

**Міжнародний науково-технічний
журнал**

**ВИМІРЮВАЛЬНА ТА
ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСАХ**

2022, № 1

**International scientific-technical
journal**

**MEASURING AND COMPUTING
DEVICES IN TECHNOLOGICAL
PROCESSES**

2022, Issue 1

**Хмельницький 2022
Khmelnyskyi 2022**

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

Затверджений як фахове видання (перереєстрація), група «Б»
Наказ МОН 28.12.2019 №1643

Засновано в травні 1997 р.

Виходить 4 рази на рік

Хмельницький, 2022, № 1 (69)

Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. — Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)

Наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського <http://nbuv.gov.ua/j-tit/vott>

Журнал включено до наукометричних баз:

Index Copernicus <http://jmi2012.indexcopernicus.com/p24781565.3.html>
Google Scholar http://scholar.google.com.ua/citations?user=nwN_nusAAAAJ&hl=uk
CrossRef <http://doi.org/10.31891/2219-9365>

Головний редактор **Мартинюк В. В.**, д. т. н., професор, завідувач кафедри автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій і телекомунікацій Хмельницького національного університету

Заступник головного редактора **Бойко Ю. М.**, д. т. н., професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки, начальник науково-дослідної частини Хмельницького національного університету

Відповідальний секретар **Кравчик Ю. В.**, к. е. н., старший викладач кафедри економіки, менеджменту та адміністрування Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Бармак О. В., д.т.н., **Бедратюк Л. П.**, д.фіз.-мат.н., **Бубулис Алгимантас**, д.т.н. (Литва), **Васілевський О. М.**, д.т.н., **Горященко К. Л.**, к.т.н., **Калачинський Томаш**, PhD (Польща), **Косенков В. Д.**, к.т.н., **Кулаков П. І.**, д.т.н., **Кухарчук В. В.**, д.т.н., **Кучерук В. Ю.**, д.т.н., **Лампасі Алессандро**, PhD, (Італія), **Лукасевіч Марцін**, PhD, (Польща), **Мрозинський Адам**, PhD, (Польща), **Мусяль Януш**, PhD, (Польща), **Ортігуейра Мануель Дуарте**, PhD, (Португалія), **Походило Є. В.**, д.т.н., **Психалінос Костас**, PhD, (Греція), **Савенко О. С.**, д.т.н., **Семенко А. І.**, д.т.н., **Сурду М. М.**, д.т.н., **Шарпан О. Б.**, д.т.н.

Технічний редактор **Кравчик Ю. В.**, к. е. н.

**Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 15 від 28.04.2022**

Адреса редакції: Україна, 29016,
м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11,
Хмельницький національний університет,
Редакція журналу «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»

☎ 067-347-74-57

e-mail: vottp@khmnu.edu.ua

web: <http://vottp.khmnu.edu.ua>

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 24923-14863 ПР від 12 липня 2021 року (перереєстрація)

© Хмельницький національний університет, 2022
© Редакція журналу «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», 2022

ЗМІСТ

ОЛЕКСІЙ ЗАВГОРОДНИЙ, ДМИТРО ЛЕВКІН, ОЛЕКСАНДР МАКАРОВ, АРТУР ЛЕВКІН МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КОНТРОЛІНГУ І МОНІТОРИНГУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ	5
--	---

OLEXIY ZAVGORODNIY, DMYTRO LEVKIN, OLEXANDER MAKAROV, ARTUR LEVKIN
MATHEMATICAL MODELS OF CONTROLLING AND MONITORING IN ENERGY MANAGEMENT
OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS

ВОЛОДИМИР ФЕРЕНС ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ ЗБУРЕННЯ ДАНИХ ДЛЯ ЗАХИСТУ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ	9
---	---

VOLODYMYR FERENS
THE USE OF A DATA-EXCITATION ALGORITHM TO PROTECT CONFIDENTIALITY

ТЕТЯНА СМІРНОВА, ЮРІЙ МОТОРІН, КОСТЯНТИН БУРАВЧЕНКО, ТЕТЯНА БОЧУЛЯ, ОЛЕКСАНДР КОВАЛЕНКО ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ ХМАРНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ	15
--	----

**TETIANA SMIRNOVA, YURIY MOTORIN,
KOSTIANTYN BURAVCHENKO, TETIANA BOCHULIA, OLEKSANDR KOVALENKO**
SELECTION OF OPTIMAL TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION OF CLOUD INFORMATION
AND COMMUNICATION SYSTEM OF AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESSES

ОЛЕКСІЙ ПОЛІКАРОВСЬКИХ, ЮЛІЙ БОЙКО, ВІТАЛІЙ ТКАЧУК, ВІКТОР АВДІЄВ, ОЛЕКСІЙ СВИСТУНОВ СИСТЕМИ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОГО РАДІО ЯК ОСНОВА РОЗВИТКУ ПЕЛЕНГАЦІЙНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ	27
---	----

**OLEKSIY POLIKAROVSKYKH, JULIY BOIKO,
VITALIY TKACHUK, VICTOR AVDIEIEV, OLEKSIY SVISTUNOV**
SOFTWARE DEFINED RADIO SYSTEMS AS A BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF NEW GENERATION DIRECTION FINDING
RADIO TECHNICAL SYSTEMS

ЮРІЙ ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ, ВІКТОР ЧЕШУН, АНДРІЙ ДЖУЛІЙ, ВІТАЛІЙ ЧОРНЕНЬКИЙ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ ТА БЕЗПЕКИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	36
--	----

YURIY KHMELNYTSKYI, VIKTOR CHESHUN, ANDRIY DZHULIY, VITALII CHORNENKYI
USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES TO IMPROVE THE QUALITY OF WORK AND SAFETY
OF TELECOMMUNICATIONS NETWORKS

ЄЛИЗАВЕТА ГНАТЧУК МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ УКЛАДАННЯ ДОГОВОРУ ПРО НАДАННЯ ТЕРАПЕВТИЧНИХ ПОСЛУГ	43
---	----

YELYZAVETA HNATCHUK
MODELING OF THE DECISION-SUPPORTING PROCESS ON THE POSSIBILITY OF CONCLUDING THE CONTRACT ON THE
THERAPEUTIC SERVICES PROVISION

ВАЛЕНТИН ГАГЕН

РОЗРОБКА МЕТОДІВ АНАЛІЗУ СТРУКТУРОВАНИХ МЕДИЧНИХ ЗАПИСІВ
ДЛЯ СИСТЕМИ ОБМІНУ МЕДИЧНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ 49

VALENTYN HAHEN

DEVELOPMENT OF METHODS OF ANALYSIS OF STRUCTURED MEDICAL RECORDS
FOR THE MEDICAL INFORMATION EXCHANGE SYSTEM

ТІТОВА ВІРА, КЛЬОЦ ЮРІЙ, ПЕТЛЯК НАТАЛІЯ, КАПУСТЯН МАРІЯ

ПІДСИСТЕМА НЕЧІТКОГО ВИСНОВКУ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ
ЗАГРОЗ КОМП'ЮТЕРНІЙ ІНФОРМАЦІЇ 57

TITOVA VERA, KLOTS YURIY, PETLIAK NATALIIA, KAPUSTIAN MARIYA

FUZZY INFERENCE SUBSYSTEM FOR CLASSIFYING THREATS TO COMPUTER INFORMATION

АНДРІЙ ГОРОШКО, ІЛОНА ДРАЧ

ОСОБЛИВОСТІ ВІБРОАКТИВНОСТІ МАШИН БАРАБАННОГО ТИПУ
З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ 62

ANDRII GOROSHKO, ILONA DRACH

CHARACTERISTICS OF VIBROACTIVITY OF DRUM-TYPE MACHINES WITH A VERTICAL AXIS OF ROTATION

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-69-1-1>

УДК 519.6:001.5

Олексій ЗАВГОРОДНИЙ

Державний біотехнологічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2510-9160>

e-mail: alexey.z.2014@gmail.com

Дмитро ЛЕВКІН

Державний біотехнологічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1980-4426>

e-mail: dimallevkin23@gmail.com

Олександр МАКАРОВ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

<https://orcid.org/0000-0002-9050-4987>

e-mail: natvasmak@ukr.net

Артур ЛЕВКІН

Державний біотехнологічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5021-5366>

e-mail: levkinar26@gmail.com

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КОНТРОЛІНГУ І МОНІТОРИНГУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Стаття присвячена розробці математичних моделей і вдосконаленню чисельних методів за рахунок збільшення деталізації модельованих систем для здійснення оптимізації технологічних процесів в умовах невизначеності. Характерною особливістю досліджень є поділ математичних моделей на розрахункові і прикладні оптимізаційні. За рахунок збільшення ітерацій з побудови і розв'язання крайових задач, які лежать в основі розрахункових математичних моделей, досягається збільшення точності реалізації основної оптимізаційної задачі підвищення якості технологічного процесу зварювання листового металу. У зв'язку зі специфічними особливостями досліджуваного процесу для доказу умов коректності крайових задач автори пропонують використати теорію диференціальних операторів в просторі узагальнених функцій.

Основним завданням, яке поставлене в статті, є забезпечити моніторинг і контролінг в енергетичному менеджменті для збільшення точності і швидкості реалізації технологічного процесу зварювання металу. Запропоновано методологічний підхід для розрахунку температури дії, оптимізації часу та енергетичних витрат. В його основу входять крайові задачі диференціальних рівнянь теплопровідності і наближені методи здійснення оптимізації. Оптимізація управляючих параметрів здійснена кроковим методом по вузлам рівномірної сітки. Для розрахунку відсотка пошкодження листового металу використали відношення об'єму пошкодженого матеріалу до об'єму всього матеріалу. Оптимізація часу та енергії термічної дії здійснюється до поки не буде досягнута задана точність оптимізації параметрів або не буде вичерпаний час, відведений на оптимізацію. На думку авторів статті, результати досліджень можливо використати для прогнозування і контролю можливих ризиків при розв'язанні багатьох прикладних задач економіко-математичного моделювання.

Ключові слова: математичні моделі, чисельні методи, крайові задачі, моніторинг, контролінг.

Olexiy ZAVGORODNIY, Dmytro LEVKIN

State Biotechnological University

Olexander MAKAROV

V.N. Karazin Kharkiv National University

Artur LEVKIN

State Biotechnological University

MATHEMATICAL MODELS OF CONTROLLING AND MONITORING IN ENERGY MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS

The article is devoted to the development of mathematical models and improvement of numerical methods by increasing the detailing of simulated systems for the optimization of technological processes in conditions of uncertainty. A characteristic feature of the research is the division of mathematical models into computational and applied optimization models. By increasing iterations on the construction and solution of boundary tasks underlying computational mathematical models, an increase in the accuracy of the implementation of the main optimization problem of improving the quality of the technological process of welding sheet metal is achieved. Due to the specific features of the process under study, the authors propose to use the theory of differential operators in the space of generalized functions for proving the conditions of correctness of boundary value problems.

The main task set in the article is to provide monitoring and controlling in energy management to increase the accuracy and speed of implementation of the technological process of metal welding. A methodological approach for calculating the action temperature, time and energy cost optimization is proposed. Its basis includes boundary problems of differential equations of heat conduction and approximate ways of embodiment of optimization. Optimization of the control characteristics was carried out in a step-by-step manner using uniform grid nodes. To calculate the percentage of sheet metal damage, the ratio of the damaged material volume to the volume of the whole material was used. Optimization of the time and energy of the thermal action is carried out until the specified accuracy of the parameter optimization is achieved or the time allocated for optimization is exhausted. According to the authors of the article, the research results can be used for prediction and control of possible risks in solving many applied problems of economic mathematical modeling.

Keywords: mathematical models, multiple methods, boundary problems, monitoring, controlling.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Для підвищення ефективності функціонування складних систем потрібно забезпечити точність розрахунку управляючих параметрів модельованих процесів. При побудові і реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей це можливо досягти за рахунок збільшення деталізації досліджуваних об'єктів. Однак, тоді ускладниться вид крайових задач і функції мети. Якщо неможливо використати традиційну теорію існування єдиного розв'язку крайових задач або задач Коші, які лежать в основі розрахункових математичних моделей, тоді для доказу їх коректності застосовують методи засновані на теорії диференціальних і псевдодиференціальних операторів в просторі узагальнених функцій. Специфіка здійснених в статті досліджень полягає в відокремленні розрахункових і прикладних оптимізаційних математичних моделей. Коректність прикладних оптимізаційних математичних моделей зумовлена коректністю крайових задач.

Авторами запропонована методика оптимізації управляючих параметрів технологічного процесу зварювання листового металу з метою контролю енергетичних ресурсів і зменшення відходів досліджуваного матеріалу. Для збільшення швидкості і точності реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей в статті удосконалені математичні моделі і чисельні методи розрахунку і оптимізації параметрів складних технологічних систем. Результати наведених досліджень можуть широко застосовуватись для контролінгу і моніторингу в енергетичному менеджменті технологічних і біотехнологічних систем.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

В роботі [1] запропоновано методичний підхід до контролінгу з точки зору управління виробничими показниками суб'єктів господарювання з метою обґрунтування управлінських рішень при плануванні виробничих програм. На відміну від даної роботи автори розглядають контролінг і моніторинг стосовно енергетичного менеджменту не повністю виробничих систем в цілому, а окремих технологічних процесів. При здійсненні аналізу і систематизації складних систем слід звернути увагу на публікації авторів [2–8], які стосуються питань автоматизації проектування технологічних [2–5], транспортних [6, 7] і біотехнологічних систем [8]. В публікаціях [2–4] вдосконалені математичні моделі і методи для підвищення ефективності розрахунку втрат піддослідного матеріалу і витрат енергетичних ресурсів з метою збільшення ефективності експлуатації деталей у машинобудуванні та металургії. Математичне моделювання процесу зношування деталей для оптимізації коефіцієнту добротності трибосистем здійснене в публікації [5]. Дослідженню питань забезпечення транспортних перевезень сільськогосподарських культур в міських умовах присвячені результати публікацій [6, 7]. В статті [8] досліджений біотехнологічний процес електропорації мембрани клітин, визначена електропровідність клітин деяких сільськогосподарських тварин. На думку авторів даної статті, у сучасній літературі розв'язані більш часткові завдання, для збільшення якості функціонування цілої низки складних систем, потрібно, за можливістю, запропонувати універсальний підхід, чому і присвячені результати цієї публікації.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є підвищення ефективності контролю енергетичних витрат за рахунок удосконалення існуючих чисельних методів розрахунку і оптимізації управляючих параметрів складних систем при здійсненні технологічного процесу зварювання листового металу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Наведемо методологічний підхід до розрахунку і оптимізації технічних параметрів складних систем. Здійснемо редукцію розмірності термічного навантаження на листовий метал. Побудуємо велику рівномірну сітку дискретизації оптимізованих параметрів (енергія і час дії). Для кожного вузла сіткової моделі, які відповідають значенням енергії та часу термічної дії, побудуємо крайові задачі диференціальних рівнянь теплопровідності. В загальному виді в основі крайової задачі, лежить диференціальне рівняння:

$$CT(z, t) = F, \quad (1)$$

$$DT(z, t) = d, \quad (2)$$

де C – диференціальний оператор;

$T(z, t)$ – температурне поле;

z – просторова змінна;

t – час дії;

D – оператор, який характеризує граничні умови;

d – задана функція.

F – функція розподілу термічного навантаження;

$$F = F(z, t, u, E, s(t), v(t), q(z, t), S), \quad (3)$$

де u – інтенсивність дії;

E – енергія;

$s(t)$ – траекторія руху джерела термічного навантаження;

$v(t)$ – швидкість руху джерела;

$q(z, t)$ – густина термічної дії;

S – розміри джерела;

В основі розрахункової математичної моделі процесу термічної дії на листовий метал лежить крайова задача диференціального рівняння теплопровідності:

$$\rho c \frac{\partial T(z, t)}{\partial t} = \lambda \Delta T + q(z, t), \quad (4)$$

де ρ – коефіцієнт густини матеріалу;

c – теплоємність листового металу;

λ – коефіцієнт теплопровідності;

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа.

Граничні умови 3-го роду:

$$\left(\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} - A(T_{sh} - T_{ex}) \right) \Big|_{z=0} = 0, \quad (5)$$

де A – параметр тепловіддачі листового металу;

T_{sh}, T_{ex} – температури листового металу і навколишнього середовища.

Граничні умови на початку і наприкінці термічної дії:

$$\begin{cases} T(z, t) \Big|_{t=t_0}^{z=z_0} = T_0; \\ T(z, t) \Big|_{t=t_1}^{z=z_1} = T_1, \end{cases} \quad (6)$$

де T_0, T_1 – температури металу на початку та наприкінці дії, відповідно;

Коректність прикладних оптимізаційних математичних моделей зумовлена коректністю крайових задач. Через особливості будови досліджуваних об'єктів, які піддаються термічній дії, досить часто для доказу коректності крайових задач доводиться використати теорію диференціальних операторів. Виходячи зі специфіки крайових задач, для їх розв'язку можливо застосувати, наприклад, методи відокремлених змінних і невизначених коефіцієнтів. Вводиться припустима температура дії на листовий метал. Здійснено пошук локальних екстремумів температурного поля кроковим методом по вузлам сіткової моделі. Для оцінки витрат матеріалу скористаємось відношенням:

$$H = \frac{V(T)}{V_{met.}} \times 100\%, \quad (7)$$

де $V(T)$ – об'єм матеріалу на який діють з температурою більшою за задану припустиму;

$V_{met.}$ – об'єм матеріалу.

Методом спрямованого перебору локальних екстремумів температурного поля здійснимо пошук його оптимальних параметрів. З метою збільшення точності оптимізації виконане подрібнення кроків сіткової моделі і пошук локальних екстремумів продовжується до поки не буде вичерпаний час, відведений на оптимізацію, чи не буде досягнута обговорена точність оптимізації. Важливість результатів публікацій [9, 10] для досліджень даної статті полягає в аналізі методичних підходів до розрахунку і оптимізації параметрів інших складних технічних систем.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У статті запропоновано методологічний підхід до прогнозування і контролю енергетичних витрат з метою збільшення ефективності технологічного процесу зварювання листового металу. В його основі лежать крайові задачі диференціальних рівнянь теплопровідності і наближені методи здійснення оптимізації технічних параметрів складних систем, які містять сконцентровані джерела термічного навантаження. Застосування запропонованого авторами підходу дозволить підвищити точність реалізації оптимізаційної задачі підвищення якості технологічного процесу зварювання листового металу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fedicheva K. [Controlling, monitoring and diagnostics in identifying effective management practices of agricultural enterprises.](#) / K. Fedicheva, O. Kochetkov, S. Honcharenko, R. Levkina, M. Bichevin. // Agricultural and Resource Economics. – 2021. – Vol. 7. Issue. 2. – Pp. 200–218. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.313636>
2. Scoblo T.S. Features of the carbide phase degradation under heating and deformation. / T.S. Scoblo, O.Y. Klochko, V.N. Romanchenko, E.L. Belkin. // Letters on Materials. – 2021. – Vol. 11. No. 1. – Pp. 22–27. <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2021-1-22-27>
3. Scoblo T.S. [Structure formation of high-chromium cast irons in the temperature range of the magnetic transformation of carbide phases.](#) / T.S. Scoblo, O. Yu. Klochko, E.L. Belkin, A.I. Sidashenko, V.K. Avetisyan. // Letters on Materials. – 2020. – Vol. 10. No. 2. – Pp. 129–134. <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2020-2-129-134>
4. Scoblo T.S. [Signs of Degradation of Carbide Phases in Chromium-Nickel Cast Iron at the Operating Temperatures of Forming Rolls.](#) / T.S. Scoblo, O.Yu. Klochko, O.I. Sidashenko, I.L. Belkin, A.K. Avtukhov, T.V. Maltsev, E.S. Deryabkina, N.M. Kolpachenko. // Materials Science. – 2021. – Vol. 56. No. 6. – Pp. 771–778. <https://doi.org/10.1007/s11003-021-00494-6>
5. Vojtov V.A. [Evaluation of Tribotechnical Characteristics for Tribosystems in the Presence of Fullerenes in the Lubricant.](#) / V.A. Vojtov, Kravtsov A.G., Tsybal B.M. // Journal of Friction and Wear. – 2020. – Vol. 41. No.6. – Pp. 521–525. <https://doi.org/10.3103/S1068366620060197>
6. Volkov V. Determining the efficient management system for a specialized transport enterprise. / V. Volkov, I. Taran, T. Volkova, O. Pavlenko, N. Berezhnaja. // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2020. – Vol. 4. – Pp. 185–191. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/185>
7. Vojtov V. Modeling of reliability of logistic systems of urban freight transportation taking into account street congestion. / V. Vojtov, O. Kutiya, N. Berezhnaja, M. Karnaukh, O. Bilyaeva. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 4. No. 3. – Pp. 15–21. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175064>
8. Shigimaga V.A. [Conductometry in pulsed electric field with rising strength: Bioelectrochemical applications.](#) / Shigimaga V.A. // Analytical and Bioanalytical Electrochemistry. – 2019. – Vol. 11. No.5. – Pp. 598–609.
9. Scoblo T.S. Influence of Stresses on Structural Changes in Gray Cast Iron. / T.S. Scoblo, O.I. Sidashenko, O.V. Saichuk, O.Y. Klochko, D.A. Levkin. // Materials Science. – 2020. – Vol. 56. No. 3. – Pp. 347–358. <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00436-8>
10. Kravtsov A. Development of a rheological model of stress relaxation in the structure of an oil film on the friction surface with fullerene additives. / A. Kravtsov, A. Suska, A. Biekurov, D. Levkin. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 3. No. 7 (111): Applied mechanics. – Pp. 93–99. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235468>

Володимир ФЕРЕНС
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ ЗБУРЕННЯ ДАНИХ ДЛЯ ЗАХИСТУ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ

В роботі проведено дослідження алгоритмів захисту конфіденційності для великомасштабних даних на основі машинного навчання. У сучасному світі у повсякденному житті та для дослідників і практиків проблема захисту конфіденційності великих даних є чи не найосновнішою проблемою та актуальною задачею. За результатами проведених досліджень удосконалено метод захисту конфіденційності для більш ефективного використання енергоносіїв. Також набув подальшого розвитку метод, за допомогою якого забезпечується можливість імплементації його у систему охорони здоров'я.

Ключові слова: конфіденційність, безпека даних, алгоритм захисту конфіденційності, аналітика даних і машинне навчання, Інтернет речей, конденсація даних, адаптивний шум.

Volodymyr FERENS
Khmelnitsky National University

THE USE OF A DATA-EXCITATION ALGORITHM TO PROTECT CONFIDENTIALITY

Combining a large number of different technologies, such as the Internet of Things, cloud computing, computational computing and machine learning, contributes to the rapid and active spread of technological development in various fields, such as health, energy, agriculture, transportation, etc. The increase in the number of publicly available gadgets has contributed to the rapid growth of the Internet of Things, becoming one of the main sources of large data flows.

Cyberspace covers not only the physical sphere, but also the human, a huge amount of information (data) becomes available for analysis. Analytical processing of large amounts of data, with the development of their generation speed, gives excellent results and provides extreme accuracy in creating important ideas. One of the approaches that attracts the most attention is in-depth training, which provides high performance with large amounts of data. Various areas, including the above, work closely with data privacy. They show a tendency to increase the consequences due to the disclosure of confidential data to third parties, attacks on databases and more. Corporations and other organizations are constantly striving to ensure maximum confidentiality and that all information is stored on the company's local servers. To prevent breaches of privacy, machine learning, together with data analytics, should implement all possible privacy protection scenarios to ensure that users' privacy is not compromised. There are many approaches to maintaining confidentiality, however, the sheer size of large amounts of data and data flows make maintaining a confidentiality a challenge. The main problem among the existing approaches is their inability to maintain the right balance between confidentiality, usefulness and efficiency when dealing with large amounts of data. Some effective approaches provide good privacy but do not provide sufficient performance during data operations, while others, on the contrary, provide good performance but do not provide a high level of privacy.

This paper investigates privacy protection algorithms for large-scale data based on machine learning. In today's world in everyday life and for researchers and practitioners, the problem of protecting the privacy of big data is the most basic problem and urgent challenge. Based on the results of this research, a privacy protection method has been improved for more efficient use of energy. The method has also been further developed to enable its implementation in the healthcare system.

Key words: Confidentiality, Data security, Data analytics and machine learning, Internet of Things(IoT), Data Condensation, adaptive noise.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ТА ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Об'єднання великої кількості різних технологій, таких як Інтернет речей, хмарні обчислення, граничні обчислення та машинне навчання сприяють стрімкому та активному поширенню технологічного розвитку у різних сферах, таких як охорона здоров'я, енергетика, агропромисловість, транспортування тощо. Збільшення кількості загальнодоступних гаджетів сприяло швидкому зростанню Інтернету речей, ставши одним з основних джерел великих потоків даних.

Кіберпростір охоплює не тільки фізичну сферу, але і людську, величезна кількість інформації (даних) стають доступними для аналізу. Аналітична обробка великих об'ємів даних, з розвитком швидкості генерації їх, дає чудові результати та забезпечують надзвичайну точність у створенні важливих ідей. Одним із підходів, що привертає найбільшу кількість уваги є поглиблене навчання, яким забезпечується висока продуктивність з обсягами великих даних. З конфіденційністю даних тісно співпрацюють різні сфери, зокрема вищеназвані. У них помітна тенденція зростання наслідків через відкриття конфіденційних даних третім особам, атак на бази даних тощо. Корпорації та інші організації постійно прагнуть, забезпечення максимальної конфіденційності та щоб вся інформація зберігалась на локальних серверах компанії. Для запобігання порушень конфіденційності машинне навчання разом із аналітикою даних повинно запровадити всі можливі сценарії захисту конфіденційності для забезпечення неушкодженості конфіденційності

користувачів. Існує багато підходів до збереження конфіденційності, однак, величезні розміри великої кількості даних і потоків даних роблять збереження конфіденційності важкою задачею. Головною проблемою серед існуючих підходів є їх неспроможність підтримки правильного балансу між конфіденційністю, корисністю та ефективністю при оперуванні з великою кількістю даних. Деякі ефективні підходи забезпечують хорошу конфіденційність, але не забезпечують достатньої швидкодії під час операцій із даними, у той час як інші – навпаки забезпечують хорошу швидкість, але не забезпечують високий рівень конфіденційності.

Постійні вдосконалення у сфері аналітики даних і технік машинного навчання, таких як поглиблене навчання, довели, що дають високу точність, забезпечуючи надійні прогнози. Однак такі підходи часто покладаються на величезні обсяги даних, які, можливо, потрібно буде збирати із різних джерел. Для прикладу, моделі які тренуються на масиві бази даних, зазвичай, розкривають особисту інформацію, та є вразливими до атак, які ставлять за мету порушити конфіденційність даних. Окрім цього, вразливою, є область аналізу біометричних даних: це можуть бути як і данні із датчика аналізу відбитків пальців, що є чи не в кожному смартфоні, так і розпізнавання обличчя та сканування сітківки ока. Ці області виконують ресурсозатратні та важкі завдання, які часто залучають сторонні сервера, а отже до яких можуть отримати доступ зловмисники. Тому, якщо біометрична інформація неконтрольовано доставляється на ненадійні та сумнівні сторонні сервери, то це можна вважати чималим витоком конфіденційності (тобто неконтрольований витік інформації), оскільки данні отримані із біометричних датчиків можна співвідносити із конфіденційними даними записів медперсоналу та інформації банківських операцій. Атаки на конфіденційність намагаються зробити все, для виявлення ідентичності осіб у вхідних даних, які використовуються для кожного екземпляру даних або моделі машинного навчання. Таким чином, порушення конфіденційності може значно вразити цілісність та безпеку інформації, а також передати особисту інформацію в ненадійне середовище, до якого кібер-зловмисники звертаються зі зловмисним наміром.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Кількісно визначити конфіденційність конкретних методів конфіденційності за допомогою показників конфіденційності досить складно. У літературі наведено [1] велику кількість визначень показників конфіденційності. Відповідно до конкретних типів методів конфіденційності (наприклад, втручання в збурення багатовимірних даних). Таким чином можна показати показник конфіденційності, який є методом збурення даних основою якого є адаптивний шум, що базується на залежності від близькості між порушеним значенням і його вихідним значенням. Цей показник оцінює вірогідність [с] вихідної оцінки протягом інтервалу часу [a, b]. Наразі конфіденційність оцінюється за інтервалом [a, b] та вірогідністю [с]. Цей метод має проблему неприйняття. Запропоновано розподіл бази вихідних даних на рахунки. На основі ентропії даних існує більш загальний метод кількісної оцінки конфіденційності. Поняття «інформація, що пов'язана з даними» використовується для визначення рівня конфіденційності. Однак одним із основних недоліків цього підходу є те, що він не враховує фактори, які викликають ризики, що є напряму пов'язані із змагальними атаками. Для додаткового методу інтерференції даних на основі шуму з урахуванням близькості між початковими значеннями та вихідні значеннями. Одним із основних цього підходу є те, що він так чи інакше не враховує ризики, які є напряму пов'язані з атаками зловмисника на основі базових знань. У цьому сценарії для обміну даними конфіденційності існують різні атрибути. І передбачено, що в них присутні різні рівні захисту конфіденційності. Вищесказане несе більш конфіденційну інформацію, ніж інші атрибути і також тісно пов'язано з ними. Між іншим, різниця присутня як і між збуреними та і між невикористаними атрибутами. Основна важкість – це оцінка початкових даних після використання збурення. Вища різниця дисперсії забезпечує [2-4] відповідну її конфіденційність. А статистична різниця (названої дисперсії) передбачає більш високий рівень складності при аналізі вхідних даних, а саме їх оцінці. Покращення рівню конфіденційності (найслабшого атрибута) є основною метою збереження конфіденційності. Однак підходи до збереження конфіденційності, які використовують цей підхід часто не є ефективними. Така продуктивність зумовлена ітераційним характером пошуку оптимальної цілі для покращення конфіденційності атрибута, що володіє найменшою силою. Для подолання невизначеного рівня приватності була введена модель конфіденційності [4-5]. Моделі конфіденційності включають: анонімність, багатоманітність, стислість і диференційну конфіденційність. Модель конфіденційності гарантує концептуальний підхід до виконання та дотримання суворих умов безпеки. Отже модель конфіденційності під час глибокого аналізу даних і машинного навчання забезпечує достатньо організований спосіб кількісної оцінки конфіденційності.

Є три технологічні підходи конфіденційності: контроль над розкриттям статистичних даних, інтелектуальний аналіз даних для збереження конфіденційності і технології, що підвищують конфіденційність. Шифрування на основі атрибутів, контроль доступу за допомогою аутентифікації, контроль доступу на основі часу та розташування, а також використання протоколів на основі обмежень – це деякі механізми, які використовуються для покращення конфіденційності систем у динамічних середовищах. Основні підходи для інтелектуального аналізу даних для збереження конфіденційності можна

розмежувати за чотирма типами: криптографічні підходи, збурення даних, незбурювані підходи, штучне генерування даних. Серед різноманіття підходів до інтелектуального аналізу даних часто надають перевагу збуренню (модифікації) даних через його простоту, ефективність та можливість налаштування компромісу між конфіденційністю. Ці властивості роблять збурення даних найкращою альтернативою, як, для прикладу, великі дані та потоки даних.

Коли справжні дані (вихідні) повністю змінюються перед тим, як вони повідомляються третій стороні, яка потенційно може бути зловмисником – збурення даних. Порівнюючи з гомоморфним шифруванням, або із аналогічним криптографічним підходом, змінені дані не піддаються жодним форматам перетворення, зважаючи на те, що просторова та часова важкість є меншою. Оскільки гомоморфні шифрування[4] забезпечують достатньо високий рівень конфіденційності. Але слід враховувати, що під час збурення даних рівень витоку даних хоч і часто мінімальний, але присутній, тому слід передбачувати всі можливі виходи даних, щоб не було порушень цілісності даних чи їх конфіденційності. Початкове значення x згенерується шляхом додавання до x випадкової величини g до x або шляхом застосування певного процесу рандомізації до x . На рисунку 1 показано збурення даних, котрі можна розділити на два класи: 1) збурення вхідних даних та 2) збурення вихідних даних.

