.д.). Таким образом предложенная модель жизненного цикла система знаний обучаемый и модель нахождения оптимальной периодичности процесса обучения с вынужденными перерывами позволяет организовать более эффективный график обучения. Что позволяет спрогнозировать уровень знаний обучаемых переходящих к следующему этапу.

Для прогнозирования остаточных знаний через какой-то период времени необходимо

хранить информацию о процессе накопления и закрепления знаний. Будем рассматривать дисциплину как последовательность активных этапов (фаз) обучения, например, лекция, практическое занятие. Каждый из активных этапов содержит порцию новых знаний и возобновляет порции знаний усвоенные ранее. Например, порция знаний *"construction of interrogative and negative sentences in the past tense"* приведет к возобновлению порции знаний *"construction of interrogative and negative sentences in the present tense"*. Таким образом, каждый активный этап должен включать названия новых порций знаний и названия возобновляемых порций знаний. Для реализации этой функциональности добавим в базу данных таблицы:

- Portions – список порции знаний;
- NewPortions – для дисциплины указываются номера порций знаний, изучаемых на данном этапе (в текущей фазе), для каждой порции знаний создается отдельная строка в этой таблице);
- UpdPortions – для дисциплины указываются номера порций знаний возобновляемых на данном этапе, для каждой порции знаний создается отдельная строка в этой таблице;
- StudPortions – для каждого обучаемого фиксируется дата изучения или обновления соответствующей порции знаний.

На рис. 7 приведен еще один фрагмент базы данных, который включает уже показанные на рис. 4. таблицы Students и Discipline, а также описанные выше таблицы Portions, NewPortions, UpdPortions и StudPortions.

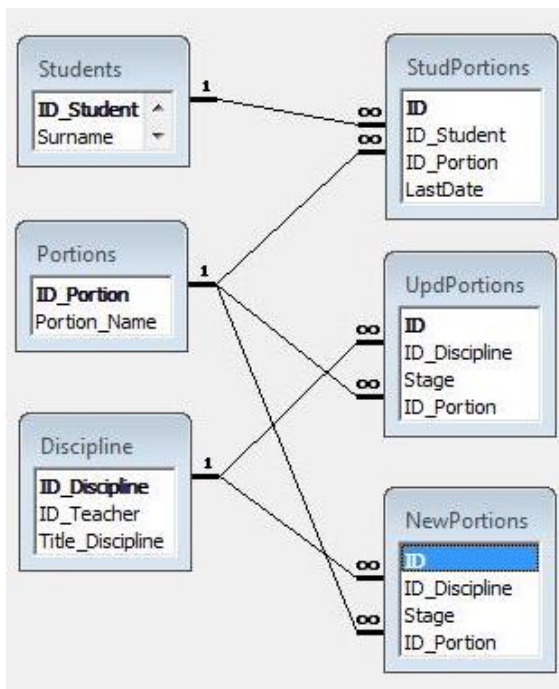


Рис. 7. Фрагмент схемы БД (поддержка этапов обучения)

Когда обучаемый приступает к изучению дисциплины, то в таблицу StudPortions

заносятся все порции знаний изучаемые в данной дисциплине из таблицы NewPortions. Например, если обучаемый с идентификатором ID_Student=201 приступает к изучению дисциплины с идентификатором ID_Discipline=56, то эта операция может быть реализована с помощью SQL-запроса:

```
INSERT INTO StudPortions (ID_Student, ID_Portion)
SELECT 201, ID_Portion FROM NewPortions WHERE
ID_Discipline=56.
```

После успешного прохождения обучаемым очередного этапа обучения по дисциплине в поле LastDate заносится соответствующая дата для всех порций знаний упомянутых для данного этапа в таблицах, NewPortions и UpdPortions.

Часто дистанционное обучение спонсируется работодателем или привязывается обучаемым к специфике планируемого места работы [12-14]. В этом случае процесс обучения перестает быть регулярной цепочкой семестров и каникул, как это практикуется при очном и заочном обучении. Возникает фрагментированная последовательность периодов обучения (активных фаз) и перерывов в обучении (фаз отдыха). Для очного и заочного обучения рабочие планы составлены таким образом, что после усвоения знаний в одной дисциплине эти знания используются при изучении последующих дисциплин. Тем самым, усвоенные знания периодически, в том или ином объеме, возобновляются и у обучаемого формируется устойчивая система знаний, навыков и умений.

При фрагментации процесса обучения [15] возникает проблема утраты знаний из-за отсутствия своевременного возобновления знаний. В этом случае (при фрагментации обучения) необходимо явно закладывать оценку остаточных знаний перед обучением на новом фрагменте, и, при необходимости, восстанавливать утраченные знания до уровня позволяющего продолжить качественное обучение на новой активной фазе.

Выводы

Построена мультиагентная модель дистанционной формы образования, которая позволяет отобразить взаимодействие между агентами (субъектами) образовательного процесса.

Разработана схема базы данных, предназначенная для хранения и обработки информации необходимой для информационной системы организации и управления дистанционным образованием на уровне деканата, основанной на предлагаемой информационной технологии.

Построена модель жизненного цикла системы знаний обучаемого; построена модель нахождения оптимальной периодичности процесса обучения с вынужденными перерывами; построена концептуальная модель данных для поддержки информационно-ресурсной модели.

Список літератури

1. Макеєва А. В., Лидохова О. В., Болотских В. И., Тумановский Ю. М., Крюков В. М. Результаты использования системы дистанционного обучения Moodle при подготовке студентов к экзамену по патологической физиологии. *Современные исследования социальных проблем*. 2014. № 2 (18). С. 118–121.
2. Волосюк Ю. В. Информационная технология повышения эффективности системы дистанционного образования на основе структурирования информационного ресурса : автореферат дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.13.06). Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко. Киев, 2012. 23 с.
3. Омаров М. А., Мурадова В. Х. О функционировании системы дистанционного образования в современном образовательном пространстве. *Журнал ученые записки Азербайджанского технического университета*. 2016. Т. 1, № 3. С. 204–214.
4. Волосюк Ю. В. Современные методы практического извлечения знаний в интеллектуальных системах обучения. Материалы XIV Международной научно-практической конференции "Информационные технологии в экономике, менеджменте і бизнесе. Проблеми науки, практики і образования". М. : Европейский университет, 2009. Т. 1. С. 58–61.
5. Верьовко М. В. Информационная технология мониторинга дистанционного обучения по данным сетевого трафика: автореферат дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.13.06). Черниговский национальный технологический университет. Чернигов, 2015. 22 с.
6. Омаров М. А., Мурадова В. Х. Модель прогнозирования поведения студента на основе нейронных сетей. *Scientific light*. Wroclaw, Poland. 2017. № 12. С. 51–58.
7. Назойкин Е. А. Мультиагентное имитационное моделирование образовательного процесса накопления знаний : автореферат на соискание учен. степ. канд. тех. наук (05.13.18). Московский государственный университет. Москва, 2011. 34 с.
8. Дейт К. Дж. Д 27 Введение в системы баз данных : 8-е издание / Пер. с англ. М. : Издательский дом "Вильямс", 2005. 1328 с.
9. Агальцов В. П. Базы данных : в 2-х т. Т. 2. Распределенные и удаленные базы данных : Учебник. М. : ИД ФОРУМ НИЦ ИНФРА-М, 2013. 272 с.
10. Агальцов В. П. Базы данных : в 2-х т. Т. 1. Локальные базы данных : Учебник. М. : ИД ФОРУМ НИЦ ИНФРА-М, 2013. 352 с.
11. Левыкин В. М., Евланов М., Неумывакина О. Разработка моделей при разработке требований к информационной системе на уровне знаний. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2017. № 5/2 (89).
12. Robert M. B., Abrami P. C., Lou Y. et al. How Does Distance Education Compare With Classroom Instruction? A Meta-Analysis of the Empirical Literature. *Review of Educational Research*. 2004. Vol. 74. P. 379–439.
13. Мурадова В. Х. Дистанционное обучение как новое социальное явление. Материалы международной научно-практической конференции "Инновационные научные исследования в области социологии, психологии и политических наук". Словакия. 2017. С. 68–70.
14. Мурадова В. Х. Дистанционное обучение – технология развития ресурсов личности. Материалы Международной научно-практической конференции "Формирование современной образовательной среды: преимущества, риски, механизмы реализации". Грузия. 2017. С. 11–12.
15. Мурадова В. Х. About approaches to learning control for distance learning. Международная научно-практическая конференция "Современные методы, инновации и опыт практического применения в области технических наук". Польша, Радом. 2017. С. 214–215.

References

1. Makeeva, A. V., Lidohova, O. V., Bolotskikh, V. I., Tumanovsky, Yu. M., Kryukov, V. M. (2014), "The results of using the Moodle distance learning system in preparing students for the exam in pathological physiology" ["Rezultaty ispol'zovaniya sistemy distancionnogo obucheniya Moodle pri podgotovke studentov k jeksamenu po patologicheskoy fiziologii"], *Modern studies of social problems*, No. 2 (18), P. 118–121.
2. Volosyuk, Yu. V. (2012), Information technology to improve the efficiency of distance education system based on the structuring of an information resource [Informacionnaja tehnologija povysheniya jeffektivnosti sistemy distancionnogo obrazovaniya na osnove strukturirovaniya informacionnogo resursa] : Abstract dis. on the competition scholarly step. Cand. those. Sciences (05.13.06), Kyiv National University by Taras Shevchenko, 23 p.
3. Omarov, M. A., Muradova, V. Kh. (2016), "On the functioning of the distance education system in the modern educational space" ["O funkcionirovanii sistemy distancionnogo obrazovaniya v sovremennom obrazovatel'nom prostranstve"], *Journal of Scientific Notes of the Azerbaijan Technical University*, Vol. 1, No. 3, P. 204–214.
4. Volosyuk, Yu. V. (2009), "Modern methods of practical knowledge extraction in intellectual systems of education" ["Sovremennye metody prakticheskogo izvlecheniya znaniy v intellektual'nyh sistemah obuchenija"] : Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference "Information Technologies in Economics, Management and Business. Problems of science, practice and education", Moscow : European University, Vol. 1, P. 58–61.
5. Verovko, M. V. (2015), "Information technology of monitoring distance learning from network traffic data" ["Informacionnaja tehnologija monitoringa distancionnogo obuchenija po dannym setevogo trafika"] : Abstract dis. on the competition scholarly step. Cand. those. Sciences (05.13.06), Chernihiv National University of Technology, Chernigov, 22 p.
6. Omarov, M. A., Muradova V. Kh. (2017), "Student behavior prediction model based on neural networks" ["Model' prognozirovaniya povedeniya studenta na osnove neyronnykh setey"], *Scientific light*, Wroclaw, Poland, No. 12, P. 51–58.
7. Nazoykin, E. A. (2011), "Multi-agent simulation modeling of the educational process of knowledge accumulation" ["Mul'tiagentnoe imitacionnoe modelirovanie obrazovatel'nogo processa nakopleniya znaniy"] : abstract for the degree of candidate of technical sciences in the specialty - 05.13.18 mathematical modeling, numerical methods and program complexes, Moscow, 34 p.

8. Date, C. J. (2005), *D27 Introduction to database systems [D27 Vvedenie v sistemy baz dannyh]* : 8th edition : Trans. from English, Moscow : Publishing House "Williams", 1328 p.
9. Agaltsov, V. P. (2013), *Databases: in 2 Vol. Vol. 2 : Distributed and remote databases [Raspredelemnnyye i udalennyye bazy dannykh]* : Textbook, Moscow : ID FORUM SIC INFRA-M, 272 p.
10. Agaltsov, V. P. (2013), *Database: in 2 Vol. Vol. 1 : Local databases [Raspredelemnnyye i udalennyye bazy dannykh]* : Textbook, Moscow : ID FORUM SIC INFRA-M, 352 p.
11. Levykin, V. M., Evlanov, M., Neumyvakina, O. (2017), "Model development in the development of requirements for an information system at the knowledge level" ["Razrabotka modelej pri razrabotke trebovanij k informacionnoj sisteme na urovne znaniy"], *East European Journal of Advanced Technologies*, No. 5/2 (89).
12. Robert, B. M., Abrami, P. C., Lou, Y. et al. (2004), How Does Instruction? A Meta-Analysis of the Empirical Literature, *Review of Educational Research*, Vol. 74, P. 379–439.
13. Muradova, V. Kh. (2017), "Distance learning as a new social phenomenon" ["Distancionnoe obuchenie kak novoe social'noe javlenie"] : *Materials of the international scientific-practical conference "Innovative research in the field of sociology, psychology and political sciences"*, Slovakia, P. 68–70.
14. Muradova, V. Kh. (2017), "Distance learning — technology development of personality resources" ["Distancionnoe obuchenie — tehnologija razvitiya resursov lichnosti"] : *Materials of the International Scientific and Practical Conference "Formation of a Modern Educational Environment: Advantages, Risks, Implementation Mechanisms"*, Georgia, P. 11–12.
15. Muradova, V. Kh. (2017), "About approaches to distance control", *International scientific-practical conference "Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical sciences"*, Poland, Radom, P. 214–215.

Надійшла (Received) 30.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Омаров Мурад Анверович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, проректор, Харків, Україна; e-mail: murad.omarov@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4842-4972>.

Омаров Мурад Анверович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, проректор, Харьков, Украина.

Omarov Murad – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Vice Rector, Kharkov, Ukraine.

Мурадова Вюсалия Худашірін кизи – Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри природознавчих наук, Харків, Україна; e-mail: viusalia.muradova@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6304-8325>.

Мурадова Вюсалия Худаширин кызы – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры естественных наук, Харьков, Украина.

Muradova Vusala – Kharkiv National University of Radio Electronics, Senior Lecturer at the Department of Natural Sciences, Kharkov, Ukraine.

ІНФОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ДИСТАНЦІЙНОЮ ОСВІТОЮ

Предметом дослідження в статті є розвиток моделей організації і керування складною організаційною системою на прикладі організації та управління процесом дистанційної освіти. **Мета роботи** – створення набору моделей, які дозволять відобразити взаємодію між суб'єктами освітнього процесу в дистанційному навчанні, а також між суб'єктами і об'єктами цього процесу. У статті вирішуються наступні **завдання**: розробка концепції інформаційної технології організації та керування дистанційним навчанням, створення інфологічного забезпечення (модель соціального замовлення до дистанційного навчання, мультиагентну модель, модель життєвого циклу системи знань учня, модель знаходження оптимальної періодичності процесу навчання з вимушеними перервами); розробка концептуальної моделі даних (схема БД) для підтримки інформаційно-ресурсної моделі; вироблення практичних рекомендацій щодо поліпшення інформаційних систем організації і керування дистанційною формою навчання в системі вищої освіти. Отримано наступні **результати**: проаналізована актуальність наукової задачі, сутність якої полягає в підвищенні ефективності функціонування складних організаційних систем, що використовують структуровані інформаційні ресурси, які реалізовані у вигляді платформ дистанційного навчання; побудована модель соціального замовлення до дистанційного навчання; побудована мультиагентна модель; побудована модель життєвого циклу системи знань учня; побудована модель знаходження оптимальної періодичності процесу навчання з вимушеними перервами; побудована концептуальна модель даних для підтримки інформаційно-ресурсної моделі. **Висновки**: Побудована мультиагентна модель дистанційної форми освіти дозволяє більш повно відобразити взаємодію між агентами (суб'єктами) освітнього процесу і бути використана в якості інфологічного забезпечення інформаційної технології. Розроблена схема бази даних дозволяє зберігати всю необхідну інформацію для управління процесом дистанційного навчання і маніпулювати цією інформацією.

Ключові слова: інформаційна технологія; мультиагентна модель; інформаційні системи; база даних; дистанційна форма навчання; життєвий цикл системи знань учня.

INFOLOGICAL SUPPORT OF THE INFORMATION TECHNOLOGY FOR MANAGEMENT OF DISTANCE EDUCATION

The **subject matter** of the article is the development of models for organizing and managing a complex organizational system considering the organization and management of distance learning as an example. The **goal** of the article is to create a set of models that will enable highlighting the interaction among the subjects of the educational process in the context of distance learning as well as between the subjects and objects of this process. The following **tasks** were solved in the article: the concept of information technology of the organization and management of distance learning was developed, information support was created (a model of the social mandate for distance learning, a multi-agent model, a model of the life cycle of a student knowledge system, a model for finding optimal cycles of the learning process with forced interruptions); a conceptual data model (database schema) was developed to support the information resource model; practical recommendations for improving information systems for organizing and managing distance learning in the context of higher education were developed. The following **results** were obtained: the topicality of the scientific task was analyzed, whose key point is to improve the efficiency of the operation of complex organizational systems using structured information resources that are implemented as distance learning platforms; built a social order model for distance learning; a multi-agent model for the social mandate for distance learning was built; a model of the life cycle of a student knowledge system was built; a model for finding optimal cycles of the learning process with forced interruptions was built; a conceptual data model to support the information resource model was built. **Conclusions.** The constructed multi-agent model of distance learning enables highlighting the interaction among agents (subjects) of the educational process and can be used as an infological support for the information technology. The developed database scheme enables storing all the necessary information to manage the process of distance learning and handle this information.

Keywords: information technology; multi-agent model; information systems; database; distance learning; life cycle of a student knowledge system.

О. С. Пономарьов, М. А. Гринченко, О. В. Лобач

НАДІЙНІСТЬ ЯК ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТНОЇ КОМАНДИ

Предмет статті полягає у визначенні поняття надійності кожного виконавця проекту, а також проектної команди у цілому як однієї з інтегральних характеристик успіху проекту. **Мета** статті – розкрити значення та місце надійності команди проекту та її учасників в загальній системі поведінкових компетенцій фахівця з управління проектами. **Завдання** дослідження передбачають, по-перше, показати, що надійність проектної команди є однією з важливих характеристик фахівця з управління проектами при формуванні та розвитку ефективної команди проекту. По-друге розглядати поняття надійності виконавців проекту та команди проекту в двох аспектах. Перший з них відноситься до психологічних та психофізіологічних чинників, а другий стосується морально-психологічних чинників таких як обов'язковість, дисциплінованість, доброзичливість, розсудливість тощо. По-третє, розглянути два підходи визначення поняття надійності команди проекту. **Методи** дослідження включають, по-перше, аналіз ролі надійності в системі поведінкових компетенцій в процесі формування ефективної проектної команди. По-друге, визначення кількісних показників надійності кожного конкретного працівника, а відповідно й команди в цілому, з використанням експертних оцінок. По-третє, визначення рис і якостей, які визначають надійність фахівця. **Результати.** Надійність проектної команди виступає визначальним показником її можливостей належним чином виконувати завдання проекту згідно вимог замовника. Надійність потрібно розглядати як інтегральну характеристику якості проектної команди при управлінні проектами та її здатності успішно виконувати завдання проектів. **Висновки.** По-перше, надійність проектної команди визначає її здатність не тільки належним чином виконувати свої стандартні функції і завдання в нормальних умовах, але й зберігати усталеність і високу працездатність у складних проблемних ситуаціях та успішно їх долати, виконуючи обумовлені проектом роботи своєчасно, з належною якістю і в межах бюджету. По-друге, надійність виконавців і проектної команди в цілому визначає ставлення до роботи і своїх обов'язків, сприйняття своєї приналежності до команди, відповідальність, коректну поведінку, дисциплінованість, відповідальність, і готовність прийти на допомогу іншому членові команди.

Ключові слова: управління проектами; проектна команда; поведінкові компетенції; надійність; характеристика якості; проектне завдання.

Загальна постановка проблеми

Організація та успішна реалізація спільної діяльності різних фахівців в системі застосування технології управління проектами істотною мірою визначаються складом і структурою проектної команди та характером тих взаємовідносин, які складаються між її учасниками. На ці взаємовідносини впливають мета і зміст діяльності, ставлення людей до неї та рівень згуртованості й розвитку корпоративної культури в команді. У вітчизняній та іноземній психології, соціології, теорії і практиці управління прийнято розглядати взаємодії і взаємовідносини в соціальних групах з позицій принципу діяльності (К. О. Абульханова-Славська, Л. С. Виготський, О. М. Леонтьєв, С. Л. Рубінштейн та інші).

Вважається, відповідно до цього принципу, що в процесі здійснення людьми соціально значущої спільної діяльності та на її основі формується таке специфічне явище, як соціально-психологічна єдність її виконавців. Для неї характерною є трансформація номінальної групи у дійову соціально-психологічну спільність. В управлінні проектами така спільність отримала назву проектної команди. Аналіз практики командної діяльності переконливо свідчить, що її ефективність істотно залежить від низки характеристик команди і розвиненості ключових поведінкових компетенцій її учасників.