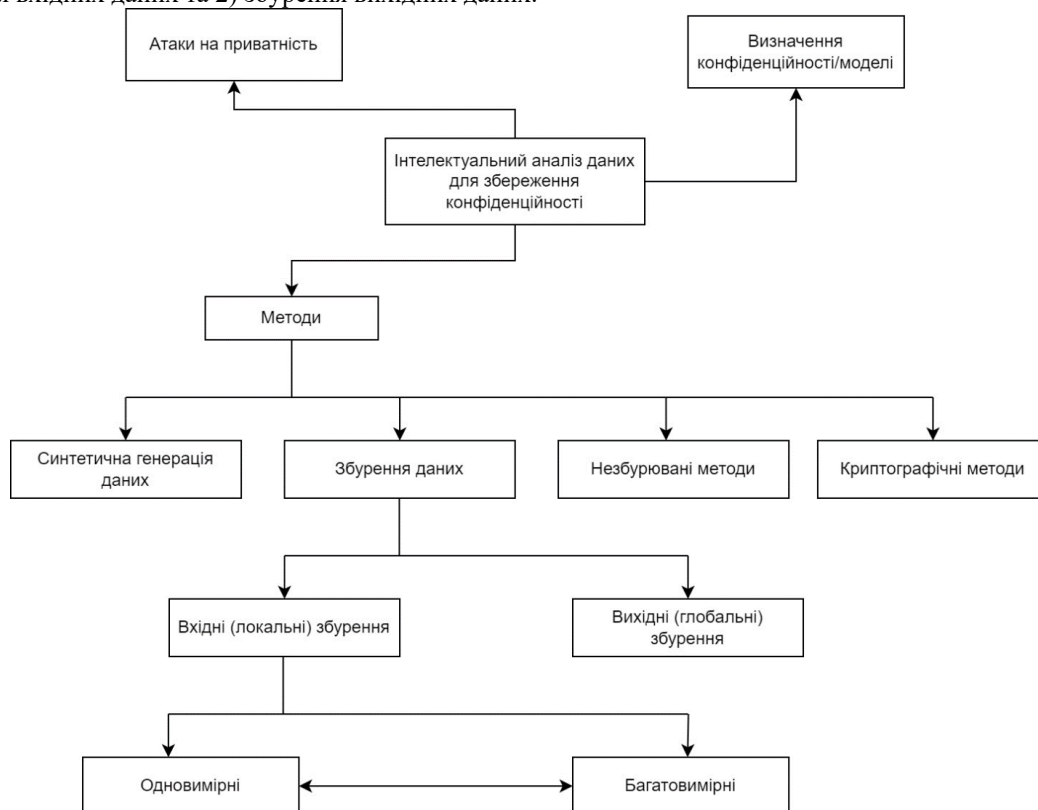


Рис. 1. Класифікація існуючих методів інтелектуального аналізу даних для збереження конфіденційності

Виходячи із цих методів запропоновано систему збереження конфіденційності, як підхід(алгоритм) до розподіленого машинного навчання. Цей алгоритм є розподіленим алгоритмом, що сприяє збереженню конфіденційності, який використовує збурення даних. Алгоритм підтримує збурення великих даних із підтримкою їх поширення між розподіленими об'єктами без порушення конфіденційності. Фактичне збурення відбувається в розподілених сутностях локальних пристроїв включаючи локальні правила та глобальні параметри збурень. Тому, алгоритм збурення розподілених даних обмежує вихідні дані для передачі (до збурення) через мережу, через необхідність захисту інформації від третіх сторін, які можуть несанкціоновано отримувати доступ до даних, та діяти із ними у своїх, злочинних цілях для отримання власної вигоди. Генерація глобальних параметрів збурення інформації із високою імовірністю може гарантувати відсутність погіршення точності чи стійкості до атаки збурених даних. Як наслідок алгоритм успішно запобігає витоку конфіденційності.

Важливим є використання метрики конфіденційності із багатьма колонками для оцінки запропонованого методу. Алгоритм забезпечує розподіл на користувачів, власників чи адміністраторів наборів даних відповідно до їх ролей у тій чи іншій сфері (рисунок 2), де ці дані застосовуються відповідно правил. Це забезпечують і додаткові релізи версій вихідного набору даних. Отже, вихідний набір буде всього-на-всього недоступним для користувачів, і не зможе бути доступним за жодних обставин та причин.



Рис. 2. Приклад розподіленої організаційної структури

На рисунку 2 зображено екосистема охорони здоров'я[5] яка територіально розподілена між кількома місцями. Система охорони здоров'я може мати безліч розподілених філій, що сприяють та збирають безліч даних про охорону здоров'я, включаючи дані датчиків інтернету речей. Центральний орган у переважній більшості випадків координує роботу розподілених лікарень з погляду з погляду підтримки цілісності даних підтримки широкого спектра аналітики. Центральний орган (дослідний центр) також відповідає за обмін даними з третіми сторонами для підвищення інтелектуальності та якості обслуговування пацієнтів.

Збурення вихідних даних називається глобальним збуренням даних, тоді як збурення вхідних даних -- локальним збуренням даних. На рисунку 1 показано, що збурення даних проводиться на даних, коли вони полишають власників даних. Довірена особа при збуренні даних (переважно вихідних) застосовує збурення даних до вихідних даних, які отримуються в результаті виконання запитів на них. Не дивно, що регулярність застосування збурень як вхідних так і вихідних даних, що потребують конфіденційності є досить високою. Таким чином збурення переважно варто застосовувати на збуренні вхідних даних, саме для ненадійних середовищ, де треті особи мають доступ до інформації, або безпека середовища не є на високому рівні. Якщо порівнювати вхідне і вихідне збурення даних, то на вхідних – присутнє застосування, якого неможливо уникнути вищого рівня випадковості, що дає забезпечення і посилення рівнів конфіденційності, ніж збурення власне вихідних даних.

Для розширення вказаної ідеї розглянуто дисперсію різниці між збуреними і незбуреними наборами даних. Атрибут, який розглянуто у цьому методі повертає мінімальну дисперсію для різниці, та розглядається як мінімальна гарантія збереження конфіденційності даних. Якщо X^P відображає збурений ряд даних атрибуту X , то рівень конфіденційності методу збурення варто визначати:

$$Var(P), \text{ при } P = (X^P - X). \quad (1)$$

В такому випадку має місце рівність:

$$Var(P) = Var(p_1, p_2, \dots, p_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2. \quad (2)$$

Найкращі параметри збурення визначаються наступним чином. Під час кожної ітерації відбувається максимізація значення ϕ . Це власне і сприяє створенню значення ϕ . Як зазначено у рівняннях нижче. При цьому вісь відбиття змінюється від 1 до n (кількості атрибутів). Кут повороту при цьому змінюється у діапазоні значень від 0° до 179° Таким чином повертається найбільше значення ϕ для мінімальної гарантії конфіденційності ϕ .

$$\phi = \max ([[\phi_j]_{j=1}^{179}]). \quad (3)$$

Наступним кроком є генерація матриці обертання за допомогою найкращих параметрів збурення. АЗК записує оптимальний кут повороту і вісь відбиття на Φ . Наступне рівняння слід використовувати відповідно оптимального кута.

$$RF_{\overline{ND}} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & & \ddots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}_{(n+1)(n+1)} \quad (4)$$

Далі слід застосувати складене перетворення відображення, переміщення та обертання до нормалізованої матриці з використанням матриць оптимального відображення та оптимального обертання.

Обґрунтування та технічна новизна. Алгоритм захисту конфіденційності для великих даних застосовує геометричні перетворення із достатньо оптимальними та оптимізованими параметрами збурення[6] при цьому збільшує випадковість за допомогою випадкових розширень та відповідних перестановок кортежів. Він визначає конфіденційність так, що результуючий набір даних має високий рівень різниці, який є оптимальним у порівнянні з вихідним набором даних. Це все відповідно нашого розподілу[7], що використовується в алгоритмі, оскільки відбувається мінімізація простору пошуку, та знаходження найкращої моделі можливого збурення даних, можна стверджувати, що вона є корисною для конкретного набору даних.

Оцінку продуктивності зосереджено на корисності, яку можна визначити як зручність використання або як ефективність використання збурення даних. Досліджено корисність алгоритму з точки зору класифікації. Таким чином алгоритм захисту конфіденційності ставить за мету довести комфортність використання, яка заснована на тимчасовій складності, боротьбу із надмірними витратами пам'яті, масштабованості та упередженнях, що охоплюють основу оцінки. Вихідні набори даних були збурені за допомогою алгоритму, геометричним та обертальним збуренням[8-9]. Тому, це дало можливість порівняти результати за допомогою непараметричного статистичного тесту. Обчислювана складність алгоритму полягає у виконуваний центральній сутності, що відповідає $O(k)$ для кількості екземплярів, де k – постійна змінна.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Сьогодні існує велике різноманіття систем, які є сучасними та прогресивними. Для прикладу може слугувати банківська справа чи вищезгадана охорона здоров'я. Ці системи є часто обмежені. Зокрема це відбувається у аналітичному використанні належних механізмів для обміну даними із відповідним забезпеченням конфіденційності для аналітики. Оскільки наш алгоритм є композиційним та його без вагань може бути розширено для нарощення його функціоналу. Він може забезпечити конфіденційність машинного навчання, яке є розподіленим. У запропонованій системі весь контроль генерації даних та глобальних параметрів збурення належить центральному контролюючому органу, в той час як локальне збурення даних може бути проведене генерацією глобальних параметрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. From old to new: Assessing cybersecurity risks for an evolving smart grid / L. Langer, F. Skopik, P. Smith, M. Kammerstetter. *Computers & Security*. 2016. № 62. P. 165–176
2. Chen, H.-L., Doty, D., Soloveichik, D.: Deterministic function computation with chemical reaction networks. *Nat. Comput.* 13, 517–534 (2014)
3. Censor-Hillel, K., Parter, M. & Schwartzman, G. Derandomizing local distributed algorithms under bandwidth restrictions. *Distrib. Comput.* 33, 349–366 (2020). URL: <https://doi.org/10.1007/s00446-020-00376-1>
4. Методики визначення вихідних даних для оцінки залишкових ризиків при забезпеченні конфіденційності інформаційних об'єктів URL: <http://drsp.ipri.kiev.ua/article/view/142921> Privacy preserving data classification with rotation perturbation, *Fifth IEEE International Conference on Data Mining (ICDM'05)* 27-30 Nov. 2005 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1565733>
5. A Survey on Homomorphic Encryption Schemes: Theory and Implementation. *ACM Computing Surveys* Volume 51 Issue 4 July 2019 Article No.: 79 pp 1–35 URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3214303>
6. The Enhancement of Security in Healthcare Information Systems *Journal of Medical Systems* volume 36, p.1673–1688 (2012) URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-010-9628-3>
7. Homotopy perturbation method with an auxiliary parameter for nonlinear oscillators *Journal of Soft Computing Paradigm (JSCP)* (2021) Vol.03/ No.01 Pages: 19-28 URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1461348418811028>
8. Big Data Analysis and Perturbation using Data Mining Algorithm *Journal of Soft Computing Paradigm (JSCP)* (2021) Vol.03/ No.01 p. 19-28 URL: <https://irojournals.com/jsep/V3/I1/03.pdf>
9. Generalized random rotation perturbation for vertically partitioned data sets, *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining*. 2019 IEEE Xplore: 15 May 2009 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4938644>

REFERENCES

1. From old to new: Assessing cybersecurity risks for an evolving smart grid / L. Langer, F. Skopik, P. Smith, M. Kammerstetter. *Computers & Security*. 2016. № 62. P. 165–176

-
2. Chen, H.-L., Doty, D., Soloveichik, D.: Deterministic function computation with chemical reaction networks. *Nat. Comput.* 13, 517–534 (2014)
 3. Censor-Hillel, K., Parter, M. & Schwartzman, G. Derandomizing local distributed algorithms under bandwidth restrictions. *Distrib. Comput.* 33, 349–366 (2020). URL: <https://doi.org/10.1007/s00446-020-00376-1>
 4. Methods for determining the source data for the assessment of residual risks in ensuring the confidentiality of information objects URL: <http://drsp.ipri.kiev.ua/article/view/142921> Privacy preserving data classification with rotation perturbation, Fifth IEEE International Conference on Data Mining (ICDM'05) 27–30 Nov. 2005 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1565733>
 5. A Survey on Homomorphic Encryption Schemes: Theory and Implementation. *ACM Computing Surveys* Volume 51 Issue 4 July 2019 Article No.: 79 pp 1–35 URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3214303>
 6. The Enhancement of Security in Healthcare Information Systems *Journal of Medical Systems* volume 36, p.1673–1688 (2012) URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-010-9628-3>
 7. Homotopy perturbation method with an auxiliary parameter for nonlinear oscillators *Journal of Soft Computing Paradigm (JSCP)* (2021) Vol.03 / No.01 Pages: 19–28 URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1461348418811028>
 8. Big Data Analysis and Perturbation using Data Mining Algorithm *Journal of Soft Computing Paradigm (JSCP)* (2021) Vol.03 / No.01 p. 19–28 URL: <https://irojournals.com/jscp/V3/I1/03.pdf>
 9. Generalized random rotation perturbation for vertically partitioned data sets, IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining. 2019 IEEE Xplore: 15 May 2009 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4938644>

Тетяна СМІРНОВА, Юрій МОТОРІН, Костянтин БУРАВЧЕНКО

Центральноукраїнський національний технічний університет

Тетяна БОЧУЛЯ

Державний біотехнологічний університет

Олександр КОВАЛЕНКО

Центральноукраїнський національний технічний університет

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ ХМАРНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Дана робота присвячена удосконаленню існуючих та розробці нових методів побудови сучасної хмарної інформаційно-комунікаційної інфраструктури підприємств з метою її подальшого використання для автоматизації виробничих процесів. Об'єктом дослідження є процес побудови хмарної інформаційно-комунікаційної системи автоматизації виробничих процесів. Предметом дослідження є метод вибору оптимальної технології побудови хмарної інформаційно-комунікаційної системи автоматизації виробничих процесів. Метою даної роботи є проведення дослідження та здійснення відповідного вибору оптимальної технології побудови хмарної інформаційно-комунікаційної системи для оптимізації виробничих процесів. Дослідження, проведені в даній роботі дозволили провести аналіз та здійснити відповідний вибір оптимальної технології для використання її з метою оптимізації виробничих процесів. Для цього було розроблено модель багатокритеріальної оптимізації, визначено пул комунікаційних технологій, які можуть бути використані для оптимізації виробничих процесів. В результаті, проведений багатокритеріальний аналіз дозволив впевнитись в доцільності розгортання стільникових мереж 5G для автоматизації виробничих процесів. Також було запропоновано методику вибору оптимальних проектних рішень технологій мобільного зв'язку 5G.

Ключові слова: оптимальна технологія, хмарна інформаційно-комунікаційна система, автоматизація виробничих процесів.

Tetiana SMIRNOVA, Yurii MOTORIN, Kostiantyn BURAVCHENKO

Central Ukrainian National Technical University

Tetiana BOCHULIA

State Biotechnological University

Oleksandr KOVALENKO

Central Ukrainian National Technical University

SELECTION OF OPTIMAL TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION OF CLOUD INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEM OF AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESSES

This work is devoted to the improvement of existing and development of new methods of building a modern cloud information and communication infrastructure of enterprises in order to further use it to automate production processes. The object of research is the process of building a cloud information and communication system for automation of production processes. The subject of research is the method of choosing the optimal technology for building a cloud information and communication system for automation of production processes. The purpose of this work is to conduct research and implement the appropriate choice of optimal technology for building a cloud information and communication system to optimize production processes. The research conducted in this work allowed to analyze and make the appropriate choice of the optimal technology for its use in order to optimize production processes. To do this, a model of multicriteria optimization was developed, a pool of communication technologies that can be used to optimize production processes was identified. As a result, the multicriteria analysis allowed us to see the feasibility of deploying 5G cellular networks to automate production processes. A method for selecting optimal design solutions for 5G mobile technologies was also proposed.

Keywords: optimal technology, cloud information and communication system, automation of production processes.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Науково обґрунтоване планування й оптимізація інформаційних мереж, які забезпечують надання запитуваних послуг із заданими показниками ефективності функціонування, є дуже складною науково-технічною й економічною проблемою, без вирішення якої неможливе створення хмарної інформаційної інфраструктури підприємства, що відповідає всім потребам та сформованим вимогам [1-3]. Тому, дана робота присвячена саме удосконаленню існуючих та розробці нових методів побудови сучасної хмарної інформаційно-комунікаційної інфраструктури підприємств з метою її подальшого використання для автоматизації виробничих процесів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДЖЕРЕЛ

У роботі [4] визначено поняття ефективності інформаційно-комунікаційної мережі. Опис існуючих технологій бездротового зв'язку, які можливо застосувати для побудови хмарної інформаційно-

комунікаційної системи автоматизації виробничих процесів наведено у роботах [5-13]. У роботах [5, 6] розглянута специфікація LoRaWAN, у роботі [7] розглянута специфікація мережі IEEE 802.15.4-2011, у роботі [8] розглянута специфікація IEEE 802.15 WPAN, у роботах [9, 10] розглянута специфікація Wi-Fi 6, у роботах [11-13] розглянута специфікація 5G. При цьому було враховано, що однією з головних проблем розгортання сучасних безпроводових мереж зв'язку є більш ефективне планування, що дозволить з одного боку забезпечити необхідну якість обслуговування (цільову ефективність) та з іншого підвищити економічну ефективність використання мережевих ресурсів [4-13].

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Методи дослідження. Основні теоретичні положення роботи отримані з використанням методів теорії оптимізації, теорії складних систем, теорії телекомунікацій.

Об'єктом дослідження є процес побудови хмарної інформаційно-комунікаційної системи автоматизації виробничих процесів.

Предметом дослідження є метод вибору оптимальної технології побудови хмарної інформаційно-комунікаційної системи автоматизації виробничих процесів.

Тому метою даної роботи є проведення дослідження та здійснення відповідного вибору оптимальної технології побудови хмарної інформаційно-комунікаційної системи для оптимізації виробничих процесів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Узагальнена модель оцінки ефективності інформаційно-комунікаційних мереж

Ефективність інформаційно-комунікаційної мережі – це її здатність досягати поставленої мети у заданих умовах функціонування з певним рівнем якості, тобто це характеристика, що відображає ступінь відповідності мережі своєму призначенню, технічну досконалість та економічну доцільність [4]. Поняття ефективності пов'язані з отриманням деякого корисного результату – ефекту використання інформаційно-комунікаційних мереж, який досягається ціною витрат певних ресурсів, тому ефективність мережі можна розглядати як співвідношення між ефектом (видаєм) і витратами.

Показник ефективності мережі – кількісна характеристика інформаційної мережі, що розглядається стосовно певних умов її функціонування. Оцінюючи ефективність інформаційної мережі необхідно враховувати характеристики праці людини, взаємодіючого з комп'ютерною технікою та іншим технічними засобами мережі (засобами автоматизації).

Будемо визначати показник ефективності інформаційної мережі процесом її функціонування та відповідно функціоналом від цього процесу.

Загалом $W = W(t, L_k, L_{TP}, L_A, L_D, L_U)$, де W – множина показників ефективності мережі, t – час; $L_k, L_{TP}, L_A, L_D, L_U$ – множина параметрів відповідно до входних потоків запитів на обслуговування користувачів (L_k), технічних та програмних засобів мережі (L_{TP}), алгоритмів обробки та передачі інформації в мережі (L_A), діяльності користувачів (L_D), умов функціонування мережі (L_U).

В свою чергу $L_D = \{L_T, L_{TM}, L_H\}$, де L_T, L_{TM}, L_H – множина вихідних показників діяльності вузлів інформаційної мережі відповідно до точнісних (L_T), часових (L_{TM}), надійнісних (L_H). Значення компонентів множин L_T, L_{TM}, L_H визначаються конкретними процесами діяльності вузлів у розглянутій інформаційно-комунікаційній мережі, засобами, які є в їхньому розпорядженні для виконання своїх функцій та умовами роботи.

Відповідно до конкретизації поняття ефективності, показники множини можна розділити на три групи: $W = \{W_C, W_T, W_E\}$, де W_C – показники цільової ефективності інформаційно-комунікаційної мережі або ефективності використання (цільового застосування) цієї мережі, це кількісний показник відповідності мережі своєму призначенню; W_T – показники технічної ефективності інформаційно-комунікаційної мережі, це кількісна міра, що відображає технічну досконалість мережі; W_E – показники економічної ефективності інформаційно-комунікаційної мережі, це кількісний показник економічної доцільності розгортання мережі.

Оцінка основних показників ефективності безпроводових технологій для оптимізації виробничих процесів

В рамках даного підрозділу проведемо багатокритеріальний аналіз безпроводових технологій, які можуть бути використані для підтримки автоматизації виробничих процесів великих підприємств.

Для цього будемо користуватись переліком показників цільової (Пропускна здатність R , Затримка t_{zamp} , Ємність мережі C , Щільність підключення пристроїв ν) та технічної (Енергетична ефективність e , Безпека мережі IS) ефективності.

В даний час існує безліч безпроводових технологій, найчастіше відомих користувачам за їх маркетинговими назвами. Використовуючи безпроводові рішення, є можливість створювати надійні та високопродуктивні корпоративні мережі, використання яких значно розширює можливості підприємства для доступу до мережі Інтернет, економічного телефонного зв'язку (IP-телефонії), охорони приміщень та об'єктів з використанням відеоспостереження та інших засобів охоронної та пожежної сигналізації, систем контролю та автоматизації технологічних процесів промислових підприємств, систем моніторингу показників довкілля та інших цілей, пов'язаних з телеметричною передачею даних. Сучасні рішення для

безпроводових мереж забезпечують високу керованість, автоматизацію та захищеність IT-інфраструктури. Кожна технологія має певні характеристики, які визначають її сферу застосування.

Далі проведено дослідження основних безпроводових технологій, а також здійснено систематизацію параметрів цих мереж (таблиця 1), які використовуються для ухвалення рішення щодо вибору варіанту побудови інформаційно-комунікаційних систем великих підприємств з метою підтримки автоматизації виробничих процесів.

LoRaWAN – це протокол рівня керування доступом до середовища (MAC), який управляє зв'язком між пристроями LPWAN та шлюзами.

Специфікація LoRaWAN є широкосмуговим мережевим протоколом малої потужності, призначена для безпроводового підключення пристроїв IoT (речей), до регіональних, національних або глобальних мереж і орієнтована на основні вимоги до Інтернету, такі як двонаправлений зв'язок, наскрізна безпека, мобільність та послуги локалізації.

Модуляція LoRa [5] відбувається на фізичному рівні, а LoRaWAN (Long Range Wide-Area Networks, LoRaWAN) це MAC-протокол для високоємних мереж з великим радіусом дії та низьким власним споживанням потужності, який організація LoRa Alliance стандартизувала для малопотужних глобальних радіальних мереж. Протокол LoRaWAN [6] оптимізований для малобюджетних сенсорів і включає різні класи вузлів, забезпечуючи компроміс між швидкістю доставки інформації і часом роботи пристроїв при використанні живлення від батарей/акумуляторів. Протокол забезпечує повний двосторонній зв'язок, а архітектура (за допомогою спеціальних методів шифрування) забезпечує загальну надійність та безпеку всієї системи. Архітектура LoRaWAN також була розроблена з метою полегшення виявлення мобільних об'єктів для відстеження активів підприємств, що є однією із найбільш швидко зростаючих програм на рівні Інтернету речей. Протокол LoRaWAN розробляється для використання у загальнонаціональних мережах великих операторів зв'язку. З цією метою організація LoRa Alliance стандартизує свій протокол LoRaWAN з урахуванням сумісності та взаємодії з усіма основними глобальними операторами зв'язку.

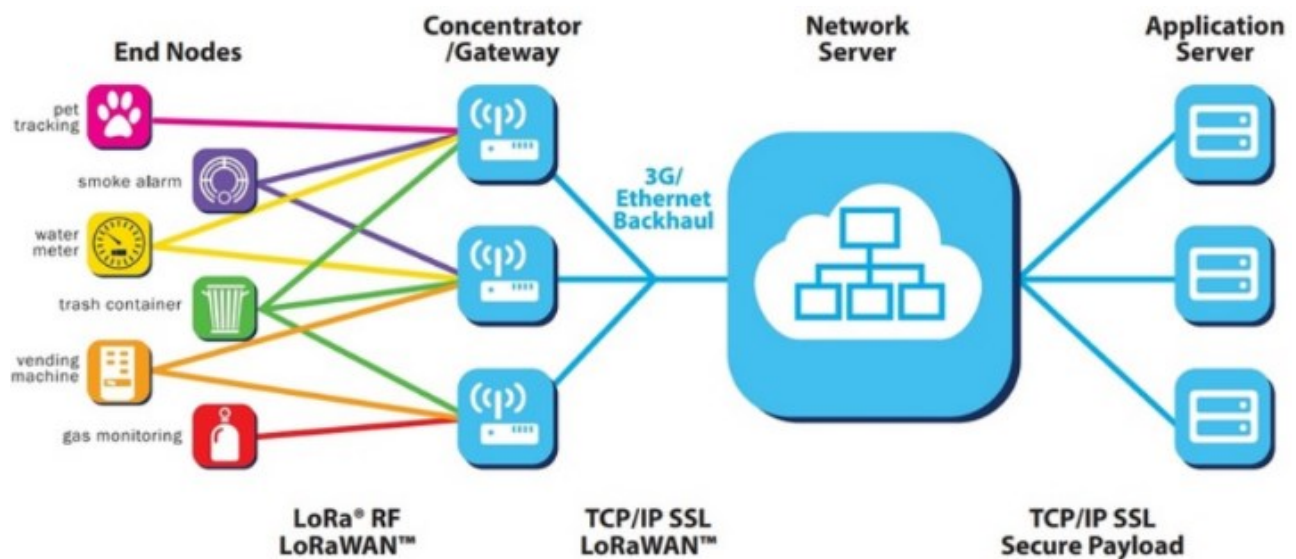


Рис. 1. LoRaWAN

Мережа LoRaWAN (рис.1) має топологію «зірка», що складається із менших зірок, включає кінцеві пристрої, які через шлюзи, що утворюють прозорі мости, спілкуються із центральним сервером мережі. За такого підходу зазвичай передбачається, що шлюзами і центральним сервером володіє оператор мережі, а кінцевими пристроями – абоненти. Абоненти мають можливість прозорої двонаправленої та захищеної передачі даних до кінцевих пристроїв.

Відомі формати безпроводового зв'язку WiFi/GSM/3G/LTE/5G орієнтовані на «живого користувача», LoRaWAN же орієнтований на «користувачів-машин» – пристрої та датчики, які працюють у спектрі, що не ліцензується.

LoRaWAN має три різні класи кінцевих пристроїв для задоволення різних потреб, відображених у широкому спектрі додатків.

До переваг технологій LoRaWAN можна віднести наступні:

- велика дальність передачі радіосигналу в порівнянні з іншими бездротовими технологіями, сягає 10-15 км;
- низьке енергоспоживання кінцевих пристроїв, завдяки мінімальним витратам енергії на передачу невеликого об'єму даних;

- висока проникна здатність радіосигналу в міській забудові при використанні частот субгігагерцового діапазону;
- висока масштабованість мережі на великих територіях;
- відсутність необхідності отримання частотного дозволу та плати за радіочастотний спектр, внаслідок використання неліцензованих частот (ISM band);

- висококонкурентний ринок постачальників обладнання та повна сумісність пристроїв різних виробників;

- відкритість стандарту також є для споживача гарантією того, що розробник або постачальник не зможе в односторонньому порядку змінити умови співпраці, користуючись відсутністю альтернативи у зв'язку з пропріетарністю запропонованих ним рішень.

Водночас, LoRaWAN властиві і деякі недоліки:

- відносно низька пропускна здатність, що варіюється в залежності від використовуваної технології передачі даних на фізичному рівні, становить від декількох сотень біт/с до декількох десятків кбіт/с;

- затримка передачі даних від датчика до кінцевого додатка, пов'язана з часом передачі радіосигналу, може досягати від кількох секунд до кількох десятків секунд;

- відсутність єдиного стандарту, який визначає фізичний шар та керування доступом до середовища для безпроводових LPWAN-мереж;

- ризики зашумлення спектру неліцензованого діапазону частот;

- пропріетарна технологія модуляції LoRa, "закрита" патентом Semtech;

- обмеження потужності сигналу.

Bluetooth 5 використовує бездротове з'єднання з фізичною швидкістю передачі даних до 2 Мбіт/с, ефективна швидкість обміну даними залежить не тільки від фізичної пропускної спроможності каналу передачі, а й від співвідношення службової та корисної інформації в пакеті, а також від супутніх «накладних» витрат, наприклад, затримки між пакетами.

У версії Bluetooth 5 збереглася підтримка LE Data Length Extension, що разом із зростанням фізичної пропускної здатності до 2 Мбіт/с дозволяє досягати швидкості обміну даними до 1,4 Мбіт/с.

Як показує практика, таке прискорення передачі не є межею. Покращення Bluetooth 5 насамперед стосуються безпроводової технології «Bluetooth Low Energy» (BLE). Максимальний радіус дії таких пристроїв чотириразово збільшився з 10 до 40 метрів. Аналогічно і швидкість передачі даних у новому стандарті Bluetooth зросла майже вдвічі.

Покращення мереж Bluetooth дає можливість розвитку Інтернету речей.

Зі збільшенням радіусу дії, з'єднання між IoT-пристроями має поширитися далі стін будинку, тоді як збільшення швидкості обміну даними покращить їхню взаємодію та прискорить оновлення програмного забезпечення пристроїв.

Bluetooth використовує адаптивну стрибкоподібну перебудову частоти під час підключення. Цей алгоритм, який визначає радіоканал для передачі та прийому, включає часту зміну обраного каналу, так що дані передаються з використанням широкого вибору каналів. Bluetooth 5 представив новий алгоритм вибору каналу, який називається алгоритмом вибору каналу №2. Послідовності стрибкоподібної перебудови відтепер мають псевдовипадковий характер, а різні можливі послідовності є дуже великими.

Покриття будівлі забезпечується за допомогою нового рівня РНУ з кодуванням LE з далеким радіусом дії. Вища символна швидкість покращує спектральну ефективність і підтримує нові варіанти використання, наприклад, у спорті, фітнесі та медичному обладнанні. Стають можливими нові промислові програми, а також деякі програми для розумних міст та розумних фабрик.

Bluetooth 5 може мати істотний вплив в багатьох секторах і надалі позиціонується як краща безпроводова технологія з низьким енергоспоживанням для Інтернету речей.

Z-Wave – це безпроводовий протокол, розроблений спеціально для дистанційного керування. Z-Wave працює в діапазоні частот до 1 ГГц (908.42 МГц у США та 868.42 МГц у Європі) – вибір такого діапазону обумовлений малою кількістю джерел перешкод, на відміну від завантаженого діапазону в 2.4 ГГц.

Кожна мережа Z-Wave має основний контролер-координатор, з якого починається побудова мережі (рис. 2), на який покладено обов'язки додавання нових пристроїв у мережу та видалення старих, складання карт маршрутизації, забезпечення безпечного підключення, можливості створювати сценарії автоматизації та інших функцій щодо організації та контролю роботи мережі. У мережі також є один або кілька вторинних контролерів-маршрутизаторів, які для нормальної роботи запитують інформацію про топологію мережі та кінцеві пристрої у основного контролера.

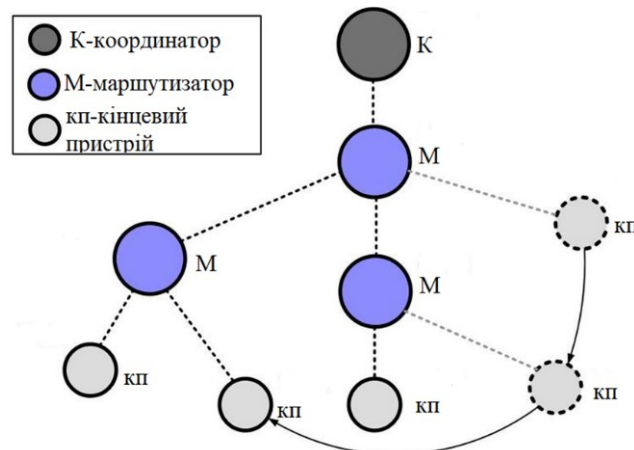


Рис. 2. Архітектура мережі Z-Wave

Z-Wave використовує концепцію mesh-мережі. Протокол розроблений таким чином, що вузли мережі, що виконують роль ретрансляторів, мали можливість перенаправляти через себе повідомлення, доки воно не дістанеться адресата. Такий підхід дозволяє значно розширити радіус дії безпроводової мережі та підвищує її надійність. У разі виходу з ладу будь-якого вузла мережа не буде паралізована, а продовжить роботу в штатному режимі, повідомлення почнуть автоматично прямувати через вузли мережі, в обхід тих, що вийшли з ладу.

Характерною особливістю Z-Wave є жорстка стандартизація від фізичного рівня до рівня додатків. Тобто стек протоколу Z-Wave покриває всі рівні класифікації OSI, що дозволяє забезпечувати сумісність пристроїв різних виробників при створенні гетерогенних мереж.

До переваг протоколу відносять:

– використання шифрування за 128-бітним алгоритмом AES для запобігання клонуванню та злому мережі;

– гарантія сумісності із усіма пристроями від різних виробників, що входять до Z-Wave Alliance;

– масштабованість мережі.

Водночас, до недоліків протоколу відносять:

– швидкості в 100 кбіт/с вистачає лише для передачі команд, тобто немає можливості передавати графічні зображення чи звук;

– через обмежений радіус дії безпроводових пристроїв великі мережі вимагають використання повторювачів і навіть кабелів.