Однією з таких визначальних для успіху проекту характеристик постає надійність кожного виконавця і проектної команди у цілому. Формування ж і розвиток їхньої надійності являє собою цікаву і вкрай важливу проблему як з позицій психології, так і з позицій

управління соціальними системами взагалі й управління проектами зокрема.

Аналіз досліджень і публікацій

Аналіз досліджень і публікацій з проблеми дозволяє стверджувати, що, з одного боку, ідеї командної діяльності є вкрай перспективними і мають істотну теоретичну і безпосередньо прикладну значущість. Але на реалізацію цих ідей в управлінській практиці істотно впливають поведінкові компетенції членів проектної команди. Аналізу проблем роботи з командою присвячено численні книги і статті в наукових виданнях. В них чільне місце приділяється і ролі поведінкових компетенцій.

Системно множину цих компетенцій розглядають С. Д. Бушуєв та Н. С. Бушуєва [2]. Певну увагу їх ролі приділяють також Р. М. Джимпел та Б. Л. Грей [3]. А. Д. Опп чітко вказує, що "для виконання проекту вам необхідна сильна проектна команда, здатна успішно виконати необхідну роботу". При цьому він підкреслює, що "ваше завдання полягає у тому, щоб згуртувати цю команду і досягти виконання завдань, поставлених організацією" [8, с. 87]. Однак, розглядаючи питання формування проектної команди, автор зосереджується на мотивації її членів, фактично ігноруючи роль інших поведінкових компетенцій. Подібна ж позиція характерна також для роботи А. В. Цветкова, який основну увагу приділяє проблемам стимулювання в управлінні проектами [11].

Казуо Інаморі впеаний у тому, що для того, "щоб підлеглі пішли за своїм керівником, вони повинні не тільки йому довіряти, але й поважати

його. І досягти такої єдності можна тільки тісним щоденним співробітництвом" [4, с. 195]. Тут також не йдеться про надійність команди цих підлеглих. К. С. Масленнікова та К. В. Колеснікова детально аналізують складники поведінкової компетенції учасника команди проекту на засадах компетентнісного підходу, не виділяючи окремо його надійність [6].

Німецькі дослідниці особливостей роботи в команді Гітте Гертер та Кристина Оттл, аналізуючи потребу команди в лідері та сенс його діяльності, пишуть, що безумовно, лідер команди повинен мати професійну кваліфікацію. Однак це не означає, що він зобов'язаний все знати й уміти краще всіх. В першу чергу він повинен добре розуміти свої управлінські завдання, бути сильним стратегом, робити висновки і приймати рішення, керувати співробітниками і підвищувати їхню кваліфікацію, а також ставити цілі й досягати їх [12, 13]. Але він в жодному разі не повинен сам втілювати все це у життя. Автори підкреслюють, що у разі, коли один з працівників знає чи вміє щось краще, лідер повинен визнати цей факт і активно використовувати його кваліфікацію у своїй роботі [14].

Проблеми формування, управління та розвитку проектною командою, в тому числі з позицій поведінкових компетенцій розглядають В. В. Морозов та його співавтори [7]. Загальні питання управління проектами, в тому числі й стосовно ролі проектною командою наводить Л. С. Кобиляцький [5].

Вкрай цікавий факт наводять відомі американські дослідники проблем управління Дж. Г. Бойет і Дж. Т. Бойет, демонструючи важливість організації командної діяльності, яка орієнтується на кінцевий результат. Вони доводять доцільність створення так званих "команд високої ефективності". На одному з заводів компанії Кодак команди високої ефективності підвищили продуктивність праці настільки, що обсяг роботи, який раніше виконували за три зміни, стали виконувати за одну зміну [1, с. 147]. Разом з тим впевнено стверджують автори, застосування високоефективних організацій не поширюється зі швидкістю лісної пожежі тому, що перехід від традиційної компанії до високоефективної є вкрай важкою справою [1, с. 149]. На наше глибоке переконання, ця важкість зумовлена як складністю формування проектною команди, так і прищеплення кожному з її учасників системи поведінкових компетенцій, насамперед розвитку високої надійності.

Таким чином, **недостатньо вивченими** аспектами порушеної нами проблеми лишаються організаційні та соціально-психологічні принципи формування і розвитку поведінкових компетенцій членів проектною команди взагалі та розвитку їхньої надійності й надійності команди зокрема. Цілком очевидно при цьому, що цілісна єдність системи цих компетенцій зумовлює множину тісних взаємозв'язків і взаємозалежностей між ними. Ось чому розвиток будь-якої з них неодмінно позначатиметься й на інших. Тому аналіз процесів формування і розвитку надійності саме як поведінкової компетенції доцільно

здійснювати лише з міркувань зручності. В реальному ж житті вона розвивається і функціонує у системному зв'язку з іншими компетенціями.

Мета статті й полягає у спробі аналізу надійності не тільки як однієї з поведінкових компетенцій, але й як інтегральної характеристики проектною команди, яка визначає її здатність не тільки належним чином виконувати свої функції в нормальних умовах, але й зберігати усталеність і працездатність у складних проблемних ситуаціях. При цьому передбачається зіставити сенс загальнонаукового поняття надійності і його особливості стосовно надійності людини чи організованої групи людей, зокрема проектною команди.

Виклад основного матеріалу

Слід підкреслити, що поняття надійності як специфічної загальнонаукової категорії виникло відносно недавно. Воно спочатку застосовувалося в техніці, де слугувало одним з надзвичайно важливих понять, яке характеризувало міру працездатності різних технічних об'єктів. Під поняттям надійності було прийнято вважати певну системну властивість об'єкта зберігати з часом у заздалегідь встановлених межах значення всієї сукупності тих його параметрів, які характеризують здатність цього об'єкта виконувати необхідні функції. Ця вимога поширювалася як на задані режими й умови використання об'єкта за призначенням, так і на його технічне обслуговування, зберігання і транспортування.

Як системна властивість об'єкта, залежно від його призначення і умов застосування, надійність може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережність або певну їх комбінацію. Теорія надійності напрацювала свою понятійно-категоріальну базу і математичний апарат на основі теорії ймовірностей і математичної статистики.

Спроби перенести поняття надійності на оцінку людини тривалий час виходили з технократичного підходу. Згідно з ним людину розглядали як один з елементів у структурі складного технологічного комплексу, де їй відводили роль виконавця певних функцій, які технічно складно чи економічно недоцільно передавати технічним пристроям.

Поступово зрозуміли обмеженість і хибність цього підходу. Процеси ускладнення технічних об'єктів і включення людини як важливого елемента до загальної структури складних людино-машинних комплексів вимагало чіткої оцінки її справжньої надійності. Але навіть просто сформулювати сенс надійності людини досить складно. А ще більш складно дати їй адекватний математичний опис. Адже стомленість людини та її працездатність залежать від величезної множини чинників різної природи, багато з яких далеко не завжди піддаються формалізації.