Протокол Zigbee здатний формувати різноманітні види мережевих з'єднань. Найбільш поширені топології мережі – зірка, дерево кластерів і mesh-мережа (рис. 3).

Кожна мережа Zigbee може становити суперпозицію всіх трьох типів, розподіляючи в мережі ролі кінцевого пристрою, маршрутизаторів і координаторів. Координатор відповідає за створення мережі і за маршрутизацію трафіку через неї. Мережа може мати лише одного координатора. Маршрутизатор відповідає за переспрямування трафіку, а кінцевий пристрій є просто прийомо-передавальною ланкою.

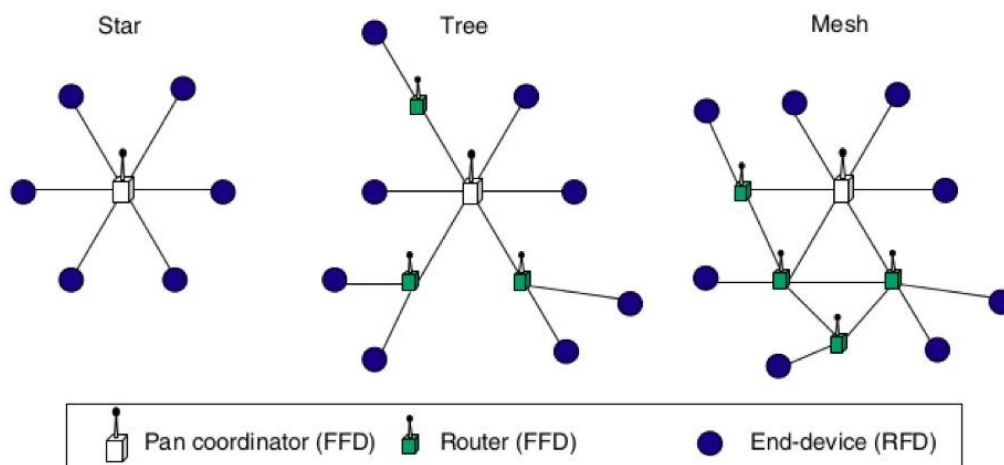


Рис. 3. Архітектура мережі ZigBee

Специфікація мережі IEEE 802.15.4-2011 [7] забезпечує двосторонню напівдуплексну передачу даних у низькошвидкісних безпроводових персональних мережах (Low-Rate Wireless Personal Area Networks – LR-WPANs), підтримуючи при цьому шифрування AES-128. Передбачається використання 7 видів модуляції у різних частотних діапазонах. Всі доступні діапазони радіочастот поділені на канали, пропускна здатність яких може відрізнятися. Мережевий рівень стека протоколу ZigBee/ZigBee PRO використовує функції підрівня управління доступом до середовища (Media Access Layer – MAC) і забезпечує інтерфейс для вищого рівня програми (Application Layer – APL). На цьому рівні реалізована підтримка різних мережевих топологій: зіркова топологія (Star Network), дерево кластерів (Cluster Tree Network) та пориста топологія (Mesh Network). І саме на мережному рівні відбувається початкове створення мережі, підключення до неї нових пристроїв, їх виключення та пошук мережі. Специфікація ZigBee Green Power (ZGP) була розроблена спеціально для підтримки автономних пристроїв, які взагалі не мають батарейок. Такі пристрої одержують енергію для короткочасного спрацьовування зі свого оточення або якихось дій з ними: як результат руху, освітлення, п'єзоефекту при натисканні, термоелектричного ефекту Пельтьє і т.п. Найбільш очевидне застосування подібних пристроїв – це вимикачі світла, в яких натисканням кнопки виробляється електроенергія, необхідна для надсилання сигналів, що управляють (увімкнення/вимкнення).

Перевагами технології є висока відмовостійкість та масштабованість, завдяки пористій топології мережі, низьке енергоспоживання.

Недоліками є проблеми з безпекою через недотримання виробниками вимог сертифікації, використовує діапазон 2,4 ГГц, де є сильні перешкоди.

UWB (Ultra Wideband) – надширокосмуговий зв'язок являє собою спосіб передачі інформації, що використовує високочастотні імпульси з малою енергією. UWB має великий потенціал, оскільки інформаційна місткість UWB значно більша в порівнянні з іншими існуючими конкуруючими технологіями, що розвиваються, що дозволяє реалізовувати більш швидкодіючі безпроводові мережі з великою пропускною здатністю.

UWB – безпроводова технологія зв'язку, яка фундаментально відрізняється від інших радіочастотних комунікаційних систем. Унікальність полягає в тому, що вона забезпечує безпроводові комунікації без використання радіочастотної несучої. Натомість вона використовує модульовані імпульси енергії тривалістю менше однієї наносекунди. Безпроводові широкосмугові радіостанції посилають короткі імпульси сигналу в широкому спектрі, які передаються кількома частотними каналами відразу. Широкий канал дозволяє UWB зазвичай підтримувати високу швидкість безпроводової передачі даних від 480 Мбіт/с до 1,6 Гбіт/с на відстані до декількох метрів. На великих відстанях швидкість передачі значно знижується. Обмеження на відстані виникає саме через широку корисну смугу пропускання, тобто, щоб не заважати пристроям, що працюють на тих чи інших частотах, потужність сигналу повинна бути дуже маленькою (в середньому не більше -41,3 дБм).

Перевага UWB полягає у стійкості до багатопроменевого замирання, проте такі сигнали схильні до міжсимвольної інтерференції, що виправляється спеціальними методами кодування.

Обмеження доступності ВЧ-спектру перешкоджають еволюції та розростанню безпроводових технологій. Технологія UWB не використовує ВЧ-несучі, що дає безліч нових переваг і можливостей.

Пристрій UWB можна масштабувати за критерієм швидкості у величезному діапазоні, що просто необхідно для додатків з дуже низькою швидкістю (обумовленою необхідністю підтримки низької потужності), таких як, наприклад, кишенькові вимірювальні прилади.

UWB [8] може одночасно підтримувати сотні каналів. Технологія UWB може функціонувати як персональна мережа (Personal Area Network, PAN), локальна та глобальна обчислювальна мережа (Wide Area Network, WAN) одночасно. Пристрої UWB, які працюють на рівнях нижче рівня шумів традиційних радіосистем, малопотужні, невибагливі до параметрів обладнання та потребують лише кількох зовнішніх компонентів.

Стандарт WiFi 6 (IEEE 802.11ax) [9] – це нове покоління безпроводового з'єднання, яке пропонує безліч сучасних рішень порівняно з технологією WiFi 5 (IEEE 802.11ac), WiFi 4 (IEEE 802.11n).

Wi-Fi 6 забезпечує:

- множинний доступ з ортогональним частотним поділом каналів (OFDMA) висхідної та низхідної ліній зв'язку, що підвищує ефективність та знижує затримку у середовищах з високими вимогами;
- технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output), забезпечує поліпшення продуктивності для мереж з великою кількістю користувачів;
- новий режим модуляції забезпечує пікові гігабітні швидкості для нових випадків використання з інтенсивною смугою пропускання;
- збільшена тривалість символу робить роботу мережі більш надійною;
- покращена сигналізація управління доступом до середовища (MAC) – збільшує пропускну здатність і ємність, зменшення часу затримки.

Побудований на ключових елементах, визначених стандартом IEEE 802.11ax [10], Wi-Fi 6 пропонує

високоєфективну роботу в щільних мережах, зберігаючи при цьому зворотну сумісність та співіснування із застарілими пристроями IEEE 802.11. Працюючи в діапазонах 2,4 ГГц та 5 ГГц, стандарт 802.11ax включає широкий спектр фізичних (PHY) підрівнів.

Технологія множинного доступу OFDMA ділить канали між кількома несучими, що дозволяє вести передачу до кількох приймачів (кінцевих пристроїв) одночасно. Технологія Wi-Fi 6 дозволяє надсилати різні сигнали у межах одного вікна передачі. Завдяки цьому маршрутизатор може взаємодіяти з кількома пристроями в рамках одного циклу передачі, так що окремим пристроям не потрібно чекати своєї черги.

Набір базових послуг (OBSS) – ще одна особливість Wi-Fi 6, яка може покращити ситуацію в перевантажених мережах.

OBSS дозволяє точці доступу використовувати так звані кольори для унікальної ідентифікації мережі. Якщо ви знайдете на каналі іншого трафіку, колір, який відрізняється від кольору локальної мережі, пристрої можуть ігнорувати його та продовжувати передачу. За рахунок цього підвищується надійність та скорочується час затримки.

Поєднання OFDMA та OBSS підвищує загальну ефективність передачі даних у завантажених мережах.

Формування променів (beamforming) – ще одна покращена в Wi-Fi 6 технологія, що дозволяє підвищити швидкість передачі. Замість передачі даних у всіх напрямках маршрутизатор визначає місцезнаходження запитуючого пристрою і направляє більш локалізований потік даних в цьому напрямку.

Для безпечної передачі даних широко використовується протокол безпеки WPA 3 (Wi-Fi Protected Access).

Мережі 5G формуються відповідно до таких технічних вимог до них [11]:

- забезпечення швидкості передачі даних в лінії вниз (DL) до 20 Гбіт/с і 5 Гбіт/с лінії вгору (UL);
- можливість зростання обсягу переданих даних більш ніж у 1000 разів у кожній області обслуговування за рахунок підвищення спектральної ефективності, використання нових радіочастотних діапазонів та використання гетерогенних мереж;
- питома пропускна здатність на одиницю площі покриття ASE = 1,5 ... 60 Гбіт / с / кв. км;
- збільшення від 10 до 100 разів кількості приєднаних абонентських пристроїв (до 300 тис. на соту або до 1 млн. пристроїв на кв. км.);
- збільшення від 10 до 100 разів типових швидкостей передачі даних у користувача;
- зниження в 10 разів затримки в ланцюжку «End-to-End» (менше 1 мс у мережі радіодоступу 5G порівняно з 10 мс у LTE).

Викладені вище вимоги щодо радіоінтерфейсу повинні забезпечити:

- множинний доступ на фізичному рівні (PHY);
- використання нових ділянок сантиметрового та міліметрового діапазонів частот;
- застосування радіоканалів зі значною шириною: від 100 МГц до 2 ГГц;
- дуже короткі затримки мережі радіодоступу: час перепиту для алгоритму HARQ RTT менше 1 мс;
- низьку вартість вузлів доступу та низьку вартість абонентських пристроїв;
- доступ у мережу та багатовузлову маршрутизацію на основі універсального радіоінтерфейсу та використання загального спектру;
- "безшовну" мобільність між інфраструктурою 5G (UDN) та стільниковими системами для великих зон покриття LTE/2G-3G;

– досягнення в радіоінтерфейсі 5G швидкостей передачі даних понад 20 Гбіт/с вимагатиме суттєвого розширення спектрів сигналів за рахунок застосування неортогонального множинного доступу NOMA та необхідного 4-кратного збільшення спектральної ефективності в радіоінтерфейсі RAN 5G до 5 – 10 Біт/с / Гц. Частотні діапазони приймачів і передавачів базових (БС) та абонентських (АС) станцій мережі радіодоступу 5G поділені на два піддіапазони, до 6 ГГц – піддіапазон FR1 (450 – 6000 МГц) і понад 6 ГГц – піддіапазон FR2 (24,25 – 52,6) ГГц, міліметровий діапазон;

– технологія 5G передбачає використання масивних MIMO антен, які складаються з сотень антенних елементів, що працюють узгоджено та адаптивно. Використання масивних MIMO-антен дозволяє адаптивно формувати безліч вузьких пучків діаграми спрямованості антени в напрямку кожного абонента мережі. Таким чином, кілька абонентів, що знаходяться в одній зоні обслуговування, можуть отримувати свій унікальний просторово-часовий сигнал від антени базової станції, що дозволяє знизити рівень соканальних перешкод, збільшити пропускну здатність мережі радіодоступу 5G і ємність стільника, підвищити ефективність використання потужності базової станції. Крім того, використання адаптивних MIMO-антен дає можливість ефективно зменшити перешкоди з небажаних напрямків у мережі радіодоступу, підвищуючи перешкодозахисність мережі 5G;

– мережі 5G повинні, з одного боку, забезпечувати більш високу продуктивність порівняно з існуючими мережами мобільного зв'язку, з іншого – мати нижчі капітальні та операційні витрати. В іншому випадку, інвестиційна привабливість мереж 5G буде невисокою;

– мережі 5G обслуговуватимуть пристрої та програми з суттєво різними характеристиками

трафіку – від низькошвидкісних M2M датчиків (лічильників) до сервісів віртуальної та доповненої реальності з високими вимогами до швидкості передачі даних та високонадійних систем керування транспортним рухом з високими вимогами до мережових затримок. Тому мережі 5G повинні ефективно управляти мережевими ресурсами залежно від потреб додатків та вимог щодо якості надання послуг.

В якості основних підходів до побудови мереж 5G, які забезпечують високий рівень гнучкості мережевої архітектури, пропонуються технології програмно-визначених мереж [12] (Software Defined Networking – SDN) та віртуалізації мережових функцій (Network Functions Virtualization – NFV). За допомогою цих технологій мережа поділяється на логічні сегменти, кожен із яких налаштовується відповідно до параметрів, необхідних для роботи певних груп послуг.

З урахуванням того, що мережі 5G будуть обслуговувати крім традиційних мобільних телефонів велику кількість різних пристроїв M2M та IoT, які мають специфічні характеристики та вимоги, використання технології Network Slicing дозволить підвищити ефективність роботи мобільних мереж зв'язку та якості послуг, що надаються. При віртуалізації мережових функцій мережі радіодоступу основна функціональність базових станцій 5G, що відповідає за цифрову обробку сигналу, синхронізацію та управління, розміщуватиметься у хмарі (Software Defined Radio – SDR) окремо від радіоголовок (RRH) та антен, дозволяючи реалізовувати переваги когнітивного радіо та знижувати капітальні та операційні витрати на мережу радіодоступу. Застосування концепції мереж, що самоорганізуються, радіодоступу (Self Organizing Networks – SON) забезпечить підвищення ефективності розподілу, якості обслуговування користувачів та SDN), у якій рівень управління мережею відокремлений від пристроїв передачі і реалізується програмними засобами, дозволить перерозподіляти апаратні ресурси залежно від навантаження, підвищуючи ефективність їх використання, скорочення операційних витрат за рахунок автоматизації процесів формування радіопокриття та координації роботи сусідніх базових станцій різного рівня (мікро та макробазових). Архітектура мережі 5G (SDR і SDN), у якій рівень управління мережею відокремлений від пристроїв передачі і реалізується програмними засобами, дозволить перерозподіляти апаратні ресурси залежно від навантаження, підвищуючи ефективність їх використання.

Проведемо порівняння характеристик технологій безпроводових мереж (табл. 1).

До показників ефективності застосуємо багатокритеріальний аналіз.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика технологій безпроводових мереж

Параметри ефективності	Технології для порівняння						
	Bluetooth 5,0	WiFi 6	5G	UWB	LoRaWan	ZWave	ZigBee
Пропускна здатність	2 Мбіт/с	600-9600 Мбіт/с	20 Гбіт/с	480 Мбіт/с	0,3-50 Кбіт/с	42-100 Кбіт/с	20- 250 Кбіт/с
Затримка, мсек	3-100	<10	1	10	20-100	10	10
Ємність мережі, Мбіт/с/ кв.м	до 1	до 1	10	до 5	до 0,1	30 од.в мережі	65000
Щільність підключення пристроїв на кв. км	до 100	до 1000	10 ⁶	до 100	до 10000	до 100	до 100
Енергетична ефективність	Технол. BLE	Технол. TWT	Енерго-ефект.	Енерго-ефект.	До 10років	До 1року	Деякі роки
Безпека мережі	128-біт AES	WPA-3	256-біт SEAE	DRM	128-біт AES	128 біт AES	128-біт AES
Частотні діапазони, МГц	2402-2480	2400-5000	FR1 600-6000 FR2 24> ГГц	3000-10000	2400, 869,433 169.	868-926	915-2400
Радіус дії, м	200	100	100-1500 Баз.станція	3-10	(2-5)км -місто 15км сел.міс.	30-120	10-100

Спочатку за допомогою експертного оцінювання проведемо вибір вагових коефіцієнтів для формування інтегрального показника оцінки доцільності розгортання технологій для визначених показників ефективності систем (табл. 2).

При цьому, $\sum(k_n)=1$.

Надалі, для таблиці 1 проведемо нормування показників ефективності для різних технологій. Ці результати представимо у таблиці 3.

Таблиця 2

Матриця вибору оптимального готового технічного рішення

k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
Пропускна здатність R	Затримка $t_{затр}$	Ємність мережі C	Щільність підключення пристроїв ν	Енергетична ефективність e	Безпека мережі IS
0,1	0,2	0,15	0,2	0,15	0,2

Таблиця 3

Нормовані оцінки ефективності технологій безпроводових мереж

Параметри ефективності	Технології для порівняння						
	Bluetooth 5.0	WiFi 6	5G	UWB	LoRaWan	ZWave	ZigBee
Пропускна здатність	2	9	10	5	1	1	1
Затримка, мсек	8	9	10	1	1	1	1
Ємність мережі, Мбіт/с/кв.м	2	2	10	5	1	1	3
Щільність підключення пристроїв на кв. км	3	3	10	3	7	3	3
Енергетична ефективність	7	5	5	3	10	8	9
Безпека мережі	5	10	10	5	5	5	5

Застосувавши формулу $k_{int} = \sum(k_n \cdot x_n)$ отримаємо інтегральний показник ефективності для кожної оцінюваної технології (таблиця 4).

Таблиця 4

Нормовані оцінки ефективності технологій безпроводових мереж

Технології для порівняння						
Bluetooth 5,0	WiFi 6	5G	UWB	LoRaWan	ZWave	ZigBee
4,75	6,35	9,25	3,5	4,35	3,25	3,7

Таким чином, виходячи з результатів багатокритеріального аналізу показників ефективності оцінюваних технологій (таблиця 3), можна зробити висновки про те, що сфера використання технологій сучасних безпроводових мереж є досить фрагментованою. При цьому, лідируючу позицію посідає технологія 5G, але жодна технологія підключення не має повсюдне покриття та здатна вирішити всі проблеми для всіх потенційних вертикальних випадків використання. Кожен варіант підключення до мережі передбачає компроміс між споживаною потужністю, діапазоном та смугою пропускання.

В подальшому технологія 5G, яка націлена на реалізацію додатків з низькою затримкою і високою пропускнуною спроможністю, становитимуть більшу частину величезного простору IoT, очолюваного операторами мобільного зв'язку, операторами неліцензованого спектру та підприємствами через власні приватні мережі.

При цьому, однією з ключових технологій, що може бути використана в мережах 5G для забезпечення виробничих процесів є MEC (Mobile Edge Computing). MEC [13] передбачає розміщення IT-функціоналу та пов'язаного функціоналу хмарних обчислень.

Периферійні сервери можуть підвищити продуктивність та зменшити затримку в будь-якому контексті, максимально наблизивши обчислювальні та інші ресурси до місця, де вони потрібні. Оскільки 5G – це висока швидкість та низька затримка, ці дві технології добре поєднуються. Більше того, взаємозв'язок між ними набагато глибший: широка доступність мереж 5G, величезна кількість обладнання та ПЗ, яке підключатиметься до цих мереж, не обійдуться без MEC.

У поєднанні з архітектурою периферійних обчислень 5G зазвичай розглядається як технологія, яка вирішить одну з найнагальніших проблем мережної затримки при одночасному забезпеченні високої пропускнуої здатності.

Таким чином, застосувавши багатокритеріальний аналіз до даних із таблиці 1, а також проаналізувавши потреби підприємств, на яких необхідно проводити підтримку процесів автоматизації виробничих процесів, можна зробити висновок, що оптимальним рішенням для великих підприємств є розгортання мережі 5G. Тому подальший розгляд буде стосуватись саме цієї технології.

Вибір оптимальних проектних рішень технологій мобільного зв'язку 5G

Кожне виробниче підприємство повинно очікувати отримання максимального ефекту від вкладання власних коштів у свої власні проекти інформатизації. Величину цього ефекту можна відобразити на величині прибутку підприємства від реалізації проекту інформатизації. Виходячи із цих тверджень, можна проводити вибір оптимального проектного рішення, використовуючи критерій оптимальності Байеса-

Лапласа (BL-критерій) [14]. Доцільно також обґрунтувати використання, як оціночної функції оптимальності – чистого приведеного ефекту за проектом інформатизації, як інтегрального показника ефективності проектних рішень.

Зазвичай, прийняття рішень щодо потенційного інвестування може відбуватись у ситуації невизначеності, при цьому така формальна схема припускає обов'язкову наявність [15]:

1) множини $D(\vec{X})$ альтернативних рішень у розпорядженні виробничого підприємства. Тоді йому необхідно прийняти одне із цих наявних рішень: $\vec{X}_i \in D(\vec{X})$, $i = 1, \dots, n$;

2) оточуючого середовища з множиною взаємовиключних станів $Z_j \in D(\vec{Z})$, $j = 1, \dots, m$. При цьому, Підприємству не відомо, в якому конкретно стані знаходиться (або буде знаходитись) це оточуюче середовище. В нашому конкретному випадку під зовнішніми станами для виробничого Підприємства, що прагне оптимізувати виробничі процеси шляхом інформатизації, будемо мати на увазі можливість розгортання різних підвидів радіомереж 5G;

3) оціночної функції оптимальності E_{ij} , яка характеризує прибуток (отриману перевагу) виробничого Підприємства під час вибору проектного рішення $\vec{X}_i \in D(\vec{X})$ у ситуації, коли оточуюче середовище знаходитиметься (або вже знаходиться) у стані $Z_j \in D(\vec{Z})$, що означає, що конкретного значення оціночної функції оптимальності для проектного рішення X_i і стану оточуючого середовища Z_j . В такому випадку, ситуацію щодо прийняття рішення щодо можливості інвестування в нову інформаційно-комунікаційну інфраструктуру можна охарактеризувати матрицею проектних рішень (табл. 5). Тоді, елементи матриці E_{ij} – оціночні функції оптимальності, які є кількісною оцінкою критерію оптимальності для кожного проектного рішення $X_i \in D(\vec{X})$ за умови, що оточуюче середовище знаходиться у стані $Z_j \in D(\vec{Z})$.

Оціночною функцією оптимальності, яка є кількісною оцінкою критерію оптимальності, є прибуток (ефект) від реалізації проекту інформатизації.

Таблиця 5

Матриця проектних рішень

Альтернатива $D(\vec{X})$	Стан оточуючого середовища, який очікується $D(\vec{Z})$				
	$\vec{Z}_1$	...	$\vec{Z}_j$	...	$\vec{Z}_m$
$\vec{X}_1$	E_{11}	...	E_{1j}	...	E_{1m}
...	...	...	...	...	...
$\vec{X}_i$	E_{i1}	...	E_{ij}	...	E_{im}
...	...	...	...	...	...
$\vec{X}_n$	E_{n1}	...	E_{nj}	...	E_{nm}

За критерієм Байеса-Лапласа, оптимальним рішенням $X^* \in D(\vec{X})$ вважають те, для якого математичне очікування результуючої оціночної функції оптимальності досягає найбільшого можливого значення [16]:

$$E_{BL} = \max_{\vec{X} \in D(\vec{X})} E_{jr} = \max_{\vec{X} \in D(\vec{X})} \sum_{j=1}^m p_j \cdot E_{ij}.$$

Множина оптимальних варіантів згідно з BL-критерієм визначають таким чином:

$$\vec{X}^* = \left\{ \vec{X}_i : \vec{X}_i \in D(\vec{X}) \wedge E_{BL} = \max_{\vec{X}_i \in D(\vec{X})} \sum_{j=1}^m p_j \cdot E_{ij} \right\}.$$

Коли апіорні ймовірності щодо стану середовища – рівномірні, BL-критерій обертається у критерій Бернуллі-Лапласа:

$$E_{BL} = \frac{1}{m} \cdot \max_{\vec{X}_i \in D(\vec{X})} \sum_{j=1}^m E_{ij}.$$

Тому для вибору оптимальної комунікаційної технології для підтримки автоматизації процесів виробництва підприємств необхідно сформувати множину можливих проектних рішень для побудови мережі 5G, які будуть впроваджуватись $D(X)$ та множину станів навколишнього середовища, який очікується в майбутньому $D(Z)$, до якої віднесемо, як приклад, можливі частотні діапазони для розгортання різних технологій на доступному радіочастотному спектрі (табл. 5). Також можна віднести технології мікро та макростільників. Слід відзначити, що значення чистого приведенного ефекту розраховано за допомогою наданих експертних оцінок та до таблиці 6 вводиться в умовних одиницях. Як критерій оптимальності для першого інформаційного стану можна використати: мінімум дисперсії оціночної функції або максимум ентропії математичного очікування оціночної функції [16].

Таблиця 6

Матриця вибору проектного рішення для стільникового оператора

Альтернативне рішення $D(\vec{X})$ (технологія стільникових мереж)	Розподіл ймовірностей						Результуюча оціночна функція
	$P_1(0)$	$P_2(0)$	$P_3(0,25)$	$P_4(0,25)$	$P_5(0,25)$	$P_6(0,25)$	
	Стан навколишнього середовища $D(\vec{Z})$ (частотний діапазон, МГц)						$E_{BL} = \sum_{j=1}^m P_j \cdot E_{ij}$
	$\vec{Z}_1$	$\vec{Z}_2$	$\vec{Z}_3$	$\vec{Z}_4$	$\vec{Z}_5$	$\vec{Z}_6$	
	700	800	900	1800	2100	2600	
Макростільники	0	0	2	0	1,8	0	0,95
Мікростільники	3	3	0	3	0	2,7	1,425
$E_{BL} = 1,425$							

Таким чином, за аналізом результатів, наведених у таблиці 6, можна зробити висновок про необхідність розгортання на підприємствах саме мікростільникової структури мережі із використанням радіочастот у діапазонах 700, 800 або 2600 МГц.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Дослідження, проведені в даній роботі дозволили провести аналіз та здійснити відповідний вибір оптимальної технології для використання її з метою оптимізації виробничих процесів. Для цього було розроблено модель багатокритеріальної оптимізації, визначено пул комунікаційних технологій, які можуть бути використані для оптимізації виробничих процесів. В результаті, проведений багатокритеріальний аналіз дозволив впевнитись в доцільності розгортання стільникових мереж 5G для автоматизації виробничих процесів. Також було запропоновано методику вибору оптимальних проектних рішень технологій мобільного зв'язку 5G.

ЛІТЕРАТУРА

- Смірнова Т.В., Солових Є.К., Смірнов О.А., Дресв О.М., «Побудова хмарних інформаційних технологій оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнення поверхонь деталей», *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. № 1(32). с. 184-194, 2019.
- Смірнова, Т.В., Смірнов, С.А., Минайленко, Р.М., Доренський, О.П., Сисоєнко С.В. «Хмарна автоматизована система інтелектуальної підтримки прийняття рішень для технологічних процесів». *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки*. №4, 2020, С. 84-92.
- Смірнова Т.В., Столяренко М.П., Янков М.О., Грудік В.В., Моторін Ю.Ю. «Модель реалізації структури технологічного процесу у хмарному сервісі». *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2021. № 4(70). С. 132-142.
- <http://bourabai.ru/telecom/nets21.htm>
- AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics, 2015 Semtech Corporation
- LoRaWAN™ Specification, N.Sornin (Semtech), M.Luis (Semtech), T.Eirich (IBM), T.Kramp (IBM), O.Hersent (Actility), V1.0, 2015 January
- IEEE 802.15.4-2011 – IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs).
- IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4zEnhanced Impulse Radio
- © 2018 Wi-Fi Alliance. Wi-Fi 6: High performance, next generation Wi-Fi®
- <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/details/wireless/wi-fi-6-series.html>
- ITU towards "IMT for 2020 and beyond" – IMT-2020 standards for 5G
- White paper. Cisco public.Reimagining the End-to-End Mobile Network in the 5G Era
- <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/internet-veschej-internet-of-things-iot>
- Критерій Байеса-Лапласа: веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B9_%D0%91%D0%B0%D0%B9%D1%94%D1%81%D0%B0_%E2%80%94%D0%9B%D0%B0%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B0
- Жихор О.Б., Коваль Р.А. Вибір оптимального проектного рішення у ситуації невизначеності. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.5. С. 178-182
- Гамидов Г.С. Основы инноватики и инновационной деятельности / Гамидов Г.С., Колосов В.Г., Османов Н.О. и др. – СПб : Изд-во "Политехника". 2000. – 323 с

REFERENCES

1. Smirnova T.V., Solovykh E.K., Smirnov O.A., Dreev O.M., «Pobudova khmarnykh informatsiynykh tekhnolohii optimizatsii tekhnolohichnoho protsesu vidnovlennia ta zmitsnennia poverkhon detalei». [Construction of cloud information technologies to optimize the technological process of restoration and strengthening of surfaces of parts], Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences. № 1 (32). pp. 184-194, 2019.
2. Smirnova, T.V., Smirnov, S.A., Minailenko, R.M., Dorensky, O.P., Sysenko S.V. «Khmaria avtomatyzovana systema intelektualnoi pidtrymky pryiniattia rishen dlia tekhnolohichnykh protsesiv». [Cloud automated system of intelligent decision support for technological processes]. Bulletin of Cherkasy State Technological University. Technical sciences. №4, 2020, pp. 84-92.
3. Smirnova T.V., Stolyarenko M.P., Yankov M.O., Grudik V.V., Motorin Yu.Yu. «Model realizatsii struktury tekhnolohichnoho protsesu u khmaromu servisi». [Model of realization of structure of technological process in cloud service]. Collection of scientific works of Kharkiv National University of the Air Force. 2021. № 4 (70). pp. 132-142.
4. <http://bourabai.ru/telecom/nets21.htm>
5. AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics, 2015 Semtech Corporation
6. LoRaWAN™ Specification, N.Sornin (Semtech), M.Luis (Semtech), T.Eirich (IBM), T.Kramp (IBM), O.Hersent (Actility), V1.0, 2015 January
7. IEEE 802.15.4-2011 – IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs).
8. IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4zEnhanced Impulse Radio
9. © 2018 Wi-Fi Alliance. Wi-Fi 6: High performance, next generation Wi-Fi®
10. <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/details/wireless/wi-fi-6-series.html>
11. ITU towards “IMT for 2020 and beyond” – IMT-2020 standards for 5G
12. White paper. Cisco public.Reimagining the End-to-End Mobile Network in the 5G Era
13. <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/internet-veschej-internet-of-things-iot>
14. Bayes-Laplace test: website. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B9_%D0%91%D0%B0%D0%B9%D1%94%D1%81%D0%B0_%E2%80%94%D0%9B%D0%B0%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B0
15. Zhikhov O.B., Koval R.A. «Vybir optimalnogo proektnoho rishennia u sytuatsii nevyznachenosti». [Choosing the optimal design solution in a situation of uncertainty]. Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine. 2012. Vip. 22.5. Pp. 178-182
16. Gamidov G.S. «Osnovi ynnovatyky u ynnovatsyonnoi deiatelnosti». [Fundamentals of innovation and innovation] / Gamidov GS, Kolosov VG, Osmanov NO etc. - St. Petersburg: Polytechnic Publishing House. 2000. - 323 p.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-69-1-4>

УДК 621.396.969.1

Олексій ПОЛІКАРОВСЬКИХ

Одеський національний морський університет

<https://orcid.org/0000-0002-1893-7390>

e-mail: polalexey@gmail.com

Юлій БОЙКО

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0603-7827>

e-mail: boiko_julius@ukr.net

Віталій ТКАЧУК

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0640-2740>

e-mail: tkachukv.p@gmail.com

Віктор АДЄЄВ

ДП «НОВАТОР»

<https://orcid.org/0000-0001-8136-4989>

e-mail: avdieiev.v.m@gmail.com

Олексій СВИСТУНОВ

ДП «НОВАТОР»

<https://orcid.org/0000-0002-8474-1978>

e-mail: office@novator-tm.com

СИСТЕМИ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОГО РАДІО ЯК ОСНОВА РОЗВИТКУ ПЕЛЕНГАЦІЙНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

Сучасна тенденція проникнення програмно-конфігурованого радіо (SDR - Software Defined Radio) у науку, виробництво визначається появою на ринку доступних та багатофункціональних програмно-апаратних рішень. Аналіз досвіду розробки сучасних радіотехнічних комплексів дозволяє говорити про виникнення нової парадигми в галузі телекомунікацій та радіозв'язку, пов'язаної з напрямком SDR. З точки зору розробника сучасної радіоапаратури напрямком SDR є багатовекторним і охоплює наступні сфери застосування: радіоприймальні та радіопередавальні пристрої, радіолокація і пеленгація, системи електричного зв'язку. Метою роботи є історичний огляд та огляд сучасних тенденцій у галузі створення радіотехнічних комплексів на основі систем SDR. Для цього у роботі аналізуються особливості стандартизації та архітектура радіостанції SDR, сучасні тенденції використання SDR, зарубіжний досвід використання SDR, еволюція радіостанцій SDR, структура апаратної частини радіоприймача RTL-SDR, особливості реалізації приймача SDR у спеціалізованому програмному забезпеченні (СПО).

Ключові слова: програмно-конфігуроване радіо, SDR, SCA, FPGA, DSP, GPP, ASIC, пеленгатор.

Oleksiy POLIKAROVSKYKH

Odessa National Maritime University

Juliy BOIKO, Vitaliy TKACHUK

Khmelnitskyi National University

Victor AVDIEIEV, Oleksiy SVISTUNOV

State Enterprise "Novator"

SOFTWARE DEFINED RADIO SYSTEMS AS A BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF NEW GENERATION DIRECTION FINDING RADIO TECHNICAL SYSTEMS

The current trend of penetration of SDR (Software Defined Radio) in science, industry is determined by the emergence of affordable and multifunctional software and hardware solutions. Analysis of the experience in the development of modern radio systems allows us to speak about the emergence of a new paradigm in the field of telecommunications and radio communications, related to the direction of SDR. From the point of view of the developer of modern radio equipment, the direction of SDR is multi-vector and covers the following areas of application: radio receiving and transmitting devices, radar and direction finding, electrical communication systems. SDR is gaining ground and becoming an invaluable research and development tool in the radio and telecommunications industry for rapidly prototyping new circuitry and algorithmic solutions in real electronic equipment and evaluating it in real operating conditions. Thanks to the development of microprocessor technologies, RF equipment and software, SDR has become into a reliable tool in the arsenal of the designer of radio engineering equipment, and this, in turn, has changed the way innovative solutions in the radio engineering sector of the industry are formed to technical problems. The transition from continuous to discrete signal representation is determined by a compromise between the wide functionality of the radio station, on the one hand, and reasonable operational parameters when meeting the requirements of electromagnetic compatibility standards, on the other. The receiver of an "ideal" SDR radio station should have a minimum firmware, independent of frequency, modulation type and channel width, and meet the requirements of electromagnetic compatibility standards. The aim of the work is a historical overview and review of current trends in the field of radio systems based on SDR systems. To do this, the paper analyses the features of standardization and architecture of SDR radio, current trends in SDR use, foreign experience of SDR use, evolution of SDR radio stations, structure of RTL-SDR radio receiver, features of SDR receiver implementation in Specialized SoftWare (SSW).

Keywords: software-configured radio, SDR, SCA, FPGA, DSP, GPP, ASIC, direction finder.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Програмно-конфігуроване (обумовлене) радіо (SDR) або SDR (SDR - Software Defined Radio) набуває все більшого поширення і стає безцінним інструментом дослідження та розробки у радіотехнічному та телекомунікаційних секторах промисловості для швидкого прототипування нових схемотехнічних та алгоритмічних рішень в реальній радіоелектронній апаратурі та оцінці її у реальних умовах експлуатації. Завдяки розвитку мікропроцесорних технологій, радіочастотне обладнання та програмне забезпечення, SDR перетворився на надійний інструмент, який є у арсеналі розробника радіотехнічної апаратури, а це, у свою чергу, змінило спосіб формування інноваційні рішень у радіотехнічному секторі промисловості до технічних проблем.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Термін програмно-конфігурованого радіо зазвичай пов'язують з ім'ям Джозефа Мітоли та його статтею з архітектури SDR [1], опублікованій більше двадцяти п'яти років тому в період його роботи на Міністерство оборони США. Регламентація в області SDR тісно пов'язана з поняттям програмно-конфігурованої архітектури зв'язку (SCA, від англ. Software Communication Architecture), спроектованої вищезгаданим міністерством у рамках робіт з єдиних тактичних систем радіозв'язку (JTRS, від англ. Joint Tactical Radio Systems), які проводились з 1997 з метою розробки стандарту SDR [2]. Архітектура SCA була покликана забезпечити роботу систем військового радіозв'язку з різними радіосигналами незалежно від апаратної платформи за рахунок стандартизованих інтерфейсів прикладного програмування. З метою уніфікації обладнання, що виробляється для потреб міністерства оборони США, воно повинно було відповідати вимогам SCA. У Європі концепція SCA також отримала розвиток для оборонних потреб під назвою ESSOR (від англ. European Secure Software Defined Radio – проект програми Європейського Союзу з створення програмно реконфігурованих радіосистем). У згаданій публікації Джозефа Мітоли практично реалізованими були передача, прийом та обробка сигналів у програмному вигляді на нульовій/проміжній частоті з наступним апаратним перенесенням на проміжну або радіочастоту (ПЧ або RF, від англ. Radio Frequency). На сьогоднішній день розвиток програмно - апаратних засобів SDR дозволяє говорити про можливість програмної обробки сигналів безпосередньо на несучій частоті радіосигналу за рахунок високошвидкісних АЦП, але це поки що такі рішення, де вартість та енергоспоживання грають другорядну роль [3].

Міжнародною ініціативою щодо регламентування та стандартизації в області SDR є SDR-форум WInnF (від англ. Wireless Innovation Forum), де публікуються нормативні матеріали рекомендаційного характеру [4, 5]. Відповідно до її рекомендацій, SDR це таке радіообладнання, в якому усі або більшість функцій фізичного рівня виконуються в програмному вигляді, а функції, що виконуються апаратно, повинні оперативно модифікуватися за вимогами робочого стандарту зв'язку. Програмна реалізація функцій обробки сигналів та програмне управління забезпечують кардинальне підвищення функціональних можливостей радіостанції шляхом підтримки роботи в різних діапазонах і стандартах зв'язку, що реалізується за допомогою так званого модельно-орієнтованого проектування (МОП). МОП є математичним та візуальним методом вирішення завдань, пов'язаних з проектуванням систем управління, обробки сигналів та зв'язку. Підхід МОП полягає в систематичному використанні моделей протягом усього процесу розробки для проектування, аналізу, симуляції, автоматичної генерації коду та верифікації, що дозволяє суттєво скоротити час на розробку [6-8]. Побудовані моделі можуть бути реалізовані та верифіковані у спеціалізованому програмному забезпеченні (СПО).

SDR привертає все більшу увагу радіотехнічного та телекомунікаційного секторів впродовж останніх кількох десятиліть, це дозволяє підтримувати швидкі цикли проектування, гнучкий режим реального часу, багаторазове обладнання для різної реалізації трансивера, простота виготовлення, і оновлення, і доступність для багатьох інженерів радіотехніків, зв'язку, технологів та дослідників [9-13]. Це бачення SDR, яке зробило революцію телекомунікаційного сектору впродовж 20 років підживлюється значними прогресом цифрових технологій обробки, аналогово-цифровими та цифро-аналоговими перетворювачами, програмними засобами. Технологія SDR нарешті стає основним, потужним, і доступною системою зв'язку та найважливіший інструмент для створення прототипів. Фактично, на момент написання статті, багато компаній, дослідницькі лабораторії та університетів використовують SDR для підтримки широкого спектру розробок у сфері радіотехніки та зв'язку. Щоб широко використовувати технології SDR для створення прототипів радіосистем системи і мережі зв'язку, необхідно було досягти наступних умов: створити доступні апаратні платформи SDR, які володіють достатньою обчислювальною потужністю, працюють у широкому діапазоні несучих частот, і є портативними. Також необхідною є наявність середовища розробки програмного забезпечення SDR, яке забезпечує комунікацію технології з вищим рівнем платформи SDR, багатий набір модулів, алгоритми, і особливості, і широкий рівень доступності програмного забезпечення. Необхідною є кроспідтримка між апаратним і потужним обчислювальним програмним забезпеченням, що дозволяє цій технології використовувати надійні програмні моделі та інструменти в експериментах та використанні обладнання SDR в реальному часі [14].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Революція в апаратному забезпеченні SDR була тісно пов'язаною з досягненнями в технологіях обчислювальної техніки, аналого-цифрових перетворювачах (АЦП), і цифро-аналогових перетворювачах (ЦАП). Хоча технологія включення апаратного забезпечення SDR існувала протягом двох десятиліть, вартість цієї технології лише нещодавно стала доступною для більшості інженерної спільноти. Платформи, такі як радіо WARP [1], різні системи NUTAQ (раніше Lyrtech) та Universal Software Radio Peripheral (USRP) від Ettus Research (зараз частина National Instruments) [2] знаходять застосування в режимі реального часу у таких областях: бездротові мережі; радіомоніторинг спектру; динамічний доступ до спектру; глобальна система мобільного зв'язку; GSM, CDMA системи зв'язку; WCDMA; LTE базові станції мобільного зв'язку; радары; радіоастрономія; випробувальне обладнання для радіочастот; магнітно-резонансна томографія (MPT); радіонавігація та GPS; супутниковий зв'язок; радіочастотна ідентифікація (RFID) і т.п.

Щоб отримати певне уявлення про можливості сучасних платформ SDR, давайте вивчимо асортимент систем та їх технічні характеристики. Платформа Ettus USRP N210 (рис. 1а) є широко використовуваною модульною платформою SDR, що складається з радіочастотного інтерфейсу (RFFE), програмованого вентильний масив (FPGA) і процесора загального призначення (GPP). Ця платформа SDR заснована на початковій структурі, що була розроблена Меттом Еттусом. У 2003 році він почав роботу над USRP, щоб допомогти знизити бар'єр входу до SDR. Завданням модулю RFFE є об'єднання цифрових сигналів синхронізованих вибірок та антени через пряму архітектуру перетворення. Це є поєднанням малошумлячих підсилювачів (МШУ), перемикачів, змінних атенуаторів для регулювання підсилення, гетеродинів та фільтрів нижніх частот у поєднанні з АЦП і ЦАП, інтерфейсом між аналоговими РЧ доменом і цифровим доменом основної смуги пропускання.

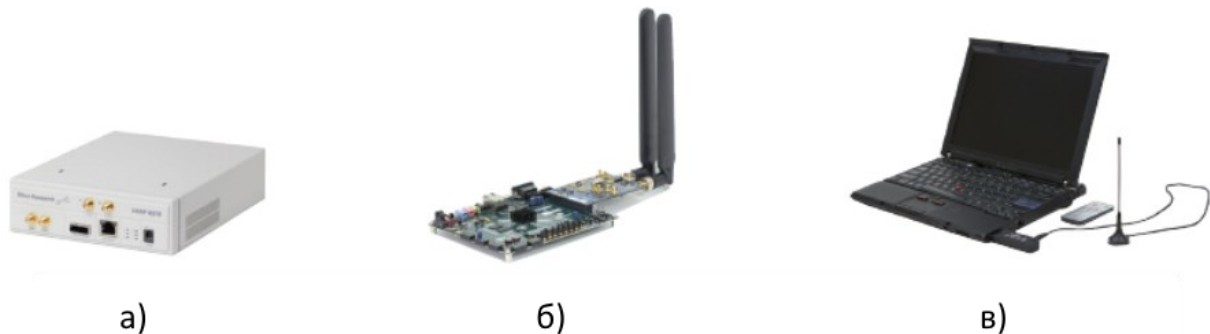


Рис. 1. Три приклади широко використовуваних SDR платформ: а – Ettus Research USRP N210 Platform ; б – ZedBoard з Xilinx Zynq-7000 FPGA з аналоговою частиною FMC ; в –NooElec NESDR Mini SDR USB

Блок FPGA виконує всі високошвидкісні операції цифрової обробки сигналів (DSP) на відліки, що надходять, а також забезпечують точність функції синхронізації, які забезпечують наступні можливості: дуплекс із часовим розподілом (TDD), множинний доступ з поділом часу (TDMA), і операції з кількома входами і багатьма виходами (MIMO) на кількох пристроях. Нарешті, FPGA містить логіку взаємодії з головним процесором. Абстрактний інтерфейс і контроль пристроїв USRP дозволив забезпечити користувача невеликим набором примітивів, за допомогою яких легко будувати системи зв'язку реального часу. USRP драйвер апаратного забезпечення (UHD) був розроблений з метою забезпечити єдиний інтерфейс прикладної програми (API).

Наступним прикладом є комбінована SDR платформа (рис. 1б) Xilinx Zynq на базі ZedBoard 7000 FPGA з AD-FMCOMMS5-EBZ. Вона є спільною розробкою між Analog Devices і Xilinx для забезпечення високої продуктивності систем. Рішення виконано на основі системи на чіпі (SoC). Xilinx Zynq-7000 FPGA має потужну, універсальну обчислювальну продуктивність за рахунок двох вбудованих процесорів ARM і FPGA. Таким чином, Zynq-7000 може підтримувати широкий спектр цифрових функцій на єдиній платформі. AD-FMCOMMS5-EBZ від Analog Devices це п'яте покоління сімейства високошвидкісних аналогових RFFE з інтенсивними обчисленнями Радіочастина виконана на основі AD9361 RF Agile Transceiver, який здатний підтримувати миттєву пропускну здатність до 56 МГц кроком 70 МГц до верхньої границі в 6 ГГц. На відміну від платформи USRP N210 SDR платформа Xilinx Zynq-7000 FPGA/AD-FMCOMMS5-EBZ – це самостійне рішення, що не вимагає окремого ПК. Тут на самому процесорі Zynq-7000 може підтримуватися Linux операційна система. Для підтримки автономних програм Ettus Research випустило USRP E300, який використовує більша частина тих же компонентів, що і Xilinx Zynq-7000 FPGA/AD-FMCOMMS5-EBZ SDR і має подібні характеристики і експлуатаційні характеристики. З точки зору ефективності, USRP N210, Xilinx Zynq-7000 FPGA/AD-FMCOMMS5-EBZ та USRP E300 SDR є надзвичайно високотехнологічними системами, на яких можна реалізувати широкий вибір рішень для різних додатків. З іншого боку, ці рішення варіюється від сотень до десятків тисяч доларів, що може бути непомірно дорого

для відносно простих застосувань, таких як прийом сигналу супутникового зв'язку, бездротовий зондування спектру або застосування, що вимагає численні платформи SDR. Отже, Ринок SDR також став свідком появи численні недорогих та простих платформ SDR наприклад: NooElec NESDR Mini SDR USB-накопичувач (рис. 1в). Ці прості приймачі SDR підключаються через порт USB комп'ютера і виконують широкий спектр операцій на основі доступних пакетів програмного забезпечення, встановлених на комп'ютері, див. таблицю 1.

Таблиця 1.

Параметри широко розповсюджених плат SDR

Параметри	Ettus B210	NI USRP-2932	RTL-SDR
Інтерфейс з ПК	USB 3.0	GBE	USB 3.0
Фізичні канали	2 TX, 2 RX	1 TX, 1 RX	1 RX
Частотний діапазон, МГц	70-6000	400-4400	25-1750
Ширина смуги каналу, МГц	56	20	2.8
АЦП, біт	12	16	8
Орієнтовна вартість, \$	1200	4600	20

Як було показано USRP E300 SDR – це автономна система, яка може підтримувати складні цифрові протоколи та функціональність цифрових сигнальних процесорів (DSP). А радіоканал на основі AD9361 дозволяє USRP E300 підтримувати системи бездротового зв'язку у більшій частині частотного спектру. До недавнього часу ефективне використання обчислювальних апаратних ресурсів SDR великою кількістю користувачів було ключовою технічною проблемою, яка перешкоджала широкомасштабному використанню SDR у радіотехнічних системах і безпроводових системах зв'язку. Нова система програмування -RF Network-On-Chip (RFNoC) [6] має за мету виправити цю ситуацію.

Радіочастотна мережа на чіпі RFNoC – це нова система програмування для FPGA розроблені в Ettus Research з мета полегшити розробку великих проектів у SDR з FPGA. Ця архітектура дозволяє користувачам легко інтегрувати власні модулі, такі як модулятори, демодулятори, процесори та стеки протоколів, без потреби ставати експертами з проектування FPGA. Основна концепція RFNoC полягає в тому, що не вся мікросхема FPGA підлягає модифікації, користувачі замість цього працюють з мережею функціональних одиниць, які називаються обчислювальними механізмами (CE). Ця мережа різко зменшує складність великих конструкцій і дозволяє динамічну гнучкість під час виконання багатьох програм, яких вимагають когнітивні радіоприймачі. Кожен обчислювальний механізм має однаковий інтерфейс до мережі, тому вони легко взаємозамінні.

Елементи обчислювальної мережі можуть масштабуватися на кількох FPGA, у тому числі різних типів, що дозволяє реалізовувати портативність пристрої USRP. Це також робить динамічним реконфігурування FPGA набагато легшим завдання і значно полегшує виконання часових вимог в FPGA. Мережевим чином підключаються обчислювальні механізми, радіоприймачі та зовнішні мережеві інтерфейси. На рис. 2 показано внутрішні елементи FPGA пристрою X300 із зовнішнім 10G Інтерфейси Ethernet і PCIe.

Пристрій E300 виглядав би так само, але замість Ethernet і PCIe, він має інтерфейси до свого вбудованого ARM ЦП. Мережа існує всередині FPGA, але вона також прозора маршрутизується через декілька FPGA пристрої, які можна підключати безпосередньо або через комутатори Ethernet тощо. Це дозволяє користувачеві легко створювати великі системи, що складаються з багато FPGA і багатьох синхронізованих MIMO-каналів.

Архітектура радіосистем SDR

Загальноприйнято визначати архітектуру радіостанції у термінах моделі відкритих систем зв'язку OSI-7. Будь-яка радіостанція, у тому числі радіостанція SDR, включає апаратну та програмну частини, функції яких спільно визначаються на фізичному рівні та підрівні MAC канального рівня в моделі OSI. Наприклад, перетворення спектру прийнятого/переданого сигналу, модуляція/демодуляція, фільтрація повинні максимально виконуватися в цифровій області програмно або апаратно при можливості реконфігурації апаратних засобів незалежно від робочого стандарту радіозв'язку [6]. На рис. 3 показано загальну архітектуру радіостанції SDR. Ця функціональна схема визначає побудову приймача та передавача. Кожному функціональному блоку відповідає апаратна чи програмна реалізація. Антена може бути будь-якого типу, від найпростішої дипольної конструкції до фазованої решітки, включаючи інші елементи антенно-фідерного тракту; ця частина радіостанції реалізується тільки в апаратному вигляді. Елемент перетворення з РЧ на ПЛ відбиває мінімально необхідну апаратну обробку високочастотного (ВЧ) модульованого сигналу у приймачі та передавачі.

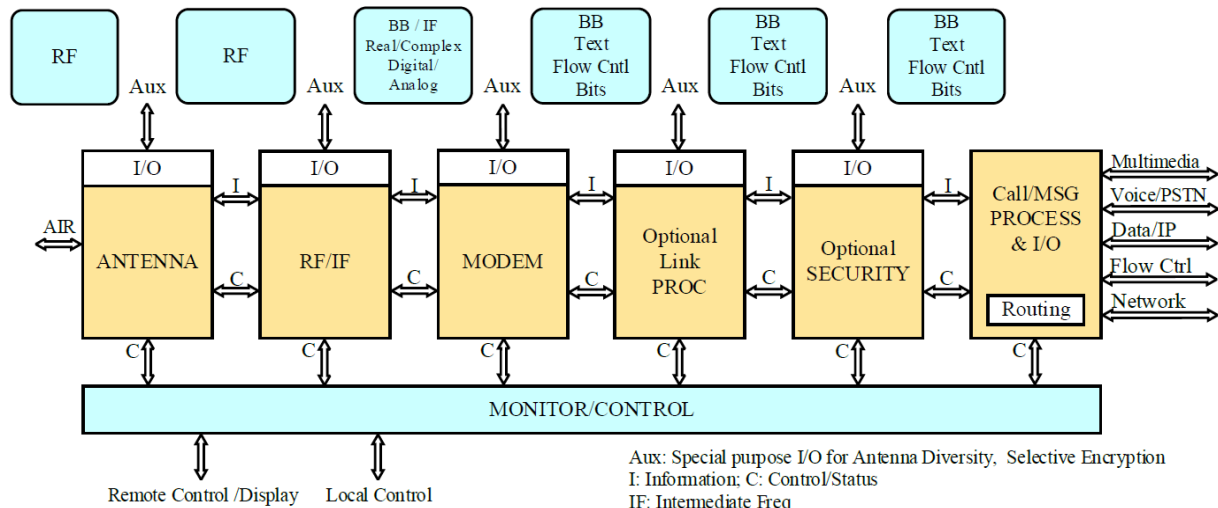


Рис.2. Архітектура радіосистеми SDR [8]

Певне апаратне перетворення прийнятого/переданого сигналу необхідно в будь-якій функціональній схемі радіостанції, бо реально неможливо підключити ЦАП/АЦП безпосередньо до антени для перетворення високочастотного сигналу. Практично елемент RF/IF може включати смгові фільтри (СФ) для модуляційного сигналу [15, 16], змішувач, підсилювач потужності передавача або малошумний підсилювач (МШУ) приймача, опорний ВЧ-генератор (ОГ), модулятор/демодулятор і т.д. АЦП/ЦАП та програмні операції з виконання функцій фізичного рівня: цифровий фільтрації, модуляції/демодуляції, радіочастотної та тактової синхронізації, збирання/розбирання пакетів і т.п. Процесор (Optional Link PROC) виконує функції каналного підрівня MAC з управління та стабілізації параметрів апаратури радіоканалу (RF/IF) та елементів антенно-фідерного тракту. Апаратура процесорної частини може включати спеціалізовані програмовані логічні інтегральні схеми, цифрові сигнальні процесори (DSP, від англ. Digital Signal Processors), процесори загального призначення (GPP, від англ. General Purpose Processor). Основним параметром, що визначає архітектуру приймача-передавача радіостанції SDR, є розташування АЦП/ЦАП щодо приймаючої/передаючої антени. Подання сигналу у цифровому вигляді та його наступна цифрова обробка забезпечують максимальну якість виконуваних функцій і максимальну гнучкість відповідно до основної вимоги багато станційного режиму роботи радіостанції SDR.

З цього погляду необхідно розташовувати перетворювачі АЦП/ЦАП максимально близькі до антени. З іншого боку, цифрова обробка суміші безлічі прийнятих/формованих ВЧ-сигналів без попередньої фільтрації та/або перетворення частоти може пред'являти вищі вимоги щодо швидкості роботи, динамічного діапазону та енергоспоживання цифрових пристроїв. Перехід від безперервного представлення сигналу до дискретного визначається компромісом між широкими функціональними можливостями радіостанції, з однієї сторони, та розумними експлуатаційними параметрами за умови виконання вимог стандартів електромагнітної сумісності – з іншого. Приймач «ідеальної» радіостанції SDR повинна мати мінімальну програмно-апаратну частину, яка не залежить від частоти, виду модуляції та ширини каналу, та задовольняти вимоги стандартів EMC. Спрощена функціональна схема такої радіостанції показано на рис. 3, де: АРП - автоматичне регулювання посилення; АРЧ – автоматичне регулювання частоти; АРПт – автоматичне регулювання потужності.

Апаратна частина приймача включає вхідний СФ, МШУ з функцією автоматичного регулювання посилення та АЦП. Останній передусе антиалайзінговим (від англ., anti-aliasing) фільтром нижніх частот (ФНЧ), який виконує технічну функцію сполучення смуги частот аналогового сигналу з частотою обробки АЦП. Прийнятий сигнал у цифровому вигляді потрапляє в процесор, де і проводиться його подальша обробка: основна селекція відносно сигналів на сусідніх каналах, оптимальна фільтрація, демодуляція, синхронізація та детектування. Апаратна частина передавача включає ЦАП, фільтр, що перебудовується. На виході ЦАП розташовано відновлюючий фільтр (від англ. Reconstruction Filter, Anti-Imaging Filter), який виконує придушення у спектрі аналогового ВЧ-сигналу паразитних частот ЦАП. Аналіз архітектури радіостанції SDR та приймача-передавача «ідеальної» радіостанції SDR ілюструють тенденцію зменшення апаратної обробки з одночасним збільшенням частки програмної обробки радіосигналів, яку можна реалізувати засобами мікропроцесорної обробки та, таким чином, пояснюють виникнення нової парадигми, пов'язаної з SDR. Апаратна частина, що відповідає за обробку радіосигналів на РЧ, включає СФ, змішувачі, МШУ приймача, ОГ та передуючі програмно-керовані АРУ, АРЧ та АРМ. Програмно-апаратна частина, що відповідає за обробку низькочастотного інформаційного сигналу, включає перетворювачі АЦП/ЦАП та процесор, що реалізує програмні операції виконання функцій фізичного та каналного рівнів, таких як

цифрова фільтрація, модуляція/демодуляція, частотна та тактова (бітова) синхронізація, збирання/розбирання пакетів, керування-параметрами обробки радіосигналу на ВЧ.

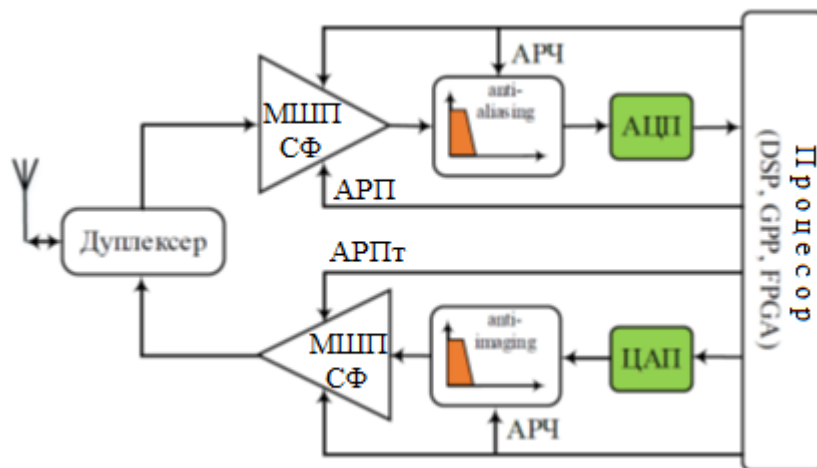


Рис.3. Приймач-передавач ідеальної радіосистеми SDR: МПП – малошумний підсилювач; СФ – смуговий фільтр; АЦП/ЦАП – аналогоцифровий та цифроаналоговий перетворювач; АРПт – коло автоматичного регулювання потужності; АРП – коло автоматичного регулювання підсилення; АРЧ – коло автоматичного регулювання частоти

Програмна реалізація алгоритмів передачі, прийому та обробки сигналів радіозв'язку в SDR найбільш гнучко і оперативно реалізується універсальними GPP. Показовим прикладом подібної успішної реалізації є підвищення продуктивності базових станцій (БС) GSM при заміні на більш сучасні в кінці 90-х; програмне забезпечення БС при цьому не було потрібно міняти зовсім.

Рішення з відкритим кодом для прототипування SDR

Як було показано в попередньому розділі статті, відповідні цифрові обчислювальні устаткування в поєднанні з універсальним RFFE є одними з необхідних складових частин для забезпечення широкого впровадження технології SDR. Тим не менш, впровадження систем SDR також вимагає достатньої підтримки програмного забезпечення та інструментів, які доступні користувачеві для того, щоб забезпечують швидкий розвиток і еволюцію рішень та конструкцій. Різноманітність SDR з відкритим програмним кодом, включають OSSIE [3], CubicSDR, ALOE [4] та широко використовуваний радіо GNU проект [5]. Для кращого розуміння цих програмних фреймворків з відкритим кодом для побудови та експлуатації систем зв'язку, розглянемо еволюцію програмного забезпечення з відкритим кодом для SDR, шляхом вивчення історії та можливостей GNU Radio. У 2001 році Ерік Блоссом заснував GNU Radio проект з метою забезпечення стандартів для створення програм SDR за допомогою безкоштовного програмного забезпечення. Він привернув велику спільноту користувачів і розробників з усього світу, проект став найкращим середовищем для дизайну багатьох досліджень у сфері SDR та когнітивних радіо. GNU Radio працює за допомогою підключення архітектури, де блоки обробки сигналів та алгоритми поміщені разом у таку послідовність, що вибірки проходять через графік, з кожним блок, що працює незалежно від цих вибірок. Крім того, GNU Radio поставляється з різноманітною графікою, інструментами для створення графіків та інструменти моделювання: наприклад - різні моделі каналів, щоб забезпечити прості способи моделювання та спостереження поведінки нової розробки. Коли справа доходить до створення системи зв'язку та іншої обробки сигналів систем, GNU Radio має кілька режимів, які допомагають забезпечити переміщення даних через систему. Інтуїтивно зрозумілий спосіб обробки сигналу полягає в переміщенні даних у вигляді потоку вибірок. GNU Radio підтримує поточкову модель з моменту її заснування, і це вирішує ряд питань комунікацій. GNU Radio також реалізує система передачі повідомлень, де повідомлення одиниць протокольних даних (PDU), які можуть представляти пакет, кадр, фрагмент як єдине ціле. Граничні умови з ними набагато легше обробляти таким чином і таким чином дозволяє зосередитися на ефективній обробці даних у PDU. GNU Radio має третю модель для переміщення навколишніх даних, які називають системою тежованого потоку, який спеціально розроблений для проходження метаданих. Теги рухаються синхронно з даними і обробляються належним чином за допомогою зміни частоти вибірки. Кожна з трьох моделей переміщення даних мають своє застосування в GNU Radio і програмний комплекс, до певної міри, використовує кожну концепцію. Наукова радіотехнічна спільнота має ряд проблем, якими є одночасно адресація, перевірка існуючих стандартів, покращень і питань ефективності, і ризиків безпеки. Крім того, дослідницька спільнота дивиться на нові моделі комунікацій, які можуть або не можуть бути прив'язані до існуючих систем або методів. Нарешті, дослідження постійно рухаються у напрямку вирішення проблеми бездротової передачі даних, таких як стандарти 5G. GNU Radio як проект, не є

безпосередньо зацікавлені в конкретних стандартах. Натомість GNU Radio розробляє архітектурний каркас і API, що дозволяє розробляти та вивчати проблеми за допомогою зовнішнього дерева модульної концепції проекту. З іншого боку, у проекті є кілька програмних напрямів, зосереджених на конкретних стандартах.

Результати вибору платформи SDR для розробки пеленгатора БПЛА

Отже для розробки складної радіотехнічної розробки пеленгатора нами обрано систему USRP N210 Networked Series виробництва Ettus Research: USRP N210 забезпечує обробку з високою пропускну здатністю та високим динамічним діапазоном. USRP N210 Networked Series призначений для високонавантажених радіотехнічних рішень, які потребують високих технічних характеристик, див. табл. 2.

Таблиця 2.

Параметри системи SDR Ettus Research USRP N210 Platform [6]

№	Параметри
1.	Use with GNU Radio, LabVIEW™ and Simulink™
2.	Modular Architecture: DC-6 GHz
3.	Dual 100 MS/s, 14-bit ADC
4.	Dual 400 MS/s, 16-bit DAC
5.	DDC/DUC with 25 mHz Resolution
6.	Up to 50 MS/s Gigabit Ethernet Streaming
7.	Fully-Coherent MIMO Capability • Gigabit Ethernet Interface to Host
8.	2 Gbps Expansion Interface
9.	Spartan 3A-DSP 1800 FPGA (N200)
10.	Spartan 3A-DSP 3400 FPGA (N210)
11.	1 MB High-Speed SRAM
12.	Auxiliary Analog and Digital I/ O
13.	2.5 ppm TCXO Frequency Reference
14.	0.01 ppm w/ GPSDO Option

Архітектура USRP N210 включає FPGA Xilinx® Spartan® 3A-DSP 3400, подвійний АЦП 100 Мв/с, подвійний ЦАП 400 Мв/с і підключення Gigabit Ethernet для потокової передачі даних на/з комп'ютера. Модульна конструкція дозволяє USRP N210 працювати від до 6 ГГц, а порт розширення дозволяє синхронізувати декілька пристроїв серії USRP N210 і використовувати їх у конфігурації МІМО. Додатковий модуль GPSDO також може бути використаний для підналаштування еталонного годинника USRP N210 з точністю до 0,01 ppm від світового стандарту GPS. USRP N210 може передавати до 50 Мв/с до/ з хост-програм, рис. 4. Користувачі можуть реалізувати власні функції в структурі FPGA або у вбудованому 32-розрядному програмному ядрі RISC. USRP N210 забезпечує більшу ємність FPGA, ніж USRP N200, для додатків, які потребують додаткової логіки, пам'яті та ресурсів для цифрової обробки сигналів. FPGA також має потенціал для обробки до 100 Мс/с у напрямках передачі та прийому. Прошивку FPGA можна міняти через інтерфейс Gigabit Ethernet, що значно пришвидшує відладку, рис. 5.