Психічні ж риси і якості людини настільки індивідуальні, що всерйоз говорити про надійність

конкретного працівника можна лише на рівні опису. До того ж, поняття теорії надійності, застосовувані в техніці, досить складно використовувати для характеристики людини. На заваді – її стомлюваність, настрої, ставлення до своїх функцій і обов'язків, до керівника тощо. А ці чинники залежать ще й від морально-психологічного клімату в колективі, характеру взаємовідносин та інших обставин.

На наше переконання, надійність людини можна розглядати у двох абсолютно різних аспектах. Перший з цих аспектів, як писав один з авторів цієї статті, "дійсно пов'язаний з характеристиками працездатності людини і має виключно важливе значення в її оцінці для особливо відповідальних видів людської діяльності. Їх прикладами слугують пілоти, оператори атомних електростанцій і хімічних виробництв, водії автобусів, капітани морських суден тощо" [10, с. 101].

Водночас слід підкреслити, що практично в будь-якій сфері людської діяльності забезпечення високого рівня працездатності людей являє собою важливе й відповідальне завдання. Тому для теорії і практики суспільного виробництва, в тому числі й для управління проектами, пошук і належне застосування ефективних способів і засобів збереження працездатності та її відновлення після втоми виступає надзвичайно важливим завданням психології і психофізіології праці.

Другий аспект проблеми визначення сенсу надійності людини доцільно пов'язувати "переважно з її особистісними рисами і якостями, її морально-вольовими характеристиками й відповідальністю". У цьому сенсі надійність працівника майже не залежить від його стомлюваності. Цей аспект скоріше характеризує не працездатність людини, а її ставлення до тих функцій і завдань, які їй необхідно виконувати, її обов'язковість, дисциплінованість та відповідальність. Таким чином, цей аспект розуміння надійності людини свідчить скоріше про те, чи заслуговує ця конкретна людина довіри, чи є вона відповідальною, чи можна з нею мати справу взагалі, наскільки серйозно вона сприймає й виконує свої обов'язки та обіцянки.

Таким чином, якщо перший аспект стосується скоріше психологічних та психофізіологічних моментів, то другий аспект змушує розглядати надійність людини в морально-етичній і загальнокультурній площині. Однак складність процесів, що відбуваються у цій площині, висуває низку вимог до керівника і до його методів взаємовідносин з командою та управління нею. Як зазначено в роботі з етики управління, "кожна сучасна організація як соціальна система прагне до забезпечення високої ефективності своєї діяльності, тобто належного функціонування відповідно до її призначення і заздалегідь визначених цілей та розвитку відповідно до обраної стратегії. А це передбачає необхідність створення комфортної, в тому числі й у етичному та психологічному відношенні, атмосфери у середовищі своїх працівників" [9, с. 56]. Але й це ще не гарантує

лояльного ставлення кожного працівника до команди та своєї діяльності у її складі, не гарантує ціннісного сприйняття ним можливості належати до неї.

Взагалі в практиці управління соціально-економічними процесами, в тому числі й в управлінні проектами, надійність як індивіда, так і тієї групи, до якої він належить, а також організації у цілому доцільно розглядати у більш вузькому сенсі та скоріше у суто прикладному значенні. Саме тут, в координатах морально-етичної і загальнокультурної площини доцільним було б вважати, що надійність людини скоріше характеризує, по-перше, її відповідальність, а по-друге – її морально-психологічні властивості. Серед них насамперед слід виокремити її вірність своєму слову чи обіцянці, її обов'язковість, дисциплінованість, точність тощо. Саме про таку людину часто образно говорять, характеризуючи високий рівень її надійності, що з нею можна йти у розвідку.

Стосовно ж розуміння надійності як характеристики проектною команди, можна запропонувати такі два підходи. Згідно з першим надійність команди можна характеризувати через показники надійності її учасників. Тут можливі кілька різних варіантів, кожному з яких притаманні як певні переваги, так і недоліки. По-перше, показником надійності команди можна вважати просту арифметичну суму відповідних показників учасників цієї команди. По-друге, таким критерієм може слугувати усереднений показник надійності, тобто ця сума, віднесена до кількості учасників. Останній випадок більш зручний для порівняння з іншими командами, якщо у цьому виникатиме потреба.

По-третє, надійність команди об'єктивно можна оцінити за найнижчим показником надійності її учасників. Дійсно, саме ця, ненадійна людина своєю недбалістю та безвідповідальністю цілком здатна звести нанівець зусилля всієї команди й зірвати термін виконання проекту чи не забезпечити належну якість виконуваних робіт або призвести до невиправданих витрат бюджету. Така оцінка змусить команду відповідним чином впливати на цю людину, а якщо та не виправляється, вносити пропозицію про її виключення з команди.

По-четверте, враховуючи різну важливість для проекту діяльності та функцій того чи іншого працівника, для оцінки надійності команди можна використовувати відповідні вагові коефіцієнти, застосовуючи їх в процесі обчислення показника надійності за першим чи другим варіантами.

Проблемою у всіх цих наведених випадках виступає визначення кількісних оцінок надійності кожного конкретного працівника, а відповідно й команди у цілому. Для розв'язання цієї проблеми можна використати експертну оцінку в балах, наприклад, за допомогою десятибальної шкали. Суб'єктивність експертної оцінки згладжує залучення кількох експертів, в тому числі й членів самої проектною команди, які оцінюють своїх партнерів, але не беруть участі в оцінці самих себе.

Цікавим є й питання стосовно того, за якими показниками діяльності й поведінки працівника і команди оцінювати їхню надійність. Наприклад, Алан Д. Опп цілком справедливо підкреслює, що "для забезпечення своєчасного виконання проекту вашій команді повинні бути притаманні необхідні навички. Тим не менше часто її невдачі пояснюються не відсутністю навичок, а недостатньою мотивацією їх використання". На його глибоке переконання, "як правило, працівникам, яким притаманні навички середнього рівня, але висока мотивація, слід віддавати перевагу порівняно з працівниками, яким притаманні навички високого рівня, але які байдуже ставляться до своєї роботи" [8, с. 90]. Автор зводить все до мотивації, хоча ми впевнені, що вона є тільки одним з певної сукупності складників, які у своїй системній цілісності й утворюють ту якість людини, яка і виступає вираженням її надійності.

В теорії і практиці управління проектами надійність в загальній системі поведінкових компетенцій фахівця прийнято розуміти у ще більш вузькому сенсі. Звичайно для характеристики надійності мається на увазі "своєчасне постачання об'єктного продукту чи послуги, які відповідають якості, вказаній у технічних умовах проекту" [2]. При цьому вважається, що як для керівника проекту, так і для його команди постійні прояви їх високої надійності саме в наведеному сенсі сприяють зростанню авторитету і впевненості замовників проектів та інших їх партнерів в тому, що саме ця команда обов'язково виконає увесь спектр обіцяних робіт в обумовлені терміни, з дотриманням бюджету та з узгодженими параметрами якості.

Це стає особливо необхідним, оскільки сьогодні помітно зростає рівень конкуренції на ринку проектних послуг. За цих умов деякі команди та їхні керівники інколи навмисно блефують, обіцяючи належне виконання робіт, стосовно яких вони не мають жодного досвіду. Отже очікувана їх надійність цілком може не співпадати з реальною. З урахуванням таких можливостей керівникові проекту необхідно ретельно підходити до формування команди й забезпечення постійного професійного та особистісного розвитку кожного з її учасників. Особливу увагу він має приділяти надійності кожного з них і надійності всієї своєї проектної команди у цілому. Перш за все для цього потрібен високий професійний та особистісний авторитет керівника, його справжній лідерський статус і визнання цього статусу як з боку реальних і потенційних замовників, так і з боку конкурентів.

Крім цього, сам сенс поняття надійності людини, будь то керівник чи просто рядовий виконавець, передбачає обов'язкову наявність у нього таких рис і якостей. Це, по-перше, високо розвинене почуття своєї особистісної відповідальності за якість виконання ним своїх службових обов'язків і завдань в межах проекту. По-друге, це почуття відповідальності за команду, за характер її діяльності і якість

результатів. Це почуття включає готовність в інтересах команди прийти на допомогу тому, хто цього потребує. По-третє, це коректна поведінка, доброзичливість та розсудливість. По-четверте, це поміркованість, здоровий глузд і довіра. Для керівника ж необхідно додати ще й створення умов для належного розвитку цих та інших професійно і соціально значущих рис і якостей членів своєї команди.

Як справжньому лідерові, йому необхідно для того, щоб сформувати у себе і членів своєї команди необхідну надійність, наполегливо прагнути виховувати й розвивати в собі і в людях відкритість і послідовність, чесність і прагнення звести до нуля можливі помилки. У тому ж разі, коли вони все ж виникають, надійний працівник визнає їх і швидко знаходить ефективні шляхи і способи їх виправлення чи усунення можливих негативних наслідків.

В умовах сьогодення технологія управління проектами набуває все більшого поширення. Це пов'язано з розвитком проектно-орієнтованих сфер суспільного виробництва. Тому керівникові вкрай необхідно поєднувати такі дві на перший погляд протилежні тенденції, як спеціалізація команди на певних видах проектів та постійне розширення сфер своєї діяльності. При цьому завжди слід пам'ятати, що надійність є однією з тих характеристик, які звичайно високо цінуються зацікавленими сторонами у своїх партнерах і створюють необхідний імідж і авторитет проектній команді та її керівникові.

Отже, команда, якій притаманний високий рівень надійності, цілком здатна розраховувати на те, що до неї завжди будуть звертатися замовники, серед яких вона зможе ще й вибирати тих, які їй уявляються найбільш цікавими у змістовному й вигідному в економічному плані. Таким чином, надійність дійсно стає економічною категорією.

Виступаючи однією з важливих, хоча і специфічних поведінкових компетенцій, надійність проектної команди істотно підвищує її шанси на успішне досягнення поставлених завдань. Разом з тим вона стимулює як окремих виконавців, так і команду в цілому і навіть інших зацікавлених сторін, які беруть участь у виконанні проекту. Більш того, надійність, яка притаманна членам проектної команди, заохочує їх до постійного здійснення самоконтролю й одночасно зміцнює їхню впевненість у собі, у своїх силах і можливостях і сприяє постійному підвищенню ними свого професіоналізму.

Таким чином, надійність проектної команди необхідно розглядати як один з важливих важелів, що забезпечує можливість ухилення від перешкод і невдач, які неминуче виникають в процесі реалізації проекту. У тому ж разі, коли не вдається їх уникнути, саме за допомогою високої надійності вдається найбільш ефективно їх долати, незмінно досягаючи успіху. Слід відзначити, що завдяки своїй власній надійності й надійності своєї проектної команди

керівник проекту і команда отримують реальну можливість не тільки отримувати гідну винагороду за свою роботу, але й постійно удосконалювати як свої поведінкові, так і контекстуальні та технічні компетенції.

Висновки

Наведений аналіз сутності надійності як однієї з важливих поведінкових компетенцій фахівця з управління проектами дає нам вагомі підстави для таких висновків. По-перше, роль і реальне значення надійності далеко не обмежуються лише її функцією поведінкової компетенції. Вона може слугувати і дійсно слугує істотною інтегральною характеристикою якості проектної команди та її здатності успішно виконувати завдання навіть досить складних проєктів.

По-друге, надійність проектної команди визначає її здатність не тільки належним чином виконувати свої стандартні функції і завдання в нормальних умовах, але й зберігати усталеність і високу працездатність у складних проблемних ситуаціях та успішно їх долати, виконуючи обумовлені проектом

роботи своєчасно, з належною якістю і в межах бюджету.

По-третє, на відміну від сенсу поняття надійності в техніці, надійність людини і проектної команди у цілому визначає не тільки і не стільки їхню працездатність, зумовлену фізичною втомою, скільки ставлення до роботи і своїх обов'язків, ціннісне сприйняття своєї приналежності до команди, дисциплінованість, відповідальність, коректну поведінку і готовність прийти на допомогу іншому членові команди, який цього потребує.

Таким чином, надійність проектної команди виступає визначальним показником її можливостей належним чином виконувати завдання, узгоджені з замовником, відповідно до визначених умов їхньої якості і терміну виконання і у цій якості слугує індикатором авторитету команди і керівника.

Перспективи подальших розвідок полягають в розробці ефективних методик і способів забезпечення високої надійності учасників проектної команди й команди у цілому та у їх впровадженні в практику діяльності керівника проекту і менеджерів та їх виховної роботи з командою.