Рис.4. Система SDR Ettus Research USRP N210 Platform

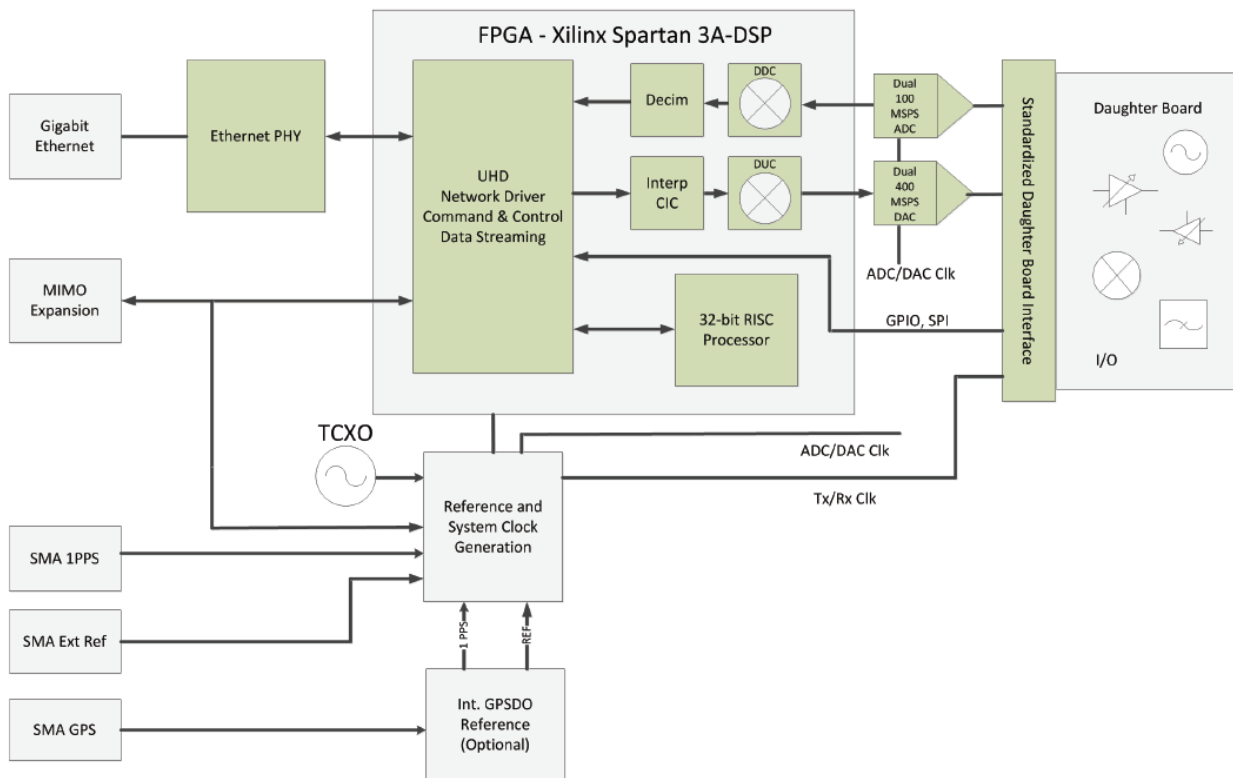


Рис.5. Функціональна схема USRP N210 [6]

Ettus Research™ USRP™ N200 і N210 є найефективнішим класом апаратного забезпечення з сімейства продуктів USRP™ (Universal Software Radio Peripheral), що дозволяє інженерам швидко проектувати та впроваджувати потужні, гнучкі програмні радіосистеми. Обладнання N200 і N210 ідеально підходить для рішень, які потребують високої продуктивності та великої пропускної здатності. Такі програми включають створення прототипів фізичного рівня, динамічний доступ до спектру та когнітивне радіо, моніторинг спектру, запис і відтворення сигналів. Продукти мережевої серії пропонують можливість MIMO з високою пропускною здатністю та динамічним діапазоном. Інтерфейс Gigabit Ethernet служить з'єднанням між N200/N210 і головним комп'ютером. Це дозволяє користувачеві одночасно реалізувати 50 Mc/s пропускної здатності в режимі реального часу в напрямках прийому і передачі (повний дуплекс). З'єднання мережевої серії MIMO розташоване на передній панелі кожного пристрою. Для реалізації повної конфігурації MIMO 2x2 за допомогою додаткового кабелю MIMO можна підключити два блоки мережевої серії. Зовнішні PPS та опорні входи також можна використовувати для створення більших багатоканальних систем. N200 і N210 в основному однакові, за винятком того, що N210 має більший FPGA для тих, хто має намір інтегрувати власні функціональні можливості FPGA. USRP Hardware Driver™ є офіційним драйвером для всіх продуктів Ettus Research. Драйвер апаратного забезпечення USRP підтримує Linux, Mac OSX, Windows.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Досягнення технології SDR зробили революцію, як у радіотехнічному так і телекомунікаційному сектор дослідження, розробці та освітній діяльності. Недороге, доступне та надійне SDR апаратне забезпечення в поєднанні з методами розробки SDR у системах з відкритим програмним кодом середовища та потужне комп'ютерне програмне забезпечення, здатне взаємодіяти з платформами SDR, істотно змінили підходи до створення прототипів радіотехнічних системи та мереж.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mitola J. The software radio architecture /J. Mitola // IEEE Communications Magazine. - 1995. - Vol. 33., Iss. 5. - P. 26–38. DOI:10.1109/35.393001.
2. Belisle C. The software communications architecture: two decades of software radio technology innovation / C. Belisle, V. Kovarik, L. Pucker, M. Turner // IEEE Communications Magazine. - 2015. - Vol. 53., Iss. 9. - P. 31–37. DOI:10.1109/MCOM.2015.7263343.
3. Moy C. Software radio: a catalyst for wireless innovation / C. Moy, J. Palicot // IEEE Communications Magazine. - 2015. - Vol. 53., Iss. 9. - P. 24–30. DOI:10.1109/MCOM.2015.7263342.
4. Wireless Innovation Forum. [Electronic resource] URL: <https://www.wirelessinnovation.org> (date of appeal: 30.03.2022).
5. GNU Radio. The Free & Open Soft Radio Ecosystem. [Electronic resource] URL: <https://www.gnuradio.org> (date of appeal: 30.03.2022).

6. Ettus Research. [Electronic resource] URL: <https://www.ettus.com> (date of appeal: 30.03.2022).
7. NooElec. [Electronic resource] URL: <https://www.nooelec.com/store/sdr.html> (date of appeal: 30.03.2022).
8. Bilén S.G. Software-Defined Radio: A New Paradigm for Integrated Curriculum Delivery / S.G. Bilén, A.M. Wyglinski, C. Anderson, T. Cooklev, C.B. Dietrich, B. Farhang-Boroujeny, *et al.* // IEEE Communications Magazine. - 2014. - Vol. 52., Iss. 5. - P. 184–193. DOI:10.1109/MCOM.2014.6815911.
9. El-Hajjar M. Demonstrating the Practical Challenges of Wireless Communications Using USRP / M. El-Hajjar, Q.A. Nguyen, R.G. Maunder, S.X. Ng // IEEE Communications Magazine. - 2014. - Vol. 52., Iss. 5. - P. 184–193. DOI:10.1109/MCOM.2014.6815911.
10. Petrova M. System-oriented communications engineering curriculum: teaching design concepts with SDR platforms / M. Petrova, A. Achtzehn, P. Mähönen // IEEE Communications Magazine. - 2014. - Vol. 52., Iss. 5. - pp. 202–209. DOI:10.1109/MCOM.2014.6815913.
11. Stewart R.W. A low-cost desktop software defined radio design environment using MATLAB, simulink, and the RTL-SDR / R.W. Stewart, L. Crockett, D. Atkinson, K. Barlee, D. Crawford, I. Chalmers, *et al.* // IEEE Communications Magazine. - 2015. - Vol. 53., Iss. 9. - P. 64–71. DOI:10.1109/MCOM.2015.7263347.
12. Wyglinski A.M. Revolutionizing software defined radio: case studies in hardware, software, and education / A.M. Wyglinski, D.P. Orofino, M.N. Ettus, T.W. Rondeau // IEEE Communications Magazine. - 2016. - Vol. 54., Iss. 1. - P. 68–75. DOI:10.1109/MCOM.2016.7378428.
13. Stewart R.W. Software Defined Radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR. / R.W. Stewart, K.W. Barlee, D.S.W. Atkinson, L.H. Crockett. - Glasgow: Strathclyde Academic Media, 2015.
14. Фокин Г.А. Практическая реализация приемопередатчика OFM-2 на SDR платформе Ettus B210 в среде GNU Radio / Г.А. Фокин, В.А. Лаврухин, Д.А. Волгушев, А.В. Киреев // Информационные технологии моделирования и управления. - 2016. - Т. 99. - № 3. - С. 178–187.
15. Boiko J. M. Investigation of signals distortion during interpolation in SDR transmitters with QPSK modulation / J. M. Boiko, I. S. Pyatin, O. I. Eromenko, I. R. Parkhomey // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2019. - № 1' (34). - С. 5-15.
16. Бойко Ю. М. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завод: монографія / Ю. М. Бойко, В. А. Дружинін, С. В. Толопа. - Київ: Логос, 2018. - 227 с.

REFERENCES

1. Mitola J. The software radio architecture / J. Mitola // IEEE Communications Magazine. - 1995. - Vol. 33., Iss. 5. - P. 26–38. DOI:10.1109/35.393001.
2. Belisle C. The software communications architecture: two decades of software radio technology innovation / C. Belisle, V. Kovarik, L. Pucker, M. Turner // IEEE Communications Magazine. - 2015. - Vol. 53., Iss. 9. - P. 31–37. DOI:10.1109/MCOM.2015.7263343.
3. Moy C. Software radio: a catalyst for wireless innovation / C. Moy, J. Palicot // IEEE Communications Magazine. - 2015. - Vol. 53., Iss. 9. - P. 24–30. DOI:10.1109/MCOM.2015.7263342.
4. Wireless Innovation Forum. [Electronic resource] URL: <https://www.wirelessinnovation.org> (date of appeal: 30.03.2022).
5. GNU Radio. The Free & Open Soft Radio Ecosystem. [Electronic resource] URL: <https://www.gnuradio.org> (date of appeal: 30.03.2022).
6. Ettus Research. [Electronic resource] URL: <https://www.ettus.com> (date of appeal: 30.03.2022).
7. NooElec. [Electronic resource] URL: <https://www.nooelec.com/store/sdr.html> (date of appeal: 30.03.2022).
8. Bilén S.G. Software-Defined Radio: A New Paradigm for Integrated Curriculum Delivery / S.G. Bilén, A.M. Wyglinski, C. Anderson, T. Cooklev, C.B. Dietrich, B. Farhang-Boroujeny, *et al.* // IEEE Communications Magazine. - 2014. - Vol. 52., Iss. 5. - P. 184–193. DOI:10.1109/MCOM.2014.6815911.
9. El-Hajjar M. Demonstrating the Practical Challenges of Wireless Communications Using USRP / M. El-Hajjar, Q.A. Nguyen, R.G. Maunder, S.X. Ng // IEEE Communications Magazine. - 2014. - Vol. 52., Iss. 5. - P. 184–193. DOI:10.1109/MCOM.2014.6815911.
10. Petrova M. System-oriented communications engineering curriculum: teaching design concepts with SDR platforms / M. Petrova, A. Achtzehn, P. Mähönen // IEEE Communications Magazine. - 2014. - Vol. 52., Iss. 5. - pp. 202–209. DOI:10.1109/MCOM.2014.6815913.
11. Stewart R.W. A low-cost desktop software defined radio design environment using MATLAB, simulink, and the RTL-SDR / R.W. Stewart, L. Crockett, D. Atkinson, K. Barlee, D. Crawford, I. Chalmers, *et al.* // IEEE Communications Magazine. - 2015. - Vol. 53., Iss. 9. - P. 64–71. DOI:10.1109/MCOM.2015.7263347.
12. Wyglinski A.M. Revolutionizing software defined radio: case studies in hardware, software, and education / A.M. Wyglinski, D.P. Orofino, M.N. Ettus, T.W. Rondeau // IEEE Communications Magazine. - 2016. - Vol. 54., Iss. 1. - P. 68–75. DOI:10.1109/MCOM.2016.7378428.
13. Stewart R.W. Software Defined Radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR. / R.W. Stewart, K.W. Barlee, D.S.W. Atkinson, L.H. Crockett. - Glasgow: Strathclyde Academic Media, 2015.
14. Фокин Г.А. Практическая реализация приемопередатчика OFM-2 на SDR платформе Ettus B210 в среде GNU Radio / Г.А. Фокин, В.А. Лаврухин, Д.А. Волгушев, А.В. Киреев // Информационные технологии моделирования и управления. - 2016. - Т. 99. - № 3. - С. 178–187.
15. Boiko J. M. Investigation of signals distortion during interpolation in SDR transmitters with QPSK modulation / J. M. Boiko, I. S. Pyatin, O. I. Eromenko, I. R. Parkhomey // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2019. - № 1' (34) – С. 5-15.
16. Boiko J.M. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості у ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завод: монографія / J. M. Boiko, V. A. Druzhynin, S. V. Toliupa. - Kyiv: Lohos, 2018. - 227 s.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-69-1-5>

УДК 004.056.2: 654.01

Юрій ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4005-5669>

e-mail: getman-58@ukr.net

Віктор ЧЕШУН

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3935-2068>

e-mail: cheshunvn@khmnu.edu.ua

Андрій ДЖУЛІЙ

Університет економіки і підприємництва, м. Хмельницький

<https://orcid.org/0000-0001-5011-3052>

e-mail: kksmkhnu@gmail.com

Віталій ЧОРНЕНЬКИЙ

Університет економіки і підприємництва, м. Хмельницький

<https://orcid.org/0000-0002-0576-7097>

e-mail: vitel@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ ТА БЕЗПЕКИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Сучасні телекомунікаційні мережі застосовують нові інформаційні технології, які дозволяють їм у режимі реального часу гарантувати підвищення якості роботи, безпеки, доступності комунікаційних послуг. Такі телекомунікаційні мережі забезпечують необхідні значення показників якісної та вірогідної передачі різномісної інформації, що здійснюється за рахунок використання інформаційного захисту. Тому при експлуатації сучасних телекомунікаційних мереж повинен бути використаний досить широкий спектр технічних та технологічних рішень для їх аналізу і моніторингу.

В роботі запропоновано підходи для збільшення доступності використання інформаційних технологій по підвищенню якості роботи та безпеки сучасних телекомунікаційних мереж. Архітектура побудови сучасних інформаційних мереж на базі телекомунікацій дозволяє їх реалізувати із застосуванням сучасних технологій високого ступеня їх інтеграції. При цьому повинні враховуватись вимоги до якості надання таких телекомунікаційних послуг та ефективності використання захисту такої інформації. Практика сучасного використання і експлуатації таких телекомунікаційних мереж, пов'язана із їх недостатньою прозорістю, організаційними обмеженнями та специфікою роботи, яка визначає необхідність для більш широкого впровадження сучасних статистичних методів для аналізу якості роботи, їх захисту на основі відкритої інформації. Знаючи властивості інформаційних сигналів, видів комунікаційних послуг тут можна встановити відмінності між ними та використати їх для розроблення способів та методів забезпечення якості роботи мережі і передачі для доступності та захисту таких послуг. Дослідження дають можливість користувачам комунікаційної мережі отримувати послуги із необхідною якістю, достовірністю та дозволить подолати всі виникаючі проблеми захисту передачі потоків інформації.

Ключові слова: телекомунікаційні мережі, інформаційні технології, телекомунікаційні послуги, інформаційна безпека.

Yuriy KHMELNYTSKYI, Viktor CHESHUN

Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

Andrii DZHULIY, Vitalii CHORNENKIY

University of Economics and Entrepreneurship, Khmelnytsky, Ukraine

USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES TO IMPROVE THE QUALITY OF WORK AND SAFETY OF TELECOMMUNICATIONS NETWORKS

Modern telecommunication networks use new information technologies that allow them to guarantee real-time quality of work, security, availability of communication services. Such telecommunication networks provide the necessary values of indicators of quality and reliable transmission of various types of information, which is carried out through the use of information protection. Therefore, in the operation of modern telecommunications networks should be used a wide range of technical and technological solutions for their analysis and monitoring.

The paper proposes approaches to increase the availability of information technology to improve the quality of work and security of modern telecommunications networks. The architecture of construction of modern information networks on the basis of telecommunications allows to realize them with application of modern technologies of high degree of their integration. This should take into account the requirements for the quality of such telecommunications services and the effectiveness of the use of protection of such information. The practice of modern use and operation of such telecommunications networks is associated with their lack of transparency, organizational constraints and specifics of work, which determines the need for wider implementation of modern statistical methods for analyzing the quality of work, their protection based on open information. Knowing the properties of information signals, types of communication services, you can establish the differences between them and use them to develop ways and methods to ensure the quality of the network and transmission for the availability and protection of such services. Research enables users of the communication network to receive services with the required quality, reliability and will overcome all emerging problems of protection of information flows.

Keywords: telecommunication networks, information technologies, telecommunication services, information security.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

У результаті проведеного дослідження відмічено, що з огляду на неоднорідність мережевих інформаційних ресурсів та аудиторії, якій вся ця інформація адресована, у телекомунікаційних мережах (ТКМ) повинен функціонувати великий набір якісних комунікаційних інформаційних сервісів, що забезпечують ефективну роботу користувача із різномірною захищеною інформацією. Тому є очевидним, що при експлуатації ТКМ має бути використано широкий спектр сучасних інформаційних технологій для моніторингу та аналізу якості роботи. При виборі таких технологій та відповідних математичних рішень необхідно враховувати особливості комунікаційного середовища, доступного для кожного із цих цільових груп користувачів. Ці категорії користувачів в статті будуть розглядатися із точки зору наявних у їх розпорядженні засобів телекомунікаційного доступу до комунікаційних ресурсів та перспектив розвитку даного середовища.

В сучасних умовах розвиток та вдосконалення технологічної бази аналізу та моніторингу якості роботи ТКМ та їх безпека багато в чому визначають швидкий розвиток країн і має важливе значення для їх інформаційного розвитку. Сьогодні створюються та розвиваються міжнародні, національні ТКМ, орієнтовані як на рішення державних завдань, так і на розвиток окремо взятої особистості. Розвиток сучасних ТКМ обумовлює необхідність створення та надійного функціонування великого та різномірного набору комунікаційних сервісів, що будуть у подальшому забезпечувати ефективну роботу користувачів із інформацією у ТКМ. Разом з тим, неоднорідність сучасних інформаційних ресурсів, аудиторії користувачів, якій інформація адресована, дуже ускладнює об'єктивний аналіз та моніторинг телекомунікаційних ресурсів. Тому при експлуатації ТКМ повинно бути використано досить широкий спектр сучасних технічних і технологічних рішень їх аналізу та моніторингу. Вся практика сучасного використання та експлуатації ТКМ пов'язана із їх недостатньою прозорістю, різними організаційними обмеженнями та специфікою їх роботи, яка визначає необхідність для більшого і широкого впровадження статистичних методів аналізу якості роботи, захисту на основі відкритої інформації. Дослідження показують, що на сьогодні проявляється значний інтерес до використання методів і моделей теорії інформаційних технологій та мереж. Популярність сучасних інформаційних технологій можна пояснити їх ефективністю для застосування у задачах прогнозування, класифікації образів, управління та створення ТКМ із пам'яттю тощо. Архітектура побудови сучасних інформаційних мереж дозволяє їх реалізувати із застосуванням надсучасних технологій високого ступеня інтеграції. Це відкриває значну перспективу для створення універсального процесора з однорідною його структурою, здатного вже переробляти будь-яку та різноманітну інформацію і не вимагає наявності програми обробки, тут достатня для цього тільки фактично постановка задачі. На сьогодні ж ще не до кінця є розв'язаними та залишаються нові завдання по використанню нових інформаційних технологій для підвищення якості роботи та безпеки сучасних ТКМ, при якому можуть одночасно і якісно використовуватись доступні послуги та ресурси такої ТКМ. При цьому повинні також враховуватись вимоги до якості надання таких послуг та ефективності захисту інформації. Тому розроблення методів, способів та алгоритмів підвищення якості і доступності комунікаційних сервісів та послуг шляхом їх використання для навантажень на окремі сегменти архітектури ТКМ по передачі інформації із повним забезпеченням вимог до якості та захисту комунікаційних таких послуг без залучення додаткових інформаційних її ресурсів на сьогодні є досить актуальним науковим завданням.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження у роботі пов'язано із використанням сучасних інформаційних технологій для підвищення якості роботи та безпеки ТКМ в умовах пікових навантажень на таку мережу та її окремі сегменти. Підвищення якості роботи та доступності їх послуг можливо тут досягнути за рахунок використання для передачі частини навантаження методи та моделі теорії штучних нейронних мереж (ШНМ). Використання та експлуатація сучасних ТКМ пов'язано із значною складністю, організаційними обмеженнями та їх специфікою, яка вже визначає необхідність використання більш широкого та обґрунтованого впровадження методів для моніторингу та аналізу на основі різномірної інформації яку можуть отримати такі системи використовуючи сучасні інтелектуальні інформаційні методи та засоби. Досить широка популярність ШНМ можна пояснити їх ефективністю при застосуванні у задачах прогнозування, класифікації її образів, оптимізації, управління. Все це відкриває велику перспективу для створення універсального процесора у структурі ТКМ із однорідною структурою, здатного переробляти різноманітну потокову інформацію, що не вимагає обов'язкової наявності програми для обробки. Сучасний клас інформаційних інтелектуальних технологій та їх моделей вже містить різноманітні математичні моделі, що складаються із пов'язаних між собою базових елементів, які мають свою характерну за параметрами архітектуру та структуру. До таких досліджень в рамках сучасних інформаційних технологій можуть бути віднесені надсучасні ШНМ прямого поширення, у тому числі із некласичними функціями для їх активації, різні типи ШНМ із радіальними базисними функціями, перспективні імовірнісні ШНМ, ШНМ Фальмана тощо.

Підвищення доступності та якості сучасних комунікаційних послуг для користувачів у ТКМ в умовах пікових навантажень системи значною мірою залежить від ефективності їх методів управління доступом до

таких ресурсів. Значна частина використання цих ресурсів пов'язана із балансуванням навантаження ТКМ і використанням завадостійких систем передачі інформації. Для підвищення доступності та якості роботи комунікаційних процесів на основі послуг сервісних систем є велика кількість застосувань у вигляді електронних послуг на основі мереж доступу[1]. Стосовно застосування сучасних інтелектуальних технологій для підвищення якості роботи ТКМ, які функціонують у складі систем управлінської інформації та різних її інфраструктурних сервісів, то сама технологія призначена для інформаційної підтримки та автоматизації вирішення типових задач, які виникають в процесі вирішення покладених на систему завдань. Для вирішення покладених на ТКМ задач з підвищення якості її роботи, система охоплює різноманітні компоненти програмно-апаратного комплексу [2]:

- різні робочі станції, на яких встановлено програмне забезпечення для захисту інформації, системне та прикладне забезпечення для організації роботи адміністраторів та користувачів такої мережі;
- мережні сервери, на яких вже встановлено системне програмне забезпечення для повноцінної роботи системи моніторингу та керування елементами такої мережі, а також спеціалізоване програмне забезпечення для її технічного захисту, різне прикладне програмне забезпечення;
- кабельну підсистему, пасивне мережеве обладнання, що об'єднує робочі станції та сервери цієї мережі;
- активне її мережеве обладнання, що забезпечує обмін різними типами даних та розмежування їх доступу;
- засоби для забезпечення безперервного живлення такої системи;
- спеціалізоване мережеве обладнання, що тут забезпечує захист таких мережових об'єктів та впровадженням мережної політики системи для її безпеки.

Характеристики інформації, що оброблюється у різних вузлах такої мережі, які функціонують у складі комплексу та технології для її оброблення визначаються функціональними завданнями, які вирішують співробітники різних підрозділів за допомогою різноманітних систем, а також особливостями системи автоматизації відповідних процесів за допомогою необхідних засобів. Для забезпечення використання сучасних інформаційних технологій з підвищення якості роботи та безпеки ТКМ сама характеристика інформації, що оброблюється у такій системі, має забезпечувати повну функціональність, необхідну для повної реалізації інформаційних сервісів для її самообслуговування. Також така ТКМ надає засоби для системного адміністрування та вирішення різних видів завдань, таких як управління її користувачами, централізоване управління даними та управління їх вебсервісами. Тут вирішення передбачає досить широку функціональність та повну інтеграцію у такій ТКМ. Система використовується для повного аналізу, що дозволяє здійснювати стратегічний аналіз їх даних та підтримку у процесі прийняття їх управлінських рішень. Призначена також вона для надання всебічного повного доступу та обробки різної інформації у мережі, що міститься у таких системах чи базах даних підприємств та для її аналізу. В якості джерел можуть виступати різноманітні інформаційні системи (бухгалтерські, фінансові програми тощо), різні спеціалізовані галузеві інформаційні рішення, локальні джерела. Вирішення такої задачі передбачає широку функціональність та повну інтеграцію з іншими продуктами [3]. Аналіз останніх досліджень [4, 5, 6] показав, що велика увага сьогодні приділяється оптимізації параметрів системи при використанні сучасних технологій для підвищення якості роботи та захисту ТКМ та їх структури у такій інформаційній системі.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є підвищення якості функціонування ТКМ шляхом розв'язання комплексу науково-технічної проблеми, яка пов'язана із розробкою методики, методів та алгоритмів застосування інформаційних технологій у процесі функціонування таких мереж. Дослідження присвячене аналізу функціонування сучасних ТКМ на основі інформаційних інтелектуальних технологій, підвищенню якості функціонування таких систем зв'язку та передачі потоків інформації, що на сьогодні є досить актуальною та перспективною науковою задачею.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для використання інформаційних технологій в підвищенні якості роботи та безпеки ТКМ архітектура їх серверного комплексу повинна максимально відповідати її концепції, яка орієнтована на повний сервіс телекомунікаційної інфраструктури і буде дозволяти досить швидко та гнучко адаптувати їх апаратну платформу із врахуванням мережних поточних потреб та ефективніше використовувати всі доступні інформаційні та технічні ресурси. Ресурсна модель такої платформи інформаційної системи базується на сучасних інформаційних інфраструктурних технологіях та включає три основні принципи: розділення ресурсних груп за їх функціональною ознакою; фізична консолідація у рамках функціональних однорідних груп; логічна консолідація із метою більш ефективного використання їх ресурсів. Побудова архітектури програмно-апаратного комплексу має за складові: серверне устаткування; віртуальну інфраструктуру побудови; мережу зберігання даних, що включає зовнішні дискові масиви, комутатори, інформаційні бібліотеки; устаткування та пристрої фізичної інфраструктури.

Сучасні телекомунікаційні системи та мережі, які знаходяться у експлуатації, в основному побудовані на основі ліній для передачі інформаційних даних. Така структура ліній забезпечує мінімальний

обсяг інформації, що передається. Система ж контролю якості роботи та захищеності вузлів ТКМ, у якій, за рахунок використання контролю показників вузлів, вже відбувається його адаптація до умов функціонування такої ТКМ, що дає можливість зменшити час контролю без порушення роботи мережі. Для оцінки якості роботи мережі запропонована система прогнозування для параметрів якості функціонування ТКМ на основі вже відомих аналогових моделей ШНМ на основі обробки статистичних даних та аналізу показників їх датчиків [4]. Така інформаційна система дозволить у режимі он-лайн забезпечити прогнозування контролю стану ТКМ на досить високому технічному рівні.

Розгортання різних сучасних комунікаційних засобів та оптимізація роботи їх комунікаційних платформ значно підвищують якість їх роботи за рахунок більш ефективного управління та функціонування сервісних систем. Особливо це актуально для випадку оброблення потоків для забезпечення безпеки завадостійкими системами передачі інформації у реальному часі. Це дозволяє суб'єктам комунікацій розв'язувати всі поставлені перед ними завдання на якісно новому рівні та впроваджуючи масштабовані розподілені системи для надання послуг та сервісів. Розвиток сучасних інформаційних ІР-технологій призводить до досить значного підвищення ефективності діяльності користувачів ТКМ, проте ця взаємодія проходить через комунікаційні системи між сегментами мережі для груп користувачів, де також стикається з певними технічними обмеженнями. Позитивні тенденції є у розв'язанні таких питань якості їх роботи, що виникають при впровадженні технологій для повсюдного інформаційного доступу, а також наскрізного проникнення до систем ІР-комунікацій через усі рівні сервісних систем. Для досягнення максимальної якості роботи системи доступу кінцеві користувачі ТКМ повинні чітко координуватися у рамках їх мережної сервісної інфраструктури у реальному часі роботи.

Проблема підвищення якості роботи та доступності і забезпечення безпеки комунікаційних послуг досягається завадостійкими системами передачі інформації та їх ефективним управлінням. Такі розподілені сервісні платформи визначають основні вимоги до їх інформаційних управляючих систем. Сучасні ТКМ системи, як правило, складаються із мережного обладнання різного виду (комутатори, маршрутизатори, шлюзи тощо), яке взаємодіє з зовнішнім та внутрішнім середовищем систем для надання інформаційних послуг. У такому середовищі все мережеве обладнання для сервісних платформ взаємопов'язане через різні сегменти та топологічні конфігурації ТКМ. Всі структурні та архітектурні топологічні зміни повинні фіксуватися відповідними системами через мережевий моніторинг. Ще одним питанням для впровадження системи підвищення якості роботи та захисту мережі є масштабне впровадження нових комунікаційних послуг, де використовуються завадостійкі системи для передачі інформації та розподілених електронних інформаційних сервісів, які призводять до виникнення деякого протиріччя щодо впровадження інформаційного доступу при скороченні ресурсів у їх хмарних сервісних системах. Сучасні інформаційні ТКМ виявляються досить складними, зокрема у питанні управління ними. Новітні методологічні та технічні засоби вже не можуть забезпечити достатній рівень для їх функціональної завадостійкості та якості роботи системи управління з метою оптимізації її продуктивності [7].

Досліджувана інформаційна система для передачі інформації використовує спеціалізоване програмне забезпечення, що перетворює інформаційні потоки даних кілька разів. В результаті утворюється потік інформаційних запитів, які проходять через деякі фільтри, що змінюють потоки даних цих запитів у необхідному правильному порядку для системи доступу, де всі компоненти узгоджують свою необхідну взаємодію завдяки оголошенню подій. Самі ж мережеві компоненти можуть дати запит на різну сукупність таких подій. Для вирішення питання щодо підвищення якості роботи та доступності комунікаційних послуг систем передачі інформації використовуємо формулу розрахунку оцінювання ризику якості роботи та завантаження мережі, яка базується на конкретних технологіях множинного доступу та схеми балансування навантаження у ТКМ. Різні схеми балансування навантаження можуть мати різні методи та значення порогу для визначення рівня завантаження ТКМ. Балансування навантаження у ТКМ може бути запущене, коли навантаження там не менше за поріг надмірного завантаження. Існуючі схеми балансування навантаження у ТКМ ділять на схеми перерозподілу каналів передачі та схеми переміщення їх навантаження. Сама ідея схеми перерозподілу каналів передачі полягає у тому, що сам канал запозичує частину вільного спектру від сусідніх каналів. Схеми перерозподілу для каналів передачі підходять для ТКМ з коефіцієнтом повторного використання частоти більше 1, де всі сусідні канали використовують різний спектр частот передачі [8]. Для оцінювання безпеки мережі та ризику в задачах підвищення якості роботи і доступності телекомунікаційних послуг систем передачі інформації та якості їх функціонування для ТКМ використовують величину середньозваженого модуля відхилення ризику доступності мережі ΔZ (тут $n=8$):

$$\Delta Z = \sum_{i=1}^n p_i \cdot k \cdot R(Z_i - Z'), \quad (1)$$

$$Z' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (2)$$

де R – величина ризику доступності мережі; P_i – ймовірності небажаних впливів для каналу передачі інформації; k – коефіцієнт доступності мережі; Z_i – величини втрат для каналу передачі.

Далі визначаємо середньоквадратичне відхилення ризику доступу до мережі [9]:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (3)$$

Якщо взяти до уваги коефіцієнт доступності мережі та негативні відхилення від запланованих параметрів від параметру Z' , то ступінь якості та доступності мережі і функціонування захисту інформації ТКМ каналами оцінюється показником варіації S_Z :

$$S_Z = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z})^2 \cdot I_{vi} / \sum_{i=1}^n p_i \cdot I_{vi}}, \quad (4)$$

де $I_i = \{ I_{vi} \}$ – індикатор несприятливих відхилень якості та доступності ТКМ, якому відповідають (для сприятливого відхилення $I_{vi}=0$, для несприятливого – $I_{vi}=1$).

Показником оцінювання підвищення якості роботи та доступності телекомунікаційних послуг в ТКМ може бути коефіцієнт підвищення якості і доступності та можливих втрат у каналах передачі, що враховує втрати якості і доступності відносно суми абсолютних значень ймовірних втрат у цих системах [10]:

$$K_{DZ} = M_{ZV} / (M_{ZV} + M_{ZP}) \quad (5)$$

де M_{ZV}, M_{ZP} – ймовірні величини сприятливих та несприятливих відхилень якості і доступності телекомунікаційних послуг відносно значень показників θ_V, θ_P при розгляді запланованих рівнів для доступу при передачі потоків інформації Z та вже отриманих позитивних результатів.

Для підвищення якості роботи та доступності телекомунікаційних послуг систем передачі інформації необхідно розглядати систему захисту та завадостійкість ТКМ як здатність протидіяти різним завадам, а тут треба знати, чим протидіяти їм та як протидіяти. Для боротьби з такими завадами для підвищення якості роботи та доступності телекомунікаційних послуг потрібні всі відомості про властивості носія їх інформації і також про самі типи завад які можуть впливати на такий канал передачі. До основних властивостей можливо віднести: величини струму та напруги вхідних сигналів і завад у каналі передачі; середні рівні потужності сигналів та завад у такій ТКМ; види та структура систем передачі інформації у ТКМ; закон розподілу сигналів передачі інформації тощо.

Дослідження показують, що при розгляді використання інформаційних технологій для підвищення якості роботи та доступності телекомунікаційних послуг системами передачі та захисту потоків інформації в ТКМ необхідно розглянути, що являє собою сама передача різного типу та роду повідомлень між пунктами передачі. В технологіях та засобах доступності телекомунікаційних послуг системами передачі та захисту інформації семантична особливість самих повідомлень не враховується, тому задачею для системи передачі потоків інформації в ТКМ є транспортування потоку даних по захищеним каналам у необхідне місце, так як оцінка змісту повідомлень є справою самого одержувача інформації. В процесі функціонування на ТКМ впливають дуже багато різних факторів, що порушують нормальну роботу таких каналів передачі інформації. Усі ці фактори можуть призводити до порушення доступу до телекомунікаційних послуг та роботи каналів передачі, можливого фізичного виходу із ладу різних елементів і компонентів ТКМ та інших негативних наслідків у роботі.

Ще одним із методів інформаційних технологій для підвищення якості роботи та доступності телекомунікаційних послуг системами передачі потоків інформації є шлях використання неперервних сигналів і раціональний, оптимальний вибір виду модуляції для таких сигналів. Всі види модуляції мають різну та неоднакову захищеність та стійкість до передачі. Тому застосовуючи різні види та типи модуляції, що забезпечують значне розширення смуги частот сигналів, тут можливо досягти значного підвищення якості роботи та доступності телекомунікаційних послуг каналами передачі інформації у ТКМ. Також ще одним способом підвищення якості роботи та доступності телекомунікаційних послуг каналами передачі інформації для дискретних систем є також використання спеціального виду кодування таких потоків інформації, а це є використання завадостійких кодів та захищених каналів передачі. Підвищення якості роботи та доступності телекомунікаційних послуг може бути досягнуто також шляхом багаторазового повторення передачі потоків такої інформації. Достовірне та якісне приймання потоків інформації по захищених каналах передачі полягає у використанні значної надмірності для отриманої інформації, використання апріорних відомостей про ці сигнали та мінімум завад у каналах [10].

Дослідження та аналіз використання інформаційних технологій для підвищення якості роботи та безпеки ТКМ показав, що завдання для оптимального прийому інформаційних потоків полягає у використанні властивостей їх корисного сигналу, типів та видів завад і вибору каналів передачі для цих інформаційних сигналів для збільшення ймовірності правильного їх прийому. Також для збільшення ймовірності правильного прийому телекомунікаційних послуг системи передачі інформації має бути проведено попереднє оброблення всіх прийнятих сигналів, що забезпечує відносне збільшення відношення інформаційних сигналів та завад. Це досягається багаторазовим повторенням сигналу та у накопиченням окремих його реалізацій в приймальному пристрої системи.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Сучасні канали передачі інформації застосовують різні види нових технологій, які дозволяють у режимі роботи у реальному часі гарантувати значне підвищення якості роботи та доступності телекомунікаційних послуг для якісної та вірогідної передачі потоків інформаційних даних в умовах впливу різнотипних завад. Це забезпечує необхідні значення показників вірогідної передачі потоків інформації, що здійснюється за рахунок використання необхідного виду та типу кодування сигналів. Знаючи усі властивості сигналів і завад, види та типи телекомунікаційних послуг можна встановити певні відмінності між ними та використати їх для розроблення способів та методів забезпечення надійної передачі для доступності таких інформаційних послуг. Тому в дослідженні можна зробити висновок про те, що знання методів, способів та засобів побудови сучасних інформаційних каналів передачі телекомунікаційних мереж в умовах дії різних завад та перешкод, дозволить будувати надійні якісні канали передачі інформації та підвищити доступність таких послуг.

ЛІТЕРАТУРА

1. Казимир В. В. Інформаційні основи побудови телекомунікаційних мереж / В. В. Казимир, В. В. Литвинов, С. М. Шкарлет, С. В. Зайцев // Вісник Чернігівського державного техн. університету. - Чернігів : ЧДТУ, 2013. - 340с.
2. Kuvshynov O., Shyshatskyi A., Zhuk O., Bieliakov R., Prokopenko Y., Leontiev O., Zhyvotovskiy R., Drobakha H., Romanenko I., Petruk S. Development of a method of increasing the interference immunity of frequency-hopping spread spectrum radio communication devices. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(98), P. 74–84.
3. Richard T. Wong. Telecommunications network design: Technology impacts and future directions. Networks 77(2), 2021, P. 205-224.
4. Селюченко М.О. Динамічне управління якістю послуг на основі ОССА в конвергентних телекомунікаційних мережах / М.О.Селюченко, М.М.Климаш, М.І.Бешлей // Проблеми телекомунікацій: Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції (м. Київ, 22-25 квітня 2014 р.). - К.: НТУУ "КПІ", 2014. - С.50-52
5. Хмельницький Ю.В. Забезпечення достовірності передачі інформації та сервісних послуг для високошвидкісних мереж при завадах / Ю.В. Хмельницький, Д.П. Яковлев // Збірник наукових праць Військового інституту КНУ ім.Тараса Шевченка. - К.: ВІКНУ, 2017. - Вип. № 57. - С. 111-119
6. Gokhan Kalem, Ozalp Vayvay, Bahar Sennaroglu, Hakan Tozan. Technology Forecasting in the Mobile Telecommunication Industry: A Case Study Towards the 5G Era. Engineering Management Journal, Volume 33, Issue 1, 2021. - P. 15-29. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1764833>.
7. Хмельницький Ю.В. Аналіз моделей та прогнозування ризиків функціонування системи управління SDN архітектури / Ю.В. Хмельницький, О.В. Селюков, Д.М. Ковпа, О.С. Лісовецький // Збірник наукових праць Військового інституту КНУ ім.Тараса Шевченка. - К.: ВІКНУ, 2019. - № 64. - С.113-134
8. Застосування інтелектуальних технологій для підвищення якості роботи телекомунікаційних мереж при невизначеності / О. В. Селюков, Ю. В. Хмельницький, І. В. Обертюк, Л. В. Солодєєва // Збірник наукових праць Військового інституту КНУ ім.Тараса Шевченка. - К.: 2017. - Вип. 56. - С. 146-153
9. Кривуца В.Г. Управління телекомунікаціями із застосуванням новітніх технологій / В.Г. Кривуца, В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Б.Я.Костік, В.Ф.Олійник, С.М.Скляренко // Підручник для ВНЗ. - К.: Техніка, 2007. - 384 с.
10. Хмельницький Ю.В. Прогнозування ризиків завадостійкої передачі та захист інформації в телекомунікаційних системах / Ю.В.Хмельницький, О.В. Огневий // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2020. - № 1(281). - С. 264-269

REFERENCES

1. Kazymyr V. V. Informatsiini osnovy pobudovy telekomunikatsiynykh merezh / V. V. Kazymyr, V.V. Lytvynov, S.M. Shkarlet, S.V. Zaitsev // Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhn. universytetu. - Chernihiv : ChD TU, 2013. - 340 s.
2. Kuvshynov O., Shyshatskyi A., Zhuk O., Bieliakov R., Prokopenko Y., Leontiev O., Zhyvotovskiy R., Drobakha H., Romanenko I., Petruk S. Development of a method of increasing the interference immunity of frequency-hopping spread spectrum radio communication devices. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(98), P. 74–84.
3. Richard T. Wong. Telecommunications network design: Technology impacts and future directions. Networks 77(2), 2021, P. 205-224.
4. Seliuchenko M.O. Dynamichne upravlinnia yakosti posluh na osnovi OSSA v konverhentnykh telekomunikatsiynykh me-rezhakh / M.O.Seliuchenko, M.M.Klymash, M.I.Beshlei // Problemy telekomunikatsii: Materialy VIII Mizhnarodnoi na-ukovo-tekhnichnoi konferentsii (m. Kyiv, 22-25 kvitnia 2014 r.). - K.: NTUU "KPI", 2014. - S.50-52
5. Khmelnytskyi Yu.V. Zabezpechennia dostovimosti peredachi informatsii ta servisnykh posluh dla vysokoshvydkisnykh merezh pry zavadaakh / Yu.V. Khmelnytskyi, D.P. Yakovlev // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu KNU im. Tarasa Shevchenka. - K.: VIKNU, 2017. - Vyp. № 57. - S. 111-119
6. Gokhan Kalem, Ozalp Vayvay, Bahar Sennaroglu, Hakan Tozan. Technology Forecasting in the Mobile Telecommunication Industry: A Case Study Towards the 5G Era. Engineering Management Journal, Volume 33, Issue 1, 2021. - P. 15-29. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1764833>.

-
7. Khmelnytskyi Yu.V. Analiz modelei ta prohnozuvannia ryzykiv funktsionuvannia systemy upravlenня SDN arkhi-tektury / Yu.V. Khmelnytskyi, O. V. Seliukov, D.M. Kovpa, O.S. Lisovetskii // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu KNU im. Tarasa Shevchenka. - K.: VIKNU, 2019. - № 64. - 113-134 s.
8. Zastosuvannia informatsiinykh tekhnolohii dlia pidvyshchennia yakosti roboty telekomunikatsiinykh merezh pry nevyznachenosti / O. V. Seliukov, Yu. V. Khmelnytskyi, I. V. Obertiuk, L. V. Solodieieva // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu KNU im. Tarasa Shevchenka. - K.: 2017. - Vyp. 56. - S. 146-153.
9. Kryvutsa V.H. Upravlinnia telekomunikatsiiamy iz zastosuvanniam novitnikh tekhnolohii / V.H. Kryvutsa, V.K. Steklov, L.N. Berkman, B.Ia.Kostik, B.F.Oliinyk, S.M.Skliarenko // Pidruchnyk dlia VNZ. - K.: Tekhnika, 2007. - 384 s.
10. Khmelnytskyi Yu.V. Prohnozuvannia ryzykiv zavadostiikoi peredachi ta zakhyst informatsii v telekomunikatsiinykh systemakh / Yu.V.Khmelnytskyi, O.V. Ohnievyi // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. - 2020. - № 1(281). - S. 264-269

Єлизавета ГНАТЧУК

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2989-3183>

e-mail: liza_veta@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ УКЛАДАННЯ ДОГОВОРУ ПРО НАДАННЯ ТЕРАПЕВТИЧНИХ ПОСЛУГ

Наразі в Україні існує потреба в проектуванні та розробленні системи підтримки прийняття рішень (СППР) щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг (з врахуванням коректності або некоректності договору з юридичної точки зору), яка може значно підвищити ефективність роботи терапевта та страхової медицини, а також захистити як пацієнтів, так і лікарів. Для проектування такої СППР спочатку слід розробити теоретичне підґрунтя, а саме провести моделювання процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг. У статті розроблено теоретико-множинну модель договору про надання терапевтичних послуг, яка ґрунтується на істинних умовах договору, що є обов'язковими з точки зору цивільно-правових підстав. Крім цього, проведено моделювання процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг. Розроблена модель процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг є теоретичним підґрунтям для розроблення методів та проектування СППР щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг.

Ключові слова: підтримка прийняття рішень, цивільно-правовий договір про надання терапевтичних послуг, теоретико-множинна модель договору про надання терапевтичних послуг, модель процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг.

Yelyzaveta HNATCHUK

Khmelnytskyi National University

MODELING OF THE DECISION-SUPPORTING PROCESS ON THE POSSIBILITY OF CONCLUDING THE CONTRACT ON THE THERAPEUTIC SERVICES PROVISION

Currently in Ukraine there is a need to design and develop a decision support system (DSS) on the possibility of concluding the contract on the therapeutic services provision (taking into account the correctness or incorrectness of the contract from a legal point of view), which can significantly increase the efficiency of the therapist and insurance medicine, and protect both patients and physicians.

For design such a DSS, we must first develop a theoretical basis, namely to model of the decision-supporting process on the possibility of concluding the contract on the therapeutic services provision. The paper develops a set-theoretical model of the contract on the therapeutic services provision, which is based on the essential terms of the contract, which are mandatory in terms of civil law.

In addition, modeling of the decision-supporting process on the possibility of concluding the contract on the therapeutic services provision is conducted. The developed model of the decision-supporting process on the possibility of concluding the contract on the therapeutic services provision is the theoretical basis for the development of methods and design and realization of DSS on the possibility of concluding the contract on the therapeutic services provision.

Promising future directions of the author's work are the development of rules and methods of decision support on the possibility of concluding the contract on the therapeutic services provision, as well as the design and development of decision support system for the possibility of concluding the contract on the therapeutic services provision (taking into account the correctness or incorrectness of the contract) on the basis of the proposed model of the decision-supporting process on the possibility of concluding the contract on the therapeutic services provision.

Keywords: decision support, civil law contract on the therapeutic services provision, set-theoretical model of the contract on the therapeutic services provision, model of the decision-supporting process on the possibility of concluding the contract on the therapeutic services provision.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Сьогодні медичні технології повинні відповідати 4 вимогам: ефективність, безпека, новизна та економічна вигода [1]. Сучасний терапевт приймає рішення, інтегруючи кілька медичних спеціальностей. Таке рішення представляє проблему, що постає перед терапевтами щодня і неодноразово, особливо при використанні інноваційних медичних технологій [2]. З введенням в Україні страхової медицини кожен лікар загальної практики та лікар-терапевт повинен знати стандарти діагностики та особливі стандарти лікування терапевтичних захворювань, оскільки невиконання стандартів лікування може призводити до скарг хворих, юридичних конфліктів і відшкодувань значних матеріальних коштів за рахунок лікаря.

Враховуючи вищевикладене, все більшої уваги на сьогодні потребує питання укладання договору про надання терапевтичних послуг. Договір про надання терапевтичних послуг можна визначити як

домовленість, за якою одна сторона (виконавець) зобов'язується за завданням другої сторони (замовника) із дотриманням законодавства про охорону здоров'я надати послугу терапевтичного характеру, що полягає у встановленні та лікуванні етіології, патогенезу та клінічних проявів захворювань внутрішніх органів, їхньої діагностики, профілактики та реабілітації, а замовник зобов'язується оплатити виконавцеві зазначену послугу, якщо інше не встановлено договором або законом. Сторонами договору про надання терапевтичних послуг можуть бути заклади охорони здоров'я (суб'єкти господарювання на підставі ліцензії за умови виконання кваліфікаційних, організаційних, інших спеціальних вимог); фізичні особи, які здійснюють приватну медичну практику; пацієнти – фізичні особи. В залежності від предмету наразі пропонуються наступні види договорів про надання терапевтичних послуг: договір про надання базових терапевтичних послуг, які дозволятимуть перервати перебіг захворювання і сприяти виліковуванню; договір про надання спеціальних терапевтичних послуг, які дозволятимуть попередити та усунути можливе загострення основного захворювання чи появу рецидивів супутніх патологічних процесів, прояви можливої побічної дії лікарських засобів за спеціальними показаннями; договір про надання додаткових терапевтичних послуг після виписки пацієнта зі стаціонару.

Значно збільшити продуктивність праці терапевтів може успішно впроваджене медичне програмне забезпечення та системи підтримки прийняття рішень (СППР) [3-5]. Ще більш значущою та важливою для підтримки роботи терапевтів наразі є мультидисциплінарна медична СППР, яка розробляється на стику медичної та інших предметних галузей – наприклад, СППР, яка б забезпечувала підтримку прийняття рішень щодо укладання договорів про надання терапевтичних послуг з врахуванням законодавчих цивільно-правових підстав.

У [6] проведено огляд та аналіз відомих систем підтримки прийняття рішень для галузі медичного права, який довів, що жодна з відомих СППР не призначена для підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договорів про надання терапевтичних послуг з врахуванням цивільно-правових підстав.

Отже, на сьогодні актуальною задачею є розроблення системи підтримки прийняття рішень (СППР) щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг (з врахуванням коректності або некоректності договору з юридичної точки зору), для чого спочатку слід розробити теоретичне підґрунтя, а саме провести моделювання процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг.

Цивільно-правові підстави укладання договорів про надання терапевтичних послуг

Для розроблення системи підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг слід спочатку з'ясувати, які ж задачі вона повинна вирішувати і які властивості мати. Для виявлення цих потреб слід провести аналіз предметної галузі. Під час аналізу предметної галузі розроблюваної СППР слід дослідити правові аспекти та цивільно-правові підстави укладання договорів про надання терапевтичних послуг.

Істотною умовою договору про надання терапевтичних послуг є предмет – медична послуга в терапії. Предметом договору про надання терапевтичних послуг є надання терапевтичних послуг, які споживаються в процесі вчинення дій або провадження терапевтичної діяльності.

Специфіка предмета договору знайшла відображення в тому, що цей правочин має гарантувати безпеку послуги в терапії для пацієнта. Нерідко дані послуги пов'язані з можливістю заподіяння шкоди здоров'ю пацієнта, їх надання допускає вірогідність проявів супутніх, побічних шкідливих властивостей впливу послуги в терапії на організм людини. Усунути вірогідність проявів шкідливих властивостей деяких послуг в терапії лікар (медична установа) об'єктивно не в змозі, про що пацієнт обов'язково повинен бути поінформований. Договір про надання терапевтичних послуг належить до групи так званих алеаторних (ризикових) правочинів [7].

Пацієнт, як правило, може обрати послугу з тих, які надає лікар (медична установа), і вказати на необхідний результат без визначення порядку надання самої послуги. Виконавець терапевтичних послуг пов'язаний ініціативними вказівками замовника, однак, якщо такі вказівки є об'єктивно нікчемними (суперечать загальноприйнятим у медицині правилам, загрожують негативними наслідками або ускладнюють надання терапевтичної послуги тощо), вони у договір не включаються.

Відповідно до ч. 3 ст. 626 Цивільного кодексу України [8], договір про надання терапевтичних послуг є двостороннім, оскільки правами та обов'язками наділені обидві сторони договору. Характерним є те, що при наданні певних терапевтичних послуг, лікар (медична установа) має право вимагати від пацієнта дотримання обов'язку сприяти виконавцеві у наданні послуги, дотримуватися правил, які захистять замовника від можливих негативних наслідків для здоров'я після надання терапевтичних послуг. Виходячи із суб'єктного складу договору про надання терапевтичних послуг, ці договори відповідно до ч.1 ст. 633 Цивільного кодексу України [8] є публічними.

Зміст та структура договору можуть змінюватися у кожному конкретному випадку відповідно до внутрішніх захворювань клієнта, очікувань та вимог до процесу терапевтичних послуг. Після укладення договору він повинен бути скріплений підписами та печаткою медичного закладу. В тексті необхідно

зазначити, що договір складається в двох примірниках (один – для медичної установи, інший – для пацієнта). Пацієнт, в свою чергу, повинен забрати другий екземпляр, оскільки це є підтвердженням прав пацієнта на виконання послуги [7].

Ці договори є оплатними, якщо інше не встановлено ними, законом або не впливає із суті договорів. Важливою умовою договорів про надання терапевтичних послуг є ціна за послуги та порядок проведення розрахунків. Отже, в договорі повинен бути зазначений порядок розрахунків. Якщо не зазначено, що може бути збільшена ціна, то після надання послуг медичний працівник не може підвищити плату за послугу, яка була визначена. В договорі сторони можуть передбачити додаткову плату за підвищений рівень комфорту під час перебування в стаціонарному медичному закладі. Якщо було дотримано всіх умов договору, пацієнт зобов'язаний сплатити суму за надані послуги в повному обсязі. Після оплати наданих медичних послуг важливо отримати розрахунковий документ – чек або квитанцію до прибуткового касового чеку – без цього неможливо довести, що сума була сплачена згідно з умовами договору про надання терапевтичних послуг. Питання плати за договором сторони вирішують відповідно до ст. 632, 903-904 Цивільного кодексу України [8].

Щодо терміну, то дані договори можуть укладатися на термін, який, як правило, об'єктивно залежить від можливостей конкретного виду терапевтичної послуги, а також від бажаного результату, який необхідно досягти. Умова щодо терміну в договорах про надання терапевтичних послуг найчастіше вирішується шляхом зазначення кількості процедур, сеансів тощо з визначенням інтервалів між ними. Досить часто дотримання термінів між проведенням процедур є запорукою досягнення їх загальної мети, а тому умову щодо терміну в договорах про надання терапевтичних послуг можна оцінювати як істотну, що впливає із суті зобов'язання [7].

Відповідно до ч.2 ст. 901 Цивільного кодексу України [8], до договорів про надання терапевтичних послуг застосовуються положення Глави 63 Цивільного кодексу України «Послуги. Загальні положення про послуги», якщо це не суперечить суті цих зобов'язань, та глави 53 Цивільного кодексу України з врахуванням особливостей даних договорів [7].

У тексті договору про надання терапевтичних послуг потрібно передбачити розділ «Загальні положення» та «Основна частина» [7]. Розділ «Загальні положення» складається з наступних пунктів: предмет договору; теоретичні засади роботи; практичний інструментарій; межі компетентності практикуючого лікаря; обов'язки, права та відповідальність лікаря (медичної установи); обов'язки, права та відповідальність клієнта; оплата послуг та процедура оплати; терміни та графік надання послуг; можливі прояви супутніх та випадкових несприятливих наслідків впливу терапевтичних послуг; інші умови.

Розділ «Основна частина» договору про надання терапевтичних послуг мо-же включати наступні підрозділи:

Розділ «Основна частина» договору про надання терапевтичних послуг мо-же включати наступні підрозділи:

Розділ I «Діагностичний пошук» складається з наступних пунктів: скарги пацієнта, виявлення окремих ознак (симптомів) захворювання на основі скарг, анамнез захворювання, історія життя пацієнта, дані об'єктивного обстеження, загальноклінічні та лабораторно-інструментальні методидослідження. Основною умовою цього етапу є дотримання систематичності і повноти обстеження пацієнта. Недостатньо зазначити, що до пацієнта будуть застосовані діагностичні методи обстеження. Необхідно звернути увагу на критерії, яким повинні відповідати, власне, дані методи:

- 1) безпечність методу, тобто він повинен бути безпечнішим за наслідки хвороби;
- 2) об'єктивність методу – метод повинен передбачати мінімальну об'єктивність в оцінці проведеного обстеження, що робить його доступним для перевірки отриманих результатів іншими лікарями (медичними установами);
- 3) достовірність діагностичного обстеження.

Розділ II «Постановка діагнозу». Діагноз – це дослівно «розпізнання», короткий висновок про суть хвороби та стан хворого, сформульований в термінах сучасної медичної науки. При встановленні діагнозу в клініці розрізняють попередній (синдромний) діагноз, після першого обстеження; клінічний діагноз, після додаткового обстеження і спостереження хворого; остаточний, кінцевий, заключний діагноз.

Для ефективного лікування потрібна правильна діагностика, заснована на систематичному огляді пацієнта, аналізі анамнезу, скарг та об'єктивних ознак захворювання (виявлених при фізичному дослідженні, а також за допомогою рутинних лабораторно-інструментальних методів). Виявлені ознаки (симптоми) захворювання терапевт повинен об'єднати в синдроми (сукупність симптомів, що мають спільний патогенез), на основі яких зробити заключний висновок про можливе захворювання. У випадку неможливості зробити однозначний висновок про захворювання, повинна бути проведена диференційна діагностика декількох схожих захворювань з додатковими лабораторними та інструментальними дослідженнями. В деяких складних для діагностики клінічних випадків призначається пробне лікування, яке дозволяє поставити так званий «diagnosis ex juvantibus» (діагноз, заснований на оцінці результатів проведеного лікування). Тому спочатку встановлюється синдромний діагноз, а завершальним етапом цього

процесу є формулювання клінічного діагнозу, який повинен включати наступні компоненти:

- 1) назва хвороби;
- 2) стадія патологічного процесу;
- 3) клінічна форма і прояви хвороби;
- 4) функціональний стан окремих органів і систем;
- 5) діагноз ускладнень;
- 6) діагноз супутніх захворювань.

Розділ III “Призначення лікування”. На даному етапі здійснюється перевірка достовірності діагностичного пошуку шляхом призначення адекватного лікування, яке повинне передбачати: оптимальні фізичні, дієтичні та гігієнічні режими; медикаментозні, фізіотерапевтичні засоби та/або хірургічні методи; санаторно-курортні пропозиції.

Найкращі результати лікування досягаються, якщо вдається усунути причину захворювання. Таке лікування називається причинним. В терапії не завжди вдається усунути причину захворювання, бо не завжди вона відома. У таких випадках лікування націлене на механізм розвитку захворювання, його метою є покращення умов для боротьби організму з шкідливими факторами, покращення функцій ушкоджених органів.

Моделювання процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг

Нехай $AECT$ – множина відсутніх істотних умов у договорі про надання терапевтичних послуг.

Враховуючи обов’язковість гарантування таким договором безпеки послуги в терапії для пацієнта, для укладання договору про надання терапевтичних послуг обов’язковим є наявність у договорі всіх вищезазначених істотних умов, тому *критерій коректності структури договору про надання терапевтичних послуг* матиме вигляд:

- якщо $AECT = \emptyset$, то структура договору про надання терапевтичних послуг коректна;
- якщо $AECT \neq \emptyset$, то структура договору про надання терапевтичних послуг некоректна.

Враховуючи представлений критерій коректності структури договору про надання терапевтичних послуг, розробимо теоретико-множинну модель договору про надання терапевтичних послуг, яка ґрунтується на істотних умовах договору, що є обов’язковими з точки зору цивільно-правових підстав, а також виконаємо моделювання процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг.

Враховуючи вищезазначені вимоги до структури договору про надання терапевтичних послуг, представимо договір про надання терапевтичних послуг у наступному формалізованому вигляді:

$$CTSP = \langle GT, MP \rangle, \quad (1)$$

де GT – множина загальних положень договору, MP – множина, що містить істотні умови основної частини договору.

Розділ «Загальні Положення» складається з ряду пунктів і може бути представлений в наступному теоретико-множинному вигляді:

$$GT = \{cs, ta, pt, ldc, dd, rd, rbd, dc, rc, rbc, ps, pp, tm, ss, mce, mie, oc\}, \quad (2)$$

де cs – предмет договору; ta – теоретичні засади роботи; pt – практичний інструментарій; ldc – межі компетентності практикуючого лікаря; dd – обов’язки лікаря (медичної установи); rd – права лікаря (медичної установи); rbd – відповідальність лікаря (медичної установи); dc – обов’язки клієнта; rc – права клієнта; rbc – відповідальність клієнта; ps – оплата послуг; pp – процедура оплати; tm – терміни надання послуг; ss – графік надання послуг; mce – можливі прояви супутніх несприятливих наслідків впливу терапевтичних послуг; mie – можливі прояви випадкових несприятливих наслідків впливу терапевтичних послуг; oc – інші умови.

Розділ «Основна частина» договору складається з 3-х підрозділів і може бути представлений у вигляді трійки:

$$MP = \langle DS, DM, TP \rangle, \quad (3)$$

де DS – множина істотних умов розділу I “Діагностичний пошук”; DM – множина істотних умов розділу II “Постановка діагнозу”; TP – множина істотних умов розділу III “Призначення лікування”.

Розділ I “Діагностичний пошук” повинен містити ряд істотних умов, які можуть бути представлені в наступному теоретико-множинному вигляді:

$$DS = \{pc, ids, mh, lh, sd, gm, lm\}, \quad (4)$$

де pc – скарги пацієнта, ids – виявлення окремих ознак (симптомів) захворювання на основі скарг, mh – анамнез захворювання, lh – історія життя пацієнта, sd – дані об'єктивного обстеження, gm – загальноклінічні методи дослідження, lm – лабораторно-інструментальні методи дослідження.

Розділ II “Постановка діагнозу” повинен містити ряд пунктів, які можуть бути представлені в наступному теоретико-множинному вигляді:

$$DM = \{pd, bd, fd\} = \{pd, \{dn, pps, dcf, fs, dcm, dcb\}, fd\}, \quad (5)$$

де pd – попередній (синдромний) діагноз, bd – базовий (клінічний) діагноз, fd – остаточний, кінцевий, заключний діагноз; в той же час базовий (клінічний) діагноз складається з множини компонентів: dn – назва хвороби, pps – стадія патологічного процесу, dcf – клінічна форма хвороби, fs – функціональний стан органів і систем, dcm – діагноз ускладнень, dcb – діагноз супутніх захворювань.

Розділ III “Призначення лікування” передбачає формулювання та призначення адекватного лікування, яке складається з наступних пунктів:

$$TP = \{opr, odr, ohr, mt, pht, sm, spa\}, \quad (6)$$

де opr – оптимальний фізичний режим; odr – оптимальний дієтичний режим; ohr – оптимальний гігієнічний режим; mt – медикаментозні засоби; pht – фізіотерапевтичні засоби; sm – хірургічні методи; spa – санаторно-курортні пропозиції.

Тоді *теоретико-множинна модель договору про надання терапевтичних послуг* з коректною структурою з точки зору цивільно-правового регулювання (з усіма істотними умовами, які повинні міститись у договорі про надання терапевтичних послуг з точки зору цивільно-правових підстав) має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} CTSP = & \{cs, ta, pt, ldc, dd, rd, rbd, dc, rc, rbc, ps, pp, tm, ss, mce, mie, oc\}, \\ & \{pc, ids, mh, lh, sd, gm, lm\}, \\ & \{pd, \{dn, pps, dcf, fs, dcm, dcb\}, fd\}, \\ & \{opr, odr, ohr, mt, pht, sm, spa\} > \end{aligned} \quad (7)$$

Враховуючи розроблені критерії коректності структури договору про надання терапевтичних послуг та теоретико-множинну модель договору про надання терапевтичних послуг з коректною структурою з точки зору цивільно-правового регулювання (формула (7)), виконаємо моделювання процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг.

Якщо $AECT$ – множина відсутніх істотних умов у договорі про надання терапевтичних послуг, то:

$$AECT = CTSP \setminus (CTSP \cap RCTSP), \quad (8)$$

де $RCTSP$ – множина істотних умов, які містяться у реальному договорі про надання терапевтичних послуг.

Загальне правило для прийняття рішення щодо коректності структури договору про надання терапевтичних послуг має вигляд:

$$\begin{aligned} & \text{Якщо } AECT = \emptyset \\ & \text{то "структура коректна",} \\ & \text{інакше "структура некоректна"} \end{aligned} \quad (9)$$

Аналіз договору про надання терапевтичних послуг, готового до підписання сторонами, за допомогою розробленої моделі процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг показав, що множина $AECT = \{pt, ids, pd, opr\}$. Отже, в підготовленому договорі відсутні пункти “практичний інструментарій”, “виявлення окремих ознак (симптомів) захворювання на основі скарг”, “попередній (синдромний) діагноз”, “оптимальний фізичний режим”. Підписантам було надано висновок, що структура договору про надання терапевтичних послуг некоректна, і було запропоновано доопрацювати договір. Крім цього, було надано підказку, яких саме істотних умов недостатньо в договорі для того, щоб його структура була коректною. Договір було доопрацьовано,

проведено повторний аналіз договору за допомогою розробленої моделі, в результаті якого було отримано множину $AECT = \emptyset$, відтак було надано висновок, що структура договору про надання терапевтичних послуг коректна, після чого відбулось підписання такого договору.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Наразі в Україні існує потреба в проектуванні та розробленні системи підтримки прийняття рішень (СППР) щодо можливості укладання договору про надання те-рапевтичних послуг (з врахуванням коректності або некоректності договору з юридич-ної точки зору), яка може значно підвищити ефективність роботи терапевта та страхової медицини, а також захистити як пацієнтів, так і лікарів.

Для проектування такої СППР спочатку слід розробити теоретичне підґрунтя, а саме провести моделювання процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг. У статті розроблено теоретико-множинну модель договору про надання терапевтичних послуг, яка ґрунтується на істотних умовах договору, що є обов'язковими з точки зору цивільно-правових підстав.

Крім цього, проведено моделювання процесу підтримки прийняття рішень щодо можли-вості укладання договору про надання терапевтичних послуг. Розроблена модель процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг є теоретичним підґрунтям для розроблення методів та проектування СППР щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг.