Список літератури

1. Бойет Дж. Г., Бойет Дж. Т. Путеводитель по царству мудрости: лучшие идеи мастеров управления / пер. с англ. 2-е изд. М. : ЗАО "Олимп-Бизнес", 2004. 416 с.
2. Бушуев С. Д., Бушуева Н. С. National Competence Baseline. NCB UA Version 3.1. К. : ІРІДІУМ, 2010. 208 с.
3. Джимпел Р. М., Грей Б. Л. *Методы управления проектами. Современное управление. Энциклопедический справочник*. В 2-х т. Т. 1. М. : Издатцентр, 1997. С. 1.64–1.68.
4. Казуо Инамори. Страсть к успеху. Японское чудо. Серия "След в истории". Ростов н/Д. : Феникс, 1998. 320 с.
5. Кобиляцкий Л. С. Управление проектами : навч. посібник. К. : МАУП, 2002. 198 с.
6. Масленникова К. С., Колесникова К. В. Складники поведінкової компетенції учасника команди проекту на засадах компетентнісного підходу. *Управління розвитком складних систем*. 2013. № 14. С. 48–51.
7. Морозов В. В., Чередніченко А. М., Шпільова Т. І. Формування, управління та розвиток команди проекту (поведінкові компетенції) : навч. посібн. / за ред. В. В. Морозова. Ун-т економіки та права "КРОК". К. : Таксон, 2009. 464 с.
8. Орт А. Д. Управление проектами: Руководство по ключевым процессам, моделям и методам / Пер. с англ. Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2006. 224 с.
9. Пономарьов О. С., Заветний С. О., Пазиніч С. М., Фролова О. В. Основы этики управления : навч. посіб. / за заг. редакцією О. С. Пономарьова. Харків : ХНУ ім. В. Каразіна, 2009. 124 с.
10. Пономарьов О. С. Поведінкові компетенції в управлінні проектами : навч.-метод. посібник. Харків : Вид-во "Підручник НТУ "ХПИ", 2016. 216 с.
11. Цветков А. В. Стимулирование в управлении проектами. М. : ООО "НИЦ "АПОСТРОФ", 2001. 143 с.
12. Гринченко М. А., Пономарьов О. С., Лобач О. В. Лідерство як чинник формування проектної команди. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2018. № 1 (3). С. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.013>.
13. Гринченко М. А., Пономарьов О. С., Лобач О. В. Лідерство в системі поведінкових компетенцій фахівця з управління проектами. *Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. Харків : НТУ "ХПИ", 2018. № 2 (1278). С. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2018.1278.12>.
14. Oetl Ch., Gitte H. Unschlagbar durch gutes Teamwork. Praktische tipps fuer den Erfolg in der Gruppe. Bildung und Wissen. Verlag, 2003.

References

1. Boyyet, Dzh. G., Boyyet, Dzh. T. (2004), *The Guide to the Kingdom of Wisdom: The Best Ideas of the Masters of Management [Putevoditel' po tsarstvu mudrosti: luchshiye idei masterov upravleniya]* / transl. from English 2nd ed. Moscow : JSC "Olymp-Business", 416 p.
2. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S. (2010), *National Competence Baseline. NCB UA Version 3.1*, Kyiv : IRIDIUM, 208 p.
3. Gimpel, R. M., Gray, B. L. (1997), *"Project Management Methods. Modern management. Encyclopedic reference [Metody upravleniya proyektami. Sovremennoye upravleniye. Entsiklopedicheskiy spravochnik]*, in 2 Volume, Vol. 1, Moscow : Izdatcentr, P. 1.64–1.68.
4. Kazuo Inamori (1998), *Passion for success. Japanese miracle. Series "Footprint in history"*, Rostov n/D. : Phoenix, 320 p.
5. Kobilyatsky, L. S. (2002), *Project Management : Teach. Manual*, Kyiv : MAUP, 198 p.
6. Maslennikova, K. S., Kolesnikova, K. V. (2013), "Components of the behavioral competence of the project team participant on the basis of the competence approach" ["Skladnyky povedinkovoyi kompetentsiyi uchasnyka komandy proektu na zasadakh

kompetentnisnoho pidkholdu. Upravlinnya rozvytkom skladnykh system"], *Managing the development of complex systems*, No. 14, P. 48–51.

7. Morozov, V. V., Cherednichenko, A. M., Shpilova, T. I. (2009), *Formation, management and development of the project team (behavioral competencies)*: taught. manual [Formuvannya, upravlinnya ta rozvytok komandy proektu (povedinkovi kompetentsiyi)]: navch. posibn.] / ed. by V. V. Morozova, University of Economics and Law "KROK", Kyiv: Tucson, 464 p.

8. Orr, A. D. (2006), *Project Management: A Guide to Key Processes, Models, and Methods* [Upravlinniye proyektami: Rukovodstvo po klyuchevym protsessam, modelyam i metodam] / trans. from English, Dnepropetrovsk: Balance Business Books, 224 p.

9. Ponomarev, O. S., Zavetny, S. O., Pasinich, S. M., Frolova, O. V. (2009), *Fundamentals of Management Ethics*: Teaching. Manual [Osnovy etyki upravlinnya: navch. posib.] / for community edited by A. S. Ponomarev, Kharkiv: KhNU them. V. Karazin, 124 p.

10. Ponomarev, O. S. (2016), *Behavioral competencies in project management: teaching method*. Manual [Povedinkovi kompetentsiyi v upravlinni proektamy: navch.-metod. posibnyk], Kharkiv: View "Textbook NTU" KhPI, 216 p.

11. Tsvetkov, A. V. (2001), *Stimulation in project management* [Stimulirovaniye v upravlenii proyektami], Moscow: LLC "SIC" APOSTROF, 143 p.

12. Grynchenko, M., Ponomaryov, O., Lobach, O. (2018), "Leadership as a factor for building a project team", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2018. No. 1 (3). P. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.013>.

13. Гринченко М. А., Пономарьов О. С., Лобач О. В. Лідерство в системі поведінкових компетенцій фахівця з управління проектами. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. Харків: НТУ "ХПІ", 2018. № 2 (1278). С. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2018.1278.12>.

14. Oettl, Ch., Gitte, H. (2003), *Unschlagbar durch gutes Teamwork. Praktische tipps fuer den Erfolg in der Gruppe*. Bildung und Wissen, Verlag.

Надійшла (Received) 06.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Пономарьов Олександр Семенович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри педагогіки і психології управління соціальними системами, Харків, Україна; e-mail: palex37@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4698-2620>.

Пономарев Александр Семенович – кандидат технических наук, профессор, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", профессор кафедры педагогики и психологии управления социальными системами, Харьков, Украина.

Ponomaryov Olexandr – PhD (Engineering Sciences), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Pedagogic & Psychology of the Management of the Social Systems, Kharkiv, Ukraine.

Гринченко Марина Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри стратегічного управління, Харків, Україна; e-mail: marinagrunchenko@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8383-2675>.

Гринченко Марина Анатольевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры стратегического управления, Харьков, Украина.

Grynchenko Marina – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Strategic Management, Kharkiv, Ukraine.

Лобач Олена Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри стратегічного управління, Харків, Україна; e-mail: e.v.lobach@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7494-9997>.

Лобач Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры стратегического управления, Харьков, Украина.

Lobach Olena – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Strategic Management, Kharkiv, Ukraine.