Перспективними майбутніми напрямками роботи автора є розроблення правил та методу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг, а також проектування та розроблення системи підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг (з врахуванням коректності або некоректності договору з юридичної точки зору) на основі запропонованої моделі процесу підтримки прийняття рішень щодо можливості укладання договору про надання терапевтичних послуг.

ЛІТЕРАТУРА

1. Денисюк В. І. Доказова внутрішня медицина / В.І.Денисюк, О.В.Денисюк – Вінниця: Інше Видавництво, 2011. – 928 с.
2. Khrustalev Y. Therapy is the Basis for Strengthening the Health of the Nation / Y.Khrustalev // Therapeutic archive. – 2018. – Vol. 8. – Pp. 78-80.
3. Syerov Y. Method of the Data Adequacy Determination of Personal Medical Profiles / Y.Syerov, N.Shakhovska, S.Fedushko // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 902. – Pp 333-343.
4. Melnykova N. Personalized data analysis approach for assessing necessary hospital bed-days built on condition space and hierarchical predictor // N.Melnykova, N.Shakhovska, V.Melnykov, K.Melnykova, K.Lishchuk-Yakymovych // Big Data and Cognitive Computing. – 2021. – Vol. 5. – Issue 3. – Paper 37.
5. Berezsky O. Development of a metric and the methods for quantitative estimation of the segmentation of biomedical images / O.Berezsky, M.Zarichnyi, O.Pitsun // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6 (4). – Pp. 4-11.
6. Hovorushchenko T. Modeling the Decision Making Process on Civil Law Regulation of Contracts for the Provision of Therapeutic Services / T. Hovorushchenko, A. Herts, Ye. Hnatchuk // CEUR-WS. – 2020. – Vol. 2711. – Pp. 333-342.
7. Герц А. А. Договірні зобов'язання у сфері надання медичних послуг / А.А. Герц. – Хмельницький : ФОП Мельник А. А., 2015. – 250 с.
8. Цивільний кодекс України від 16.01.2003 № 435-IV. Відомості Верховної ради України (ВВР). 2003. №№ 40-44.

REFERENCES

1. V. Denysyuk, O. Denysyuk. Evidence-Based Internal Medicine: Textbook. – Vinnytsya: Inshe vydavnytstvo, 2011 – 928 p.
2. Y. Khrustalev. Therapy is the Basis for Strengthening the Health of the Nation // Therapeutic archive. – 2018. – Vol. 8. – Pp. 78-80.
3. Y. Syerov, N. Shakhovska, S. Fedushko. Method of the Data Adequacy Determination of Personal Medical Profiles // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 902. – Pp 333-343.
4. N. Melnykova, N. Shakhovska, V. Melnykov, K. Melnykova, K. Lishchuk-Yakymovych. Personalized data analysis approach for assessing necessary hospital bed-days built on condition space and hierarchical predictor // Big Data and Cognitive Computing. – 2021. – Vol. 5. – Issue 3. – Paper 37.
5. O. Berezsky, M. Zarichnyi, O. Pitsun. Development of a metric and the methods for quantitative estimation of the segmentation of biomedical images. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6 (4). – Pp. 4-11.
6. T. Hovorushchenko, A. Herts, Ye. Hnatchuk. Modeling the Decision Making Process on Civil Law Regulation of Contracts for the Provision of Therapeutic Services // CEUR-WS. – 2020. – Vol. 2711. – Pp. 333-342.
7. A. Herts. Contractual obligations in the field of medical services. – Khmelnytskyi: FOP Melnyk A. A., 2015. – 250 p.
8. Civil Code of Ukraine, Information of the Verkhovna Rada of Ukraine, vol. 40-44, 2003.

Валентин ГАГЕН

Черкаський державний технологічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-8427-3978>

e-mail: valentine.hagen@gmail.com

РОЗРОБКА МЕТОДІВ АНАЛІЗУ СТРУКТУРОВАНИХ МЕДИЧНИХ ЗАПИСІВ ДЛЯ СИСТЕМИ ОБМІНУ МЕДИЧНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ

Наведені причини необхідності створення методів аналізу структурованих медичних записів при розробці системи обміну медичною інформацією між різними медичними інформаційними системами. Запропоновано теоретико-множинну модель аналізу даних FVA. На основі даної моделі побудовано модель інформаційної системи, що використовує структуровані дані. Проведено дослідження медичних систем за впровадження FVA-моделі, на основі чого було запропоновано принцип роботи системи обміну медичною інформацією «Елемент», в якому перевірка медичних записів складається з чотирьох етапів. При обробці медичних записів встановлюються зв'язки між полями F , їх значеннями V , функціями точності A та медичними записами MR . На основі FVA-моделі запропоновано базу даних системи обміну медичною інформацією, побудовано її структуру та представлено її компоненти. Структура бази даних складається з наступних компонентів: медичні інформаційні системи, медичні записи, пацієнти, лікарі, медичні заклади, медичні стандарти, ключові слова, синоніми до ключових слів, помилки в ключових словах та функції точності. Даних компонентів достатньо для представлення системи обміну медичною інформацією на основі FVA-моделі.

Ключові слова: медична інформаційна система, цифрові медичні записи, система обміну медичною інформацією

Valentyn HAHEN

Cherkassy State Technological University

DEVELOPMENT OF METHODS OF ANALYSIS OF STRUCTURED MEDICAL RECORDS FOR THE MEDICAL INFORMATION EXCHANGE SYSTEM

In the past, medical records were often unstructured and difficult to access. This made it difficult to effectively track and manage patient data. However, with the advent of EHR systems, medical records have become more structured and easier to access. This has made it possible to better analyze patient data and improve patient care. The development of EHR systems has made it possible to better analyze patient data and improve patient care. However, there are still some challenges with these systems. One challenge is that EHR systems are often siloed. This means that data from different EHR systems is not always compatible. There are various methods of analysing structured medical records. One common method is to use data mining techniques. This involves using algorithms to extract information from the data. This information can then be used to improve patient care. Structured medical data can be a powerful tool for researchers studying the effectiveness of medical treatments. However, analysing this data can be challenging, as it is often stored in complex databases. In this article, we review some common methods for analysing structured medical data, including regression analysis, machine learning, and natural language processing. We also discuss some of the challenges associated with each of these methods and offer some tips for overcoming these challenges. Structured medical data is data that is organized in a specific way. This type of data can be found in medical records, clinical trials, and other research studies. There are many methods of analysis that can be used to examine this type of data. Some common methods include descriptive statistics, inferential statistics, and machine learning. We have proposed a FVA-model for working with structured medical data, on the basis of which a database model for the Element medical information exchange system has been built.

Keywords: medical information system, EHR, FVA, data exchange

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Структуровані медичні дані – це дані, організовані особливим чином, щоб до них можна було легко отримувати доступ та використовувати. Цей тип даних включає таку інформацію, як демографічні дані пацієнтів, діагнози, ліки, лабораторні результати та дослідження зображень. Обмін медичними даними – це процес обміну медичними даними між різними організаціями охорони здоров'я. Це можна зробити в електронному вигляді або за допомогою паперових записів. Електронна медична карта (ЕМК) – це цифрова версія медичної картки пацієнта. ЕМК можуть використовуватися постачальниками медичних послуг для відстеження інформації про здоров'я пацієнтів та надання кращого догляду. Використання структурованих медичних записів (МЗ), обмін медичними даними та ЕМК мають багато переваг. Ці переваги включають покращення догляду за пацієнтами, зменшення медичних помилок та кращу комунікацію між постачальниками медичних послуг. Медична інформаційна система (МІС) – це комп'ютеризована система, яка забезпечує інформаційну підтримку для прийняття клінічних рішень і є важливою частиною клінічного управління. Вона включає електронну медичну карту (ЕМК), систему підтримки клінічних рішень, комп'ютеризоване введення замовлень постачальника, систему керування ліками, лабораторну інформаційну систему. МІС відіграють важливу роль в обміні медичними даними. Обмін медичними даними – це процес електронного обміну інформацією про здоров'я пацієнтів між різними медичними

організаціями. Це дає змогу різним організаціям обмінюватися інформацією про пацієнтів з метою діагностики, лікування та лікування захворювання. Це також допомагає зменшити кількість повторюваних тестів і забезпечити кращу координацію допомоги. Обмін медичними даними можна здійснювати за допомогою різних методів, таких як прямий, обмін інформацією про здоров'я та електронне перенаправлення. Перший спосіб — це простий, безпечний спосіб надсилання повідомлень та вкладень, таких як результати лабораторних досліджень, між постачальниками та пацієнтами. Останній — це більш складний процес, який передбачає обмін інформацією про здоров'я пацієнтів між різними організаціями. Переваги обміну медичними даними включають покращення догляду за пацієнтами, зниження вартості, покращення координації надання медичної допомоги та кращу комунікацію між постачальниками послуг.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Мета роботи полягає в створенні моделі для аналізу та роботи зі структурованими медичними записами та інтеграції даної моделі з системою обміну медичною інформацією для підвищення точності передачі даних, в тому числі, у створенні моделі бази даних даної системи.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Методи аналізу структурованих медичних записів. Структуровані МЗ — це такі медичні записи, які можна класифікувати. Наприклад, форма аналізу крові 224/о [1], де точно вказано найменування показників, результати пацієнта та норма їх значень. Отже, такий медичний запис можна представити у вигляді FVA-моделі:

$$\langle F, V(F), A \rangle,$$

де F — сукупність полів $\{F_1, \dots, F_n\}$, V — їх значень $\{V_1(F_1), \dots, V_n(F_n)\}$, а A — функція точності. Оскільки забезпечення передачі даних між медичними інформаційними системами є основною задачею системи «Елемент», а дискретний простір існування MIC R [2] налічує від 1 до k медичних систем, при розробці системи обміну даними між системами MIS_x , $x \in (1; k)$, та MIS_y , $y \in (1; k)$ за умови $y \neq x$ потрібно визначити який з медичних записів системи x відповідає імпортованому запису системи y . Для цього проведемо аналіз полів та їх значень в обох системах:

$$F_i(x) \equiv F_j(y), \quad (1)$$

де $F_j(y)$ — поле МЗ, імпортоване з системи MIS_y , а $F_i(x)$ — аналогічне поле в системі MIS_x . Встановити відповідність можна за допомогою словникового методу та методу прямої відповідності. Для підвищення точності результатів рекомендовано прописати умови для полів імпортованого запису в функції точності $A(F(y))$. Наприклад, норма лейкоцитів в аналізі крові.

В ідеальних умовах можливо скласти функцію точності для кожного поля медичного запису. Однак, в деяких медичних записах присутні поля зі значеннями, які складно описати за допомогою функції точності. Наприклад поля заключний діагноз та скарги хворого в формі №025/о, що відповідає медичній картці амбулаторного хворого. Значення в даних полях являються унікальними і залежать від комплексу факторів, тому їх опис за допомогою функції $A(F)$ буде менш точним у порівнянні з використанням функції $A(F(y))$ для опису передбачених полів. Отже, модель даної системи можна представити у наступному вигляді:

Значення полів $V(F)$ пропонується розділити на два типи — передбачені та унікальні. Передбачені значення відносяться до полів з заздалегідь відомим результатом. Кількість гемоглобіну в крові — приклад передбаченого результату. Його норма становить від 120 до 160 г/л в залежності від статі пацієнта. Унікальні поля представляють собою текст, написаний природною мовою. Для опису та аналізу унікальних результатів використовують так звані NLP-моделі або моделі для обробки інформації, представленої природною мовою (англ., natural language processing) та нейронні мережі. Результати дослідження [3] показують покращену продуктивність моделей, що використовують NLP, порівняно з моделями, що використовують лише структуровані дані, або моделі, розширені за допомогою ключових слів, а використання даних моделей може підвищити точність класифікації медичної інформації.

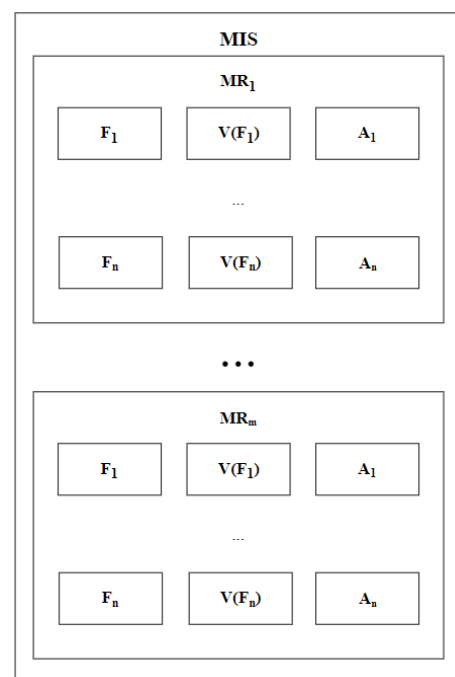


Рис. 1. Модель MIC з структурованими МЗ

Під поняттям неструктуровані дані розуміють інформацію, яку не можна легко організувати за допомогою попередньо визначених структур. Класичним прикладом неструктурованих даних в сфері охорони здоров'я слугують текстові нотатки лікаря в медичній карті або рентгенівські знімки. На перший погляд, неструктуровані дані представляють більшу проблему для аналізу та інтерпретації, ніж структуровані дані. Зображення та вільний текст неможливо легко класифікувати так само, як структуровані числові дані. Наприклад, інтерпретувати показники артеріального тиску як нормальний, підвищений або гіпертонічний можна за використанням простих логічних правил. З іншого боку, в структурованих МЗ можна зустріти аббревіатури та орфографічні помилки, включені у вільний текст, що вимагатимуть від людини декодування та інтерпретації (особливо якщо текст був написаний від руки або був відсканованим). Однак, згідно [4] точність NLP-моделей в умовах багатомовності становить 98,3%. NLP – окремий напрям математичної лінгвістики, що спеціалізується на аналізі (розумінні) та синтезі (генеруванні) природної мови і відіграє роль одного з можливих інструментів при розробці системи покращення якості надання медичних послуг наряду з використанням структурованих даних та семантичних моделей.

Для досягнення тотожності (1) необхідно перевірити, яке поле медичного запису системи MIS_x відповідає полю $F_j(y)$ системи MIS_y . Дана перевірка являє собою основний модуль системи «Елемент» і має бути описана разом з самою системою. При детальному описі роботи системи «Елемент» необхідно використати FVA-модель на основі MIC з структурованими МЗ. Отже, враховуючи інтероперабельність системи та функціональні вимоги до трансферу медичної інформації, дана система може бути описана наступним чином:

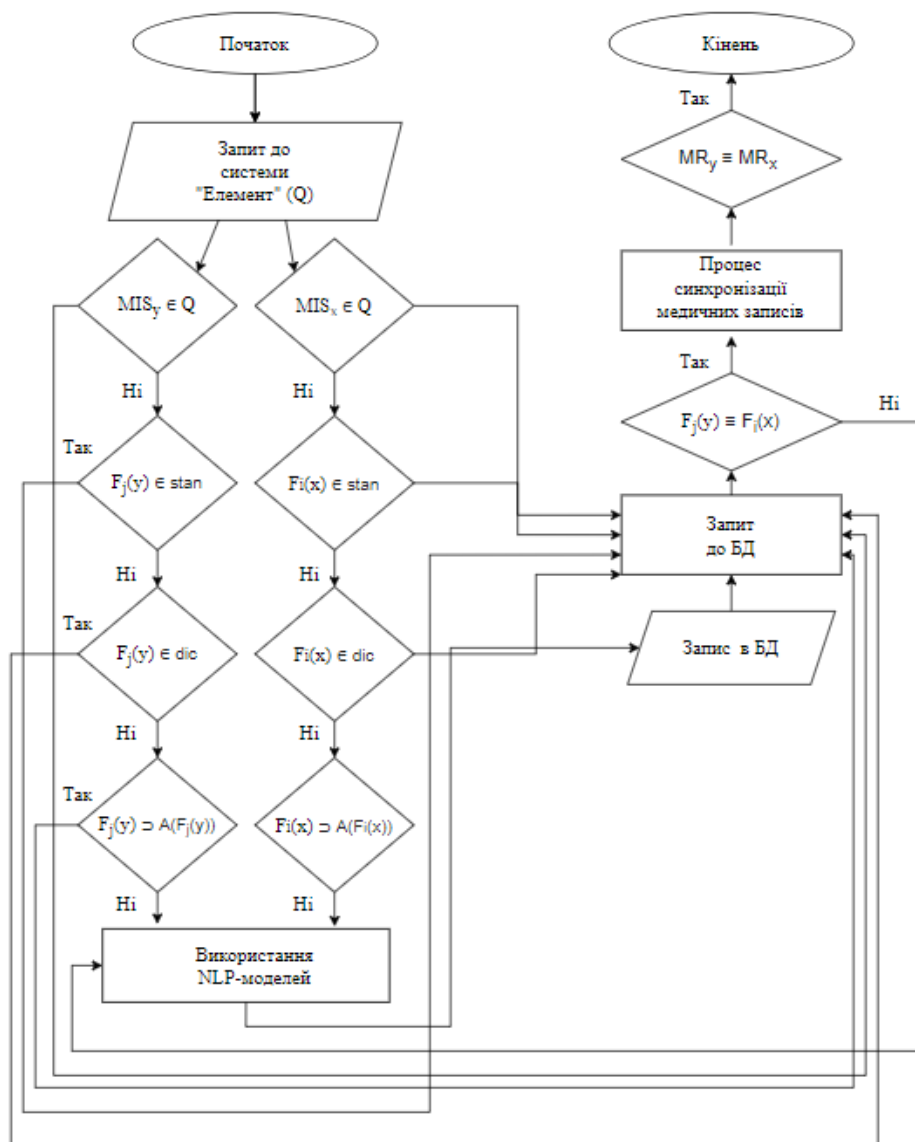


Рис. 2. Принцип роботи системи «Елемент» на основі FVA-моделі

Припустимо, що користувач системи MIS_y потрапив до постачальника медичних послуг в зоні дії системи MIS_x і йому необхідно надати доступ до своїх медичних даних (Рис. 2). Для цього пацієнту необхідно створити запит до системи «Елемент» (систему позначимо як Q). По-перше, проводиться ідентифікація MIS_y та MIS_x в системі «Елемент»:

$$MIS_y \in Q \wedge MIS_x \in Q \quad (2)$$

Для цього проводиться запит до БД системи «Елемент». Якщо умова (2) виконується і обидві МІС ідентифіковані в системі, проводиться процес синхронізації МЗ. В протилежному випадку проводиться детальна перевірка МЗ інформаційної системи, що включає в себе 4 етапи:

- В першу чергу проводиться перевірка за стандартами (функція *stan*). Якщо обидві системи використовують однакові стандарти представлення медичної інформації, для пошуку $F_i(x)$ для якого виконується тотожність (1) необхідно звернутися до БД і виконати синхронізацію МЗ.
- Якщо попередній варіант не дав результатів, проводиться перевірка за набором ключових слів або перевірка за словником (функція *dic*) в ході якої проводиться запит до БД з метою встановлення збігів інформації $F(x)$ з словником ключових слів системи «Елемент». За наявності збігів виконується синхронізація МЗ.
- В тому випадку, коли збігів зі словником ключових слів не знайдено, необхідно перевірити використання функції точності, а саме – перевірити які умови накладаються на поле $F_j(y)$ та його значення $V(F_j(y))$. Умови прописуються в функції точності з урахуванням інтервалу достовірності. Інтервал достовірності показує наскільки значення $V(F)$ може відхилятися від норми. Якщо виконується умова $F_j(y) \Rightarrow A(F_j(y))$, поле $F_j(y)$ класифікується в словнику системи «Елемент», а для синхронізації МЗ використовується функція *dic*.
- Перевірка з використанням NLP-моделей проводиться тоді і тільки тоді, коли жоден з попередніх етапів не дав результатів.

При обробці медичних записів встановлюються зв'язки між полями F , їх значеннями V , функціями точності A та медичними записами MR . Всі нові зв'язки, що були встановлені з використанням системи «Елемент» записуються до БД і використовуються у якості моделі трансформації МЗ. FVA-модель COMI відповідає вимогам до покращення якості надання медичних послуг, оскільки вирішує ключову задачу дослідження – вирішує питання сумісності несумісних систем. Дана сумісність досягається шляхом поєднання методів трикомпонентної структури досягнення синтаксичної сумісності (комітет стандартизації мови, інструмент перевірки мови і механізм оновлення мови) та архетипової моделі семантичної сумісності (доменна модель, модель ознак та модель архетипу).

База даних системи «Елемент». База даних в сфері охорони здоров'я — це система, в яку медичні працівники регулярно вводять клінічні та лабораторні дані. Одним з найбільш часто використовуваних варіантів роботи з базами даних в сегменті охорони здоров'я є МІС. Медичні системи працюють з різними типами даних, які можна пов'язувати, інтегрувати, об'єднувати та оновлювати. Згідно [4] основні дані, які використовуються в МЗ різних МІС були класифіковані для спрощення трансферу даних між системами для досягнення інтероперабельності. Для коректного функціонування системи «Елемент» необхідно мати базу даних (БД), в яку буде записуватися вся опрацьована системою інформація. Нижче приведено графічну модель загальної БД системи «Елемент»:



Рис. 3. Структура БД системи «Елемент»

Кожен блок (рис. 2.3) представляє собою таблицю в БД. Блок МІС показує список медичних систем, підключених до БД, МЗ – інформацію про медичні записи відповідної МІС, Пацієнти – інформацію про

пацієнтів МІС. Також в БД присутній блок Стандарти (відповідає функції stan FVA-моделі), що містить в собі інформацію про стандарти, підключені до БД. З іншого боку, існує блок Стандарти МЗ – він містить в собі інформацію про стандарти медичних записів (наприклад, форму аналізу крові 224/о). Однак блок до блоку Стандарти також записується інформація про форму медичних записів відповідної МІС з метою спрощення передачі інформації між різними системами. Блок Перевірка (відповідає функціям dic та $A(f)$) та відповідає за перевірку МЗ перед синхронізацією записів різних МІС. Блок Словник включає в себе таблиці ключових виразів їх синонімів, що необхідні для ідентифікації полів МЗ. Таблиця Функція точності містить в собі умови до значення поля $A(f)$ медичного запису. Блок НЛП-моделі показує список НЛП-моделей, підключених до системи «Елемент» та статус їх використання.

Структура блоку «МІС» (таблиця 1) включає в себе такі параметри як ідентифікатор медичної системи (vendor-id), назву МІС (vendor-name), країну системи та мову, що використовується в інформаційній системі (стовбці vendor-country та vendor-language). Отже, блок «МІС» передає базову інформацію про медичні системи, підключені до бази даних системи Елемент.

Таблиця 1.

Блок «МІС» БД

vendor-id	vendor-name	vendor-country	vendor-language
l	system-l	Ukraine	Ukrainian
...	...	...	...
k	system-k	Ukraine	Ukrainian

Згідно ієрархічної структури БД в наступній директорії після інформаційної системи має міститися інформація про користувачів даної системи. Необхідно зазначити, що існує два типи користувачів медичних систем: лікарі та пацієнти. Однак і лікарі, і пацієнти по замовченню підпорядковуються медичним закладам. Тому, пропонуємо додати блок «Медичні заклади» до БД в блок «Пацієнти». Інформація про постачальників медичних послуг включає в себе ідентифікатор лікарні (hospital-id), її назву (hospital-name) та адресу (hospital-address) та матиме наступний вигляд:

Таблиця 2.

Блок «Медичні заклади»

hospital-id	hospital-name	hospital-address
l	hospital-l	address-l
...	...	...
v	hospital-v	address-v

Тепер зупинимось на пацієнтах, прикріплених до медичного закладу. Для того, щоб уникнути неточностей при передачі інформації про пацієнта (наприклад в тому випадку, якщо існують декілька пацієнтів з однаковими ПІБ) кожному пацієнту присвоюється унікальний номер (patient-id), що передає інформацію про ПІБ (patient-name), дату народження (patient-birth) та адресу проживання (patient-address). Використання трьох параметрів допомагає уникнути збігів (таблиця 3)

Таблиця 3.

Блок «Пацієнти» БД

patient-id	patient-name	patient-birth	patient-address
l	Patient-l	25.09.1982	address-l
...	...	...	...
v	Patient-l	14.04.1976	address-v

Наряду з пацієнтами, до користувачів МІС відносять і лікарів (таблиця 4). Спочатку необхідно ідентифікувати лікаря в системі. Інформація про лікаря включає в себе персональний ідентифікатор (doctor-id), ім'я (doctor-name) та спеціалізацію (doctor-spec). Однак для зручності та для підвищення точності до інформації про лікаря рекомендовано внести перелік медичних записів, з якими він працював (doctor-docs).

Таблиця 4.

Блок «Лікарі» БД

doctor-id	doctor-name	doctor-spec	doctor-docs
l	Doctor-l	l	{1,2,3,...,p}
...	...	...	...
d	Doctor-D	s	{1,2,3,...,p}

Наряду з інформацією про пацієнта в системі містяться дані про медичні записи, пов'язані з ним (таблиця 5). Кожному МЗ присвоюється ідентифікатор (record-id), ім'я (record-name) та ідентифікатор особи,

відповідальної за даний запис (doctor-id). Оскільки основним напрямком системи є робота зі структурованими медичними записами, інформація представлена у вигляді полів {field-1,...,field-n} та їх значень {value-1,...,value-n}.

Таблиця 5.

Блок «МЗ» БД

record-id	doctor-id	record-name	field-1	value-1	...	...	field-n	value-n
1	1	record-1	F ₁ (1)	V ₁ (1)	...	...	F _n (1)	V _n (1)
...	...	...	...	...	...	...	...	...
m	s	record-m	F ₁ (m)	V ₁ (m)	...	...	F _n (m)	V _n (m)

Оскільки як на медичну галузь в цілому, так і на медичні записи, накладаються відповідні стандарти, це може допомогти накласти фільтр для класифікації МЗ. Отже, в блоці «Стандарти» (таблиця 6) необхідно вказати країну застосування (standard-country), назву стандарту (standard-name) та ідентифікатор стандарту (standard-id). Слід зазначити, що до блока стандарти можна додати також стандарти оформлення МЗ різними провайдероміс, що спростить трансфер даних між різними системами, оскільки буде можливим встановлення відповідностей між записами в різних форматах.

Таблиця 6.

Блок «Стандарти» БД

standard-id	standard-name	standard-country
1	Standard-1	Ukraine
...	...	...
z	Standard-z	Ukraine

Структуровані медичні записи можуть бути описані за допомогою FVA-моделі. В блоці стандарти в якості функції точності можна використати параметр approx-value (таблиця 7), де буде вказано приблизне значення поля. Для опису полів використовуємо наступні параметри: ідентифікатор поля в системі Елемент (field-id), назву поля (field-name). Враховуючи те, що поля являються складовою частиною МЗ для встановлення ієрархічних зв'язків необхідно вказати назву медичного запису (srecord-name), його ідентифікатор (srecord-id) та ідентифікатор стандарту, за яким функціонує даний МЗ (standard-id).

Таблиця 7.

Блок «Стандарти МЗ» БД

standard-id	srecord-id	srecord-name	field-id	field-name	approx-value
1	1	Name-1	1 ₁	Field-1 ₁	Value-1 ₁
1	1	Name-1	...	...	...
1	1	Name-1	m ₁	Field-m ₁	Value- m ₁
...	...	...	...	...	...
z	y	Name-y	1 _y	Field-1 _y	Value-1 _y
z	y	Name-y	...	...	...
z	y	Name-y	m _y	Field-m _y	Value- m _y

Додавши до бази даних системи Елемент стандарти {1,...,z} для медичних записів {1,...,y}. Кожен медичний запис містить в собі {1,...,m} полів, їх назви та норми їх значень. Маючи базу стандартів з одного боку, та базу медичних записів з іншого, виникає питання перевірки приналежності МЗ відповідним стандартам та встановлення закономірностей при записі медичної інформації. В силу того що система Елемент орієнтована на роботу з структурованими даними, для вирішення даної задачі пропонується скористатися словником ключових виразів (Таблиця 8):

Таблиця 8.

Блок «Ключові слова» БД

keyword-id	keyword-name	synonyms-id	keyword-language	language-ukrainian	...	language-english
1	гемоглобін	1	Ukrainian	-	...	hemoglobin
...	...	...	...	...	...	...
u	hemoglobin	u	English	Гемоглобін	...	-

де кожному ключовому слову чи виразу присвоєно ідентифікатор (keyword-id). В базу даних записується назва ключового слова (keyword-name), ідентифікатори синонімів (synonym-id) та інформація про мову запису ключового слова {language-ukrainian,...,language-english}. Слід зазначити, що ключова фраза може бути записана лише на одній мові. Основною задачею системи Елемент на даному етапі виступає процес пошуку та встановлення відповідностей між ключовими словами на різних мовах. Для

вирішення цієї задачі рекомендується скористатись комбінованим методом аналізу форм, САТ-програмами (англ. computer-assisted translation) та базою стандартів Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я (ВООЗ) [5]. Наприклад, анатомо-терапевтично-хімічною (АТХ) класифікацією лікарських засобів та міжнародною статистичною класифікацією хвороб та проблем, пов'язаних зі здоров'ям. Однак точність САТ-програм являється досить низькою для роботи з медичними даними і їх використання може викликати помилки згідно з [6]. З іншого боку, системою дані програми використовуються для перекладу ключових слів або коротких ключових виразів та пошуку синонімів, які на наступному кроці будуть співставлені з базами стандартів та ключових слів. Синоніми до ключових слів розглядаються як окремий конструкт БД і представлені у вигляді таблиці. Кожна таблиця включає в себе ідентифікатори ключових слів (keyword-id) та синонімів (synonym-id), відомості про мову (synonym-language) та про значення самого синоніма (keyword-synonym).

Таблиця 9.

Синоніми до ключових слів

keyword-id	synonym-id	synonym-language	keyword-synonym
1	1 ₁	ukrainian	гемоглобін
1	...	...	...
1	Ω ₁	english	haemoglobin
...	...	...	...
u	1 _u	ukrainian	еритроцити
u	...	...	...
u	Ω _u	english	erythrocytes

З іншого боку навіть в структурованих даних трапляються помилки. За даними дослідження [7], що проходило серед 136815 пацієнтів, 29656 респондентів повідомили про помилки в своїх медичних записах. 40% сприйняли помилку як серйозну. Серед дуже серйозних помилок, про які повідомляли пацієнти, найпоширенішими характеристиками були помилки в діагнозах, історії хвороби, ліках, результатах медичного огляду та результатах тестів. Тому окрім словника синонімів для підвищення точності роботи системи необхідно врахувати і ймовірні помилки в медичних записах, оскільки інформація може бути рукописною, відсканованою або при записі ключового слова може бути допущено помилку. Для цього запропоновано використати словник типових помилок при записі ключових слів (Таблиця 10). В системі Елемент кожна помилка має свій ідентифікатор (mistake-id) та значення (mistake-name). Однак, для встановлення ієрархічної структури і подальшого дослідження даної інформації недостатньо, тому додатково необхідно вказати при використанні якого ключового слова або синоніма виникає дана помилка. Для цього скористаємось параметрами keyword-id та synonym-id.

Таблиця 10.

Помилки в ключових словах

keyword-id	synonym-id	mistake-id	mistake-name
1	1 ₁	1 ₁	гімоглобін
1	...	...	...
1	Ω ₁	г ₁	гемаглобін
...	...	...	...
u	1 _u	u ₁	erythrocytes
u	...	...	...
u	Ω _u	г _u	еретроцити

Окрім ключових слів, синонімів та помилок впровадження FVA-моделі передбачає використання функції точності, що може бути описана аналогічно з попередніми об'єктами БД Елемент. Припустимо, що існує {1,...,y} медичних записів, що містять в собі {1,...,m} полів та їх значень. Для кожного значення складено функцію точності, що враховує тип значення, його норми та екстремуми. Наприклад, якщо в якості поля виступає гемоглобін (форма 224/о), його норма знаходиться в межах від 110 до 160, однак на практиці зустрічаються відхилення від даних значень, тому накладемо умову, що даний параметр має знаходитись в межах від 50 до 250 (function), інакше система мусить видати помилку. Також дана система дозволяє накладати додаткові умови, що прописуються в блоці extras. Наприклад, якщо показники гемоглобіну знаходяться на рівні вищому за 150 або нижчому за 100, система може видавати попередження. Функція точності використовується, щоб визначити, чи знаходиться дане значення в межах допустимого діапазону для даного поля. Якщо значення виходить за межі допустимого діапазону, система видасть помилку. Функцію точності можна налаштувати з урахуванням типу значення, його норм і екстремальних показників.

Таблиця 11.