НАДЕЖНОСТЬ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТНОЙ КОМАНДЫ

Предмет статьи состоит в определении понятия надежности каждого исполнителя проекта, а также проектной команды в целом как одной из интегральных характеристик успеха проекта. **Цель** статьи – раскрыть значение и место надежности команды проекта и его участников в общей системе поведенческих компетенций специалиста по управлению проектами. **Задача** исследования заключается, во-первых, показать, что надежность проектной команды является одной из важных характеристик специалиста по управлению проектами при формировании и развитии эффективной команды проекта. Во-вторых, рассматривать понятие надежности исполнителей проекта и команды проекта в двух аспектах. Первый из них относится к психологическим и психофизиологическим факторам, а второй касается морально-психологических факторов, таких как обязательность, дисциплинированность, доброжелательность, благоразумие и тому подобное. В-третьих, рассмотреть два подхода определения понятия надежности команды проекта. **Методы исследования** включают, во-первых, анализ роли надежности в системе поведенческих компетенций в процессе формирования эффективной проектной команды. Во-вторых, определение количественных показателей надежности каждого конкретного работника, а соответственно и команды в целом, с использованием экспертных оценок. В-третьих, определение черт и качеств, которые характеризуют надежность специалиста. **Результаты.** Надежность проектной команды выступает определяющим показателем его возможностей надлежащим образом выполнять задачи проекта согласно требованиям заказчика. Надежность нужно

рассматривать как интегральную характеристику качества проектной команды при управлении проектами и ее способности успешно решать задачи проектов. **Выводы.** Во-первых, надежность проектной команды определяет ее способность не только должным образом выполнять свои обычные функции и задачи в нормальных условиях, но и сохранять устойчивость и высокую работоспособность в сложных проблемных ситуациях и успешно их преодолевать, выполняя обусловленные проектом работы своевременно, с надлежащим качеством и в пределах бюджета. Во-вторых, надежность исполнителей и проектной команды в целом определяет отношение к работе и своим обязанностям, восприятие своей принадлежности к команде, ответственность, корректное поведение, дисциплинированность, ответственность и готовность прийти на помощь другому члену команды.

Ключевые слова: управление проектами; проектная команда; поведенческие компетенции; надежность; характеристика качества; проектное задание.

RELIABILITY AS A CHARACTERISTIC OF THE PROJECT TEAM

The **subject** of the article is the definition of the concept of reliability of each project performer, as well as the project team, is one of the integral characteristics of the project's success. The **goal** of the article is to reveal the importance and place of the project team and the participants on the behavioral competencies of the project management specialist. The **objectives** of the study are, first, to show that the reliability of the project team is one of the important characteristics of a project management specialist in the formation and development of an effective project team. Second, the concept of the reliability of the project executors and the project team will be intended in two ways. First of them concerns psychological and psychophysiological factors, while the other concerns moral and psychological factors such as compulsory, discipline, benevolence, prudence, etc. Third, it is necessary to show two approaches to determining the concept of the reliability of the project team. The methods of the study are to involve the analysis of the role of reliability in the system of the behavioral competencies in the process of forming an effective project team. Second, the definition of quantitative indicators of reliability of each particular employee, accordingly, the team as a whole, using expert assessments. Third, the reliability of a person, whether it is a manager or just an ordinary performer, involves the mandatory presence of his certain features and qualities. **Results.** The reliability of the project team is a key indicator of its ability to execute project tasks properly in accordance with the customer's requirements. The reliability should be considered as an integral characteristic of the project team quality in project management and its ability to successfully execute project tasks. **Conclusions.** First, the reliability of the project team determines its ability not only to perform its standard functions and tasks properly under normal conditions, but also to maintain firmness and high efficiency in complex problem situations and successfully overcome them, fulfilling the timely, with due quality and within the budget. Second, the reliability of the performers and the project team as a whole determines the attitude to work and responsibilities, the perception of belonging to the team, responsibility, correct behavior, discipline, responsibility and the willingness to help another member of the team.

Keywords: project management; project team; behavioral competencies; reliability; quality characteristics; project task.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Артюх Р.В.	33
Батіг А.В.	50
Белей О.І.	5
Бодянський Є.В.	42
Бондарець О.М.	120
Васильченко Я.В.	84
Владов С.І.	93
Гвоздік С.Д.	93
Грінченко М.А.	154
Гурин В.М.	57
Гурін Д.В.	57
Давидовський Ю.К.	15
Даншина С.Ю.	23
Довгопол Н.В.	103
Дорохіна А.А.	33
Жернова П.Є.	42
Кирий В.В.	103
Ковалев В.Д.	84
Кондратюк О.Л.	62
Косенко В.В.	113
Кришан О.Ф.	93, 120
Кузишин А.Я.	50
Лебедєва Д.О.	120
Лобач О.В.	154
Мазуркевич О.І.	77
Малєєва О.В.	15
Момот Д.Т.	127
Момот Т.В.	137
Мурадова В.Х.	146
Невлюдов І.Ш.	57
Петрова Р.В.	103
Пономарьов О.С.	154
Омаров М.А.	146
Рева О.А.	15
Семенець В.В.	71
Скоркін А.О.	62
Старостіна А.Ю.	33
Старченко О.П.	62
Тесленко Р.Ю.	137
Туміетто Д.	137
Філатов В.О.	71
Чернова Л.С.	77
Чернова Л.С.	77
Чеченець Д.О.	103
Чижова Л.І.	93, 120
Шаповалов М.В.	84
Шмельов Ю.М.	93

ALPHABETICAL INDEX

Artiukh Roman	33
Batig Andriy	50
Belej Oleksandr	5
Bodyanskiy Yevgeniy	42
Bondarets Elena	120
Vasilchenko Yana	84
Shmelov Yurii	93
Gvozdk Stanislav	93
Grinchenko Marina	154
Gurin Valeriy	57
Gurin Dmytro	57
Davydovskyi Yurii	15
Danshyna Svitlana	23
Dovgopol Nina	103
Dorokhina Anna	33
Zhernova Polina	42
Kyriy Valentyna	103
Kovalev Viktor	84
Kondratyuk Oleg	62
Kosenko Viktor	113
Kryshan Olexii	93, 120
Kuzyshyn Andriy	50
Liebiedieva Daria	120
Lobach Olena	154
Mazurkevych Oleksandra	77
Malyeyeva Olga	15
Momot Daryna	127
Momot Tetiana	137
Muradova Vusala	146
Nevliudov Igor	57
Petrova Roksana	103
Ponomaryov Olexandr	154
Omarov Murad	146
Reva Oleksandr	15
Semenets Valery	71
Skorkin Anton	62
Starostina Alona	33
Starchenko Olena	62
Teslenko Roman	137
Tumietto Daniele	137
Filatov Valentin	71
Chernova Liubava	77
Chernova Lyudmyla	77
Chechenets Dmytro	103
Chyzhova Liudmyla	93, 120
Shapovalov Maxim	84
Shmelov Yurii	93

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА
ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОМИСЛОВОСТІ**

Щоквартальний науковий журнал

№ 4 (6), 2018

Відповідальний за випуск *А. А. Коваленко*
Комп'ютерна верстка *О. Ю. Персіянова*

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

Україна, 61166, м. Харків, проспект Науки, 14

Тел.: +38 (057) 704-10-51

Веб-сайт: <http://itssi-journal.com>

E-mail: journal.itssi@gmail.com

Формат 60×84/8. Умов. друк. арк. 19,76. Тираж 150 прим.

Відруковано з готових оригінал-макетів в типографії ФОП Андреев К.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис №24800170000045020 від 30.05.2003.

61166, Харків, вул. Серпова, 4, тел. 063-993-62-73
e-mail: ep.zakaz@gmail.com