Функція точності					
accuracy-id	record-id	value-id	field-id	function	extras
1	1	1	1	[50;250]	if function > 150, red if function < 100, red 50 > function > 250, error
...	...	...	...	...	...
a	y	m	m	[4x10 ⁹ ;9 x10 ⁹]	if function < 4 x 10 ⁹ , red if function > 9 x 10 ⁹ , red 4 x 10 ⁹ > function > 9 x 10 ⁹ , error

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Структуровані медичні записи відіграють важливу роль в системі охорони здоров'я, тому, при розробці системи обміну медичними даними важливо мати методи аналізу даних МЗ. Запропоновано FVA-модель для аналізу структурованих МЗ, що представляють МЗ у вигляді полів, їх значень та функції точності. На основі FVA-моделі запропоновано принцип роботи системи обміну медичною інформацією «Елемент». Розроблено структуру бази даних та 11 блоків, які дозволяють зберігати інформацію про МЗ, пацієнтів, лікарів, лікарні, медичні стандарти, МІС, медичні помилки, мають словник ключових слів (а також синонімів). У дослідженні використовувалася форма аналізу крові 224/о як приклад для розробки та перевірки методики. Результати показали, що для того, щоб підвищити точність обміну даними між системами необхідно використати використання функції точності, словниковий метод та метод прямої відповідності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Міністерство охорони здоров'я України. Інструкція щодо заповнення форми первинної облікової документації № 025/о «Медична карта амбулаторного хворого» [Електронний ресурс] / Міністерство охорони здоров'я України. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0669-12#Text>.
2. Jianlin Shi. Using Natural Language Processing to improve EHR Structured Data-based Surgical Site Infection Surveillance [Електронний ресурс] / Jianlin Shi, Siru Liu, Liese C.C. Pruitt // AMIA Annu Symp Proc. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7153106/>.
3. Irene Li. Neural Natural Language Processing for Unstructured Data in Electronic Health Records: a Review [Електронний ресурс] / Irene Li, Jessica Pan, Jeremy Goldwasser // arXiv:2107.02975 [cs.CL]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://arxiv.org/abs/2107.02975>.
4. National Coordinator for Health Information Technology. United States Core Data for Interoperability (USCDI) [Електронний ресурс] / National Coordinator for Health Information Technology (US) – Режим доступу до ресурсу: <https://www.healthit.gov/isa/united-states-core-data-interoperability-uscdi>.
5. Всесвітня Організація Охорони Здоров'я [Електронний ресурс] / 123 – Режим доступу до ресурсу: <https://www.who.int/>.
6. CAT Tools vs. Machine Translation: What's the Best Method? [Електронний ресурс] / 1 // Asian Absolute. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://asianabsolute.co.uk/cat-tools-vs-machine-translation-whats-the-best-method/>.
7. Sigall K. Bell. Frequency and Types of Patient-Reported Errors in Electronic Health Record Ambulatory Care Notes [Електронний ресурс] / Sigall K. Bell, Tom Delbanco, Joann G. Elmore // JAMA Netw Open. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2766834>

REFERENCES

1. Ministry of Health of Ukraine. Instruction on filling in the form of primary accounting documentation № 025 / o "Medical card of an outpatient" [Electronic resource] / Ministry of Health of Ukraine. - 2012. - Mode of access to the resource: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0669-12#Text>.
2. Jianlin Shi. Using Natural Language Processing to improve EHR Structured Data-based Surgical Site Infection Surveillance [Electronic resource] / Jianlin Shi, Siru Liu, Liese C.C. Pruitt // AMIA Annu Symp Proc. - 2020. - Mode of access to the resource: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7153106/>.
3. Irene Lee. Neural Natural Language Processing for Unstructured Data in Electronic Health Records: a Review [Electronic resource] / Irene Li, Jessica Pan, Jeremy Goldwasser // arXiv: 2107.02975 [cs.CL]. - 2021. - Mode of access to the resource: <https://arxiv.org/abs/2107.02975>.
4. National Coordinator for Health Information Technology. United States Core Data for Interoperability (USCDI) [Electronic Resource] / National Coordinator for Health Information Technology (US) - Resource Access Mode: <https://www.healthit.gov/isa/united-states-core-data-interoperability-uscdi>.
5. World Health Organization [Electronic resource] / 123 - Resource access mode: <https://www.who.int/>.
6. CAT Tools Vs. Machine Translation: What's the Best Method? [Electronic resource] / 1 // Asian Absolute. - 2017. - Resource access mode: <https://asianabsolute.co.uk/cat-tools-vs-machine-translation-whats-the-best-method/>.
7. Sigall K. Bell. Frequency and Types of Patient-Reported Errors in Electronic Health Record Ambulatory Care Notes [Electronic resource] / Sigall K. Bell, Tom Delbanco, Joann G. Elmore // JAMA Netw Open. - 2020. - Resource access mode: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2766834>

Vera TITOVA

<https://orcid.org/0000-0001-8668-4834>

Yurii KLOTS

<https://orcid.org/0000-0002-3914-0989>

Nataliia PETLIAK

<https://orcid.org/0000-0001-5971-4428>

Mariia KAPUSTIAN

<https://orcid.org/0000-0001-9200-1622>

Khmelnitskyi National University

FUZZY INFERENCE SUBSYSTEM FOR CLASSIFYING THREATS TO COMPUTER INFORMATION

This article was analyzed the threats to computer data in computer systems and classified these threats by their attributes. The relationships between threat classes, attributes, and related security methods and tools have defined the mathematical model of the computer threat classification problem.

Based on the model analysis was concluded that the computer threats classification problem belongs to difficult formalized problems and requires for its solution methods of intellectual analysis, one of which is the subsystem of logical inference implemented in this article.

Keywords: Computer Threats, Mathematical Model, Information Security, Computer Systems

Віра ТІТОВА, Юрій КЛЮЦ,
Наталія ПЕТЛЯК, Марія КАПУСТЯН
Хмельницький національний університет

ПІДСИСТЕМА НЕЧІТКОГО ВИСНОВКУ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАГРОЗ КОМП'ЮТЕРНІЙ ІНФОРМАЦІЇ

Однією з ключових проблем комп'ютерної безпеки сьогодні є необхідність ефективної протидії комп'ютерним загрозам. Загрози можуть бути як ненавмисними, так і навмисними. Найбільшу небезпеку становлять навмисні погрози. Крім того, комп'ютерні дані обробляються за допомогою різних компонентів архітектури комп'ютера: апаратних, програмних, комплексних. Тому актуальним завданням захисту комп'ютерних даних є захист усіх компонентів архітектури комп'ютера від загроз, як навмисних, так і ненавмисних.

У даній статті проаналізовано загрози комп'ютерним даним в комп'ютерних системах та класифіковано ці загрози за їх атрибутами. Зв'язки між класами загроз, атрибутами та відповідними методами та інструментами безпеки визначили математичну модель проблеми класифікації комп'ютерних загроз.

На основі аналізу моделі зроблено висновок, що проблема класифікації комп'ютерних загроз належить до складних формалізованих задач і потребує для свого вирішення методів інтелектуального аналізу, одним з яких є реалізована в даній статті підсистема логічного висновку.

Ключові слова: комп'ютерні загрози, математична модель, інформаційна безпека, комп'ютерні системи

Introduction

One of the key challenges in computer security today is the need to effectively counteraction computer threats. Threats can be both unintentional and intentional. The greatest danger is intentional threats. In addition, computer data is processed using various components of computer architecture: hardware, software, complex [1-4]. Therefore, the urgent task of computer data protection is to protect all computer architecture components from threats, both intentional and unintentional.

Today, there are many ways to protect computer data from threats in computer systems. Among them are [1-4]:

- ✓ anomaly detection methods are methods of finding and identifying elements, events or observations that don't correspond to the expected behavior (patterns);
- ✓ signature and heuristic methods of detecting malware, based on comparing the contents of suspicious programs and files with known samples of malware;
- ✓ access control methods. Access control can be performed in relation to the user and in relation to the data. The most common user access control is a registration procedure in which the user needs to enter his ID and password. Data access control is that each user can match a profile that specifies the allowed operations and file access modes.

Problem definition

Each group of methods has both advantages and disadvantages. Anomaly detection methods require the use of machine learning or artificial intelligence, which complicates their software and hardware implementation. Signature and heuristic methods can recognize a threat if it has occurred before. Access control methods require the use of additional cryptographic protocols to prevent password and ID hacking and can create difficulties when different users need to share certain data. The use of these methods in combination would eliminate the disadvantages of one group due to the advantages of others and increase the effectiveness of computer data protection in general.

However, using a hybrid system that includes all of these methods requires a lot of resources. Therefore, it is more appropriate to create a protection system in which one or another group of methods will be involved depending on the threat identified class.

In order to decide on the use of a particular method, the computer data protection system must contain a subsystem that will solve the problem of computer threats classification and determinate appropriate protection methods and tools. This article is devoted to the implementation of this subsystem.

Computer threats and protection methods classification

Among the whole set of threats, the following groups can be identified [5, 6]:

threats to data in memory;
threats to input data correctness;
threats to computer system stability;
threats to privileges and access;
denial of service;
attacks on the system;
threats to hardware components.

Mathematically, this can be written as follows [7]:

$$Y_i = \langle Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7 \rangle,$$

where Y_1 – threats to data in memory; Y_2 – threats to input data correctness; Y_3 – threats to computer system stability; Y_4 – threats to privileges and access; Y_5 – denial of service; Y_6 – attacks on the system; Y_7 – threats to hardware components; – current threat class.

Attributes of threats can be represented as a set [7]:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{19}\},$$

where a_1 - buffer overflow due to incorrect data using; a_2 - link to the deleted object; a_3 - format string error; a_4 - manipulation of command shell metacharacters; a_5 - intrusion into queries; a_6 - open access to system area; a_7 - manipulation of user scripts; a_8 - race files in multitasking systems; a_9 - privileges escalation; a_{10} - attack with symbolic links; a_{11} - DoS-attack (simple or distributed); a_{12} - replacement of a trusted network object; a_{13} - imposing the wrong route; a_{14} - network traffic analysis; a_{15} - network protocols scanning; a_{16} - incorrect hardware configuration; a_{17} - unauthorized use of developer tabs; a_{18} - hardware listening for data traffic; a_{19} - physical access to data.

The same attribute in combination with other attributes can define different classes of threats. At one point in time, there may be one or more classes of threats, and the attributes can change in the decision-making process. And with their change, one threat class can modifies to another or correlate with it. Based on the classification, the mathematical model of threat classification was built (1).

Set of threat protection tools and methods can be represented as:

$$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_{19}\},$$

where p_1 - prohibition the code using in the stack area; p_2 - checking the variables dimensionality; p_3 - correct removal of objects, garbage removal; p_4 - string length limit; p_5 - shielding any characters; p_6 - checking

the request correctness; P_7 - restriction of access rights to system area; P_8 - prohibition of special characters in the request; P_9 - correctness of semaphore functions; P_{10} - launching applications with minimal privileges; P_{11} - antivirus tools using; P_{12} - using of separate directory for temporary files; P_{13} - using of standard tools to create temporary files; P_{14} - correct configuration of routers and firewalls; P_{15} - traffic limit; P_{16} - using of cryptographic protection methods, data encryption; P_{17} - using of Host-Based Intrusion Detection System; P_{18} - using of ingress-filtration and egress-filtration; P_{19} -ICMP-packages limit; P_{20} - detection and correction of incorrect hardware configuration; P_{21} - compliance with security policy.

One of the protection tools and methods can be applied to several threats at the same time, or several tools and methods can counteract one threat. The relationships between threats and protection tools and methods are presented in the following mathematical model (2).

$$Y_i = \begin{cases} Y_1, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_{16}, a_{17}, a_{18}\} \\ Y_2, \text{ if } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{18}\} \\ Y_3, \text{ if } A' = \{a_3, a_4, a_7, a_8, a_{17}\} \\ Y_4, \text{ if } A' = \{a_6, a_8, a_9, a_{10}, a_{17}\} \\ Y_5, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_8, a_9, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{19}\} \\ Y_6, \text{ if } A' = \{a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_7, \text{ if } A' = \{a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_1 \cup Y_2, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{16}, a_{17}, a_{18}\} \\ Y_1 \cup Y_3, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_7, a_8, a_{16}, a_{17}, a_{18}\} \\ Y_1 \cup Y_4, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_6, a_8, a_9, a_{10}, a_{16}, a_{17}, a_{18}\} \\ Y_1 \cup Y_5, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_8, a_9, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_1 \cup Y_6, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_1 \cup Y_7, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_2 \cup Y_3, \text{ if } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_{10}, a_{17}, a_{18}\} \\ Y_2 \cup Y_4, \text{ if } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{17}, a_{18}\} \\ Y_2 \cup Y_5, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_2 \cup Y_6, \text{ if } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_2 \cup Y_7, \text{ if } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_3 \cup Y_4, \text{ if } A' = \{a_3, a_4, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{17}\} \\ Y_3 \cup Y_5, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_7, a_8, a_9, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{17}, a_{19}\} \\ Y_3 \cup Y_6, \text{ if } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_3 \cup Y_7, \text{ if } A' = \{a_3, a_4, a_7, a_8, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_4 \cup Y_5, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_6, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{17}, a_{19}\} \\ Y_4 \cup Y_6, \text{ if } A' = \{a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_4 \cup Y_7, \text{ if } A' = \{a_6, a_8, a_9, a_{10}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_5 \cup Y_6, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_5 \cup Y_7, \text{ if } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_8, a_9, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\ Y_6 \cup Y_7, \text{ if } A' = \{a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \end{cases} \quad (1)$$

$$P_j = \begin{cases} \{p_1, p_2, p_3\}, & \text{if } Y_i = Y_1 \\ \{p_4, p_5, p_6, p_7, p_8\}, & \text{if } Y_i = Y_2 \\ \{p_9\}, & \text{if } Y_i = Y_3 \\ \{p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}\}, & \text{if } Y_i = Y_4 \\ \{p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}, p_{18}, p_{19}\}, & \text{if } Y_i = Y_5 \\ \{p_{16}, p_{17}, p_{18}, p_{19}\}, & \text{if } Y_i = Y_6 \\ \{p_{20}, p_{21}\}, & \text{if } Y_i = Y_7 \end{cases} \quad (2)$$

where P_j - subset of protection tools and methods to counter the current threat.

From the analysis of these models was concluded that the task of threats classification has the following features:

- ✓ there are a large number of possible solutions, which complicates the solution of the problem by a complete search of all available alternatives;
- ✓ input data can change in the process of solving the problem, and when changing at least one value it is necessary to go through all the available options first;
- ✓ input data is difficult to represent in the form of numerical data, and therefore the solution of the problem cannot be reduced to numerical calculations.

So, the task of threats classification is a difficult-formalized task [8]. To solve it, it is advisable to use intellectual analysis methods. The authors chose the logical inference subsystem, which is best suited for the implementation of production rules set, which is the mathematical model.

Logical inference subsystem for threats classification and determination appropriate protection methods

This subsystem was implemented using Matlab software. The neural network structure of this subsystem is shown in Fig. 1.

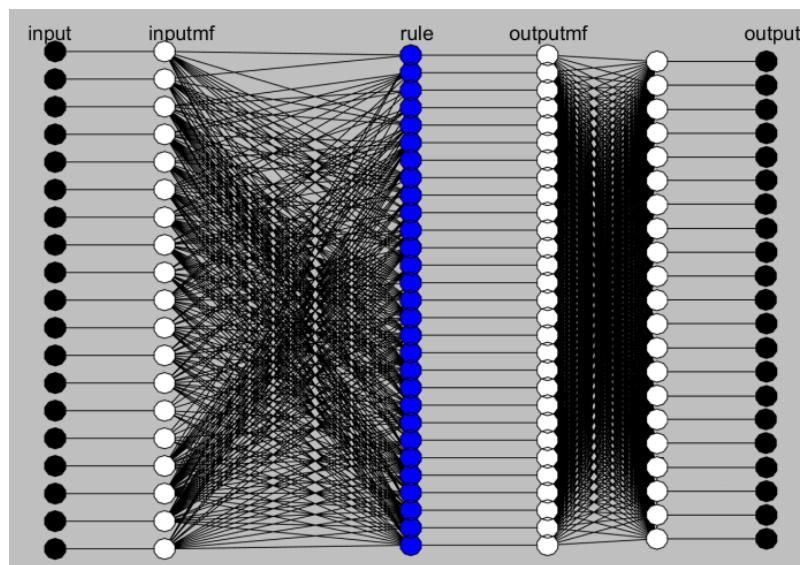


Fig. 1. Structure of logical inference subsystem for threats classification and determination appropriate protection methods

The number of inputs is 19, according to the number of threat attributes. The input data can be 0 or 1, depending on the manifestation of a particular threat attribute.

The number of outputs is 21 according to the number of protection tools and methods. The output data can be 0 or 1, depending on how much a particular method or tool is needed.

The set of rules determinate links between identified threat attributes and the protection tools and methods to be applied.

The results of the subsystem work are presented in Fig. 2. The value of p_1 depends on both attributes a_1 and a_2 . The value of p_9 depends only on the value of the attribute a_4 and is independent of the value of the attribute a_5 .

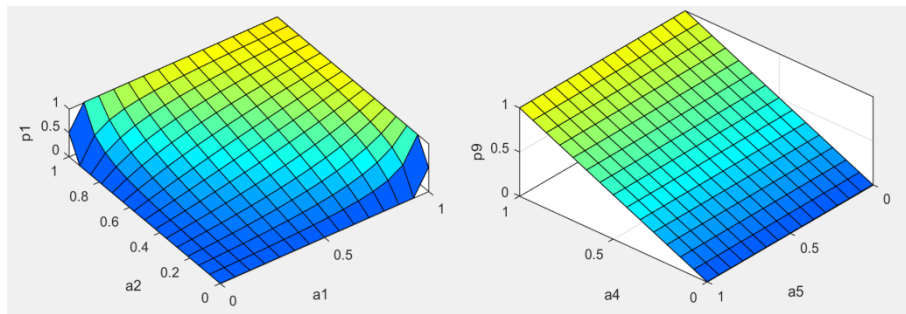


Fig. 2. The results of the logical inference subsystem work are presented in the response surface form

Conclusions

The article considers the threats to computer data in computer systems and their classification. Based on the classification, the mathematical model for determining the current threat class was proposed.

The methods and tools of counteracting threats were also considered and the relationships between them and classes of threats were determined.

These models became the basis for the design of the threat classification subsystem of the computer data protection system. The implementation of this subsystem will increase the efficiency of the computer data protection system and will avoid high needs in computer resources during the operation of this system.

References

1. Informatsiyna bezpeka v komp'yuternih mrezhah: navch. posib./ O.A. Smirnov, O.K. Slobodenyuk, S.A. Smirnov, K.O. Buravchenko, T.V. Smirnova, L.I. Polischuk. – Kropivnitskiy: Vidavets Lisenko V. F., 2020. – 295 s.
2. Zahist informatsiyi v komp'yuternih sistemah ta mrezhah: navch. posib./ S.G. Semenov, A.O. Podorozhnyak, O.I. Balenko, S.Yu. Gavrilenko – H.: NTU «HPI», 2014. – 251 s.
3. Kompleksna bezpeka informatsiynih mrezhovih sistem. Navchalniy posibnik/ A.G. Mikitishin, M.M. Mitnik, P.D. Stuhlyak. – Lviv, «Magnoliya 2006», 2016. – 256 s.
4. Informatsiyna bezpeka: navchalniy posibnik/ [Yu. Ya. Bobalo, I. V. Gorbatiy, M. D. Kiselichnik, A. P. Bondarev ta in.]; za zag. red. d-ra tehn. nauk, prof. Yu. Ya. Bobala ta d-ra tehn. nauk, dots. I. V. Gorbato. – Lviv: Vidavnistvo Lvivskoyi politehniky, 2019. – 580 s.
5. Korpan Ya.V. Klasyfikatsiia zahroz informatsiini bezpetsy v kompiuternykh systemakh pry viddalenii obrobtsi danykh / Ya.V. Korpan // Myr nauky y ynnovatsiy. – Nauchnyi myr, 2015. – T. 17, № 2. – s. 39-46.
6. Korpan Ya.V. Kompleks metodiv i zasobiv zakhystu informatsii u kompiuternykh systemakh / Ya.V. Korpan // Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh. – 2015. – Vyp. 1. – T. 32. – s. 31-35.
7. Titova V. Yu. Klasyfikatsiia modelei zahroz v kompiuternykh systemakh/ V. Yu. Titova, Yu. P. Klots, S. O. Savchuk // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2020. – № 2. – S. 201-203/
8. Lokaziuk V. M. Zasady system pidtrymky pryiniattia rishen na osnovi kompiuternykh system ta yikh komponentiv : navch. posib./ V. M. Lokaziuk, O. V. Ivanov, V. Yu. Titova; Khmelnyts. nats. un-t. – Khmelnyts.: Honta A.S., 2010. - 338 c.
9. Martseniuk, V. P., Sverstiuk, A. S., Kozodii, N. V., & Kravchuk Yu, V. (2019). Vykorystannia paketu R dlia kompiuternoho modeliuvannia kontaktiv antyheniv z antytilamy v kiberfizychnykh imunosensornykh systemakh na priamokutnii reshitti. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky (4), 97-105.

Андрій ГОРОШКО

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1386-2326>

e-mail: iftomm@ukr.net

Ілона ДРАЧ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0590-9814>

e-mail: cogitare410@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ВІБРОАКТИВНОСТІ МАШИН БАРАБАННОГО ТИПУ З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

В роботі створена математична модель машини барабанного типу з вертикальним ротором у вигляді рівнянь коливань багатозв'язної системи бак-платформа на пружних підвісах та досліджено її віброактивність при робочих швидкостях на прикладі вертикальної прально-віджимної машини. Проаналізовано вплив конструктивних параметрів системи на величину вібрацій системи та вироблені рекомендації щодо компоновки та удосконалення конструкції машини. Одержані теоретичні результати були перевірені на спеціально створеній і удосконаленій експериментальній установці. Результати показали зниження рівня вібрацій машини на резонансі і задовільний збіг експериментальних і результатів чисельного моделювання.

Ключові слова: вібрація, барабан, вертикальний ротор, жорсткість, демпфування

Andrii GOROSHKO, Ilona DRACH

Khmelnytskyi National University

CHARACTERISTICS OF VIBROACTIVITY OF DRUM-TYPE MACHINES WITH A VERTICAL AXIS OF ROTATION

A mathematical model of a drum-type machine with a vertical rotor in the form of equations of oscillations of a multiconnected tank-platform system on elastic suspensions was created and its vibroactivity at operating speeds was investigated on the example of a vertical washing machine. The influence of design parameters of the system on the amount of system vibrations is analyzed and recommendations for the layout and improvement of the machine design are made.

As a result of the research, the basic requirements for the layout of vertical rotary machines of the drum type were obtained theoretically and experimentally confirmed: the center of mass of the platform must lie on the axis of rotation of the drum; the axis of rotation of the drum should be the main central axis of inertia of the platform; the center of mass of the platform must coincide with the center of mass of the loading drum; the center of rigidity of the system of elastic supports must coincide with the center of gravity of the platform, and the main axes of rigidity with the main central axes of inertia of the platform; the main axes of the constant viscous friction must coincide with the main central axes of the inertia of the platform.

Studies of the created mathematical model of a drum-type machine with a vertical rotor by simulation methods have shown that the improvement of the design of the experimental setup leads to a decrease in its vibroactivity. The obtained theoretical results were tested on a specially created and improved experimental setup. The results showed a decrease in the vibration level of the machine at resonance and a satisfactory coincidence of experimental and numerical simulation results.

Keywords: vibration, drum, horizontal rotor, stiffness, damping

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Вертикальні ротори застосовуються у багатьох галузях виробництва, зокрема у ветрогенераторах, центрифугах хімічної, нафтохімічної та мікробіологічної промисловості, побутових та промислових прально-віджимних машинах. Машини барабанного типу з вертикальним ротором володіють низкою переваг перед машинами з горизонтальним ротором, зокрема більшою ефективністю і нижчим рівнем споживання енергії через більші швидкості обертання ротора. Проте високі швидкості характеризуються і більшим рівнем вібрації, викликаній зміщенням центру ваги ротора, що може стати серйозною проблемою і навіть призвести до поломки механізму.

З метою підвищення ефективності розглянутих типів машин необхідно знижувати їх вібрації як в стаціонарному режимі, так і на перехідних режимах. У пральних машинах та різноманітних центрифугах проблема зниження вібрацій машин барабанного типу з вертикальним ротором ускладнюється через змінний дисбаланс та інерцію ротора. Це вимагає дослідження віброактивності вертикальних роторних машин та вироблення рекомендацій щодо удосконалення їх конструкції.

Аналіз останніх досліджень

На сьогодні відомі декілька підходів до вирішення проблеми. Основними напрямками боротьби з вібрацією є віброізоляція [1]; демпфірування [2]; динамічне гасіння коливань [3]; вдосконалення методів

балансування роторів [4], в тому числі і з урахуванням їх гнучкості [5]. В роботах [6, 7] описані методи і засоби активного контролю за поперечними вібраціями. Активне керування потребує розробки датчиків і виконавчих механізмів, а також впровадження систем керування з оберненим зв'язком. Такі машини будуть мати більшу вартість, хоча і значну ефективність у зниженні вібрацій. Це стосується магнітних підшипників [8], приводів гідравлічних камер, активних гідростатичних підшипників [9], електромагнітних підшипників [10].

Пасивний контроль вібрацій роторів є більш дешевим у порівнянні з активним контролем. У роботі [11] запропоновано метод зниження віброактивності в процесі віджиму пральної машини з вертикальним ротором через застосування динамічних поглиначів, що працюють в пасивному режимі і не потребують системи керування. Такий гаситель вібрації встановлюється на барабані і обертається з такою ж швидкістю. Недоліком запропонованої конструкції гасителя є збільшення маси обертової частини, що викликає збільшення енергетичних витрат. Крім того, для ефективної роботи такого гасителя частота має бути відомою.

Пральна машина як об'єкт дослідження динаміки і зниження вібрацій і шуму викликає особливий інтерес через постійної присутності випадково розташованого і блукаючого дисбалансу білизни в барабані і невисоких вимог до точності її виготовлення і складання деталей і вузлів, щоб не здорожувати вартість. Незважаючи на те, що останнім часом дослідники досягли значних успіхів у створенні активних і пасивних методів і засобів зниження вібрацій пральних машин, рівень небажаних вібрацій може бути також знижений за рахунок оптимальної компоновки складових конструкції машини.

Формулювання цілей статті

Побудувати математичну модель динаміки машини барабанного типу з вертикальним ротором у вигляді рівнянь коливань багатозв'язної системи бак-платформа на пружних підвісах, дослідити вплив конструктивних параметрів системи на величину вібрацій системи на робочих швидкостях і запропонувати рекомендації щодо удосконалення конструкції машини.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо систему платформа-барабан (рис. 1), що є машиною у вигляді системи, робочий орган якої підвішений через довільну кількість пружних опор до корпусу машини. Така система здатна здійснювати малі переміщення в довільному напрямі. Робочим органом машини прийнято вважати систему платформа-ротор, тобто динамічна модель є типовою конструкцією центрифуг, сепараторів, пральних машин та ін.

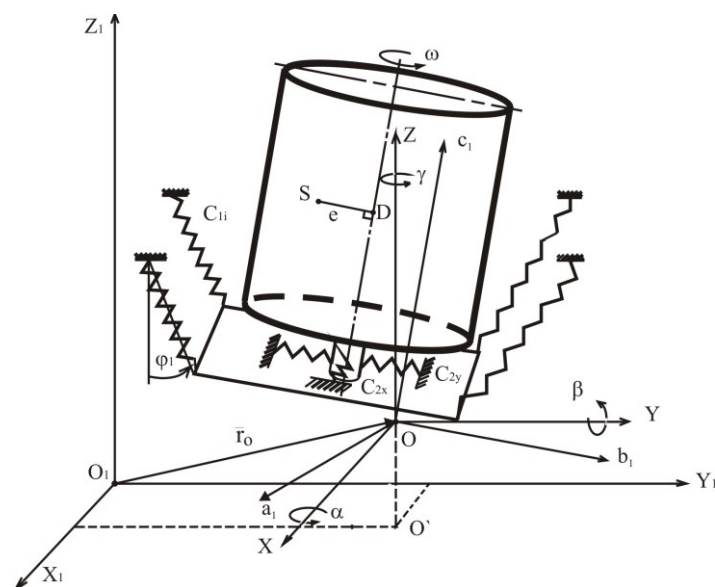


Рис. 1. Динамічна модель машини з вертикальною віссю обертання

Для обраної розрахункової схеми прийняті такі припущення:

1) пружні характеристики амортизаторів машини є лінійними. При розгляді малих коливань в розрахунок береться невелика ділянка пружної характеристики опори, в межах якої викривлення характеристики незначні й її можна вважати лінійною;

2) деформаціями платформи і ротора можна знехтувати тому, що їх жорсткості значно перевищують жорсткості пружних опор. Кріплення ротора до платформи є абсолютно жорстким і забезпечує ротору лише одну ступінь вільності щодо платформи - обертання навколо поздовжньої осі Z ;

3) розташування центру мас незрівноваженого ротора носить випадковий характер і в довільний момент часу визначається поточними координатами щодо осі обертання в площині, перпендикулярній до неї. У початковому стані ротор є ідеально збалансованим.

З урахуванням прийнятих припущень динамічна модель машини є абсолютно твердим тілом, пружно з'єднаним з корпусом машини, яке здатне переміщуватись в будь-якому напрямі і, таким чином, має шість ступенів вільності.

Диференціальні рівняння коливань системи платформа-ротор отримаємо, виходячи з рівнянь Лагранжа другого роду з врахуванням розсіювання енергії при демпфуванні за Релеєм [12]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_j} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_j} = 0, \quad (1)$$

де $j=6$ - кількість узагальнених координат q , T - кінетична енергія системи, Π - потенціальна енергія системи, D - розсіювання енергії в демпферах за рахунок в'язкого тертя.

Виконуючи математичні дії, передбачені рівнянням Лагранжа з шістьма узагальненими координатами q , вважаючи $\omega = \text{const}$ одержимо систему з шести диференціальних рівнянь, матричний запис якої має вигляд:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Q}} + (\mathbf{G} + \mathbf{D})\dot{\mathbf{Q}} + \mathbf{A}\mathbf{Q} = \mathbf{F}, \quad (2)$$

де $\mathbf{M} = [m_{ij}]_{6 \times 6}$ - матриця інерційних коефіцієнтів; $\mathbf{G} = [g_{ij}]_{6 \times 6}$ - матриця гіроскопічних коефіцієнтів; $\mathbf{D} = [d_{ij}]_{6 \times 6}$ - матриця коефіцієнтів демпфування; $\mathbf{A} = [a_{ij}]_{6 \times 6}$ - матриця коефіцієнтів жорсткості; $\mathbf{Q} = [q_{ij}]_{6 \times 1}$ - матриця-стовпець шуканих узагальнених координат; $\mathbf{F} = [f_{ij}]_{6 \times 1}$ - матриця-стовпець узагальнених силових факторів. $\mathbf{Q} = [x \ y \ z \ \alpha \ \beta \ \gamma]^T$ - матриця-стовпець узагальнених координат.

Матриця узагальнених силових факторів визначається як

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ F_\alpha \\ F_\beta \\ F_\gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_2 \omega^2 e (1 + z_D d_3) \cos \omega t \\ m_2 \omega^2 e (1 + z_D d_4) \sin \omega t \\ 0 \\ -m_2 \omega^2 e z_D \sin \omega t \\ m_2 \omega^2 e z_D \sin \omega t \\ m_2 \omega^2 e (y_D \cos \omega t + x_D \sin \omega t) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де m_2 - маса барабана, ω - кутова швидкість обертання ротора, e - ексцентриситет барабана, x_D, y_D, z_D - координати т. D - точки перетину осі обертання барабана з перпендикуляром, опущеним на вісь z т. S - центра мас барабана. Тут d_3, d_4 - допоміжні геометричні параметри, що залежать від місць приєднання стрижнів і визначаються як

$$d_3 = \frac{S_1 - b_1}{b_1 l + Z_K (S_1 - b_1)}, \quad d_4 = \frac{S_2 - b_2}{b_2 l + Z_K (S_2 - b_2)}, \quad (4)$$

де l - довжина підвісного стрижня у початкових умовах, S_1, S_2 - відстані між точками кріплення підвісних стрижнів до нерухомої частини, b_1, b_2 - відстані між точками кріплення підвісних стрижнів до платформи.

Отримана система рівнянь показує наявність великої кількості зв'язків між рухом за обраними координатами через розбіжність центру мас платформи із центром мас зрівноваженого ротора. У розглянутому загальному випадку руху система платформа-ротор здійснює шестизв'язні коливання, при яких збудовування, що діє в одному напрямку, викликає коливання уздовж і навколо всіх осей декартової системи координат, використаної для визначення положення коливної частини машини.

З теорії коливань відомо, що чим вищою є зв'язність коливань, тим ширшим є за інших однакових умов є спектр власних частот, тобто тим більшою є різниця між вищою й нижчою частотами вільних коливань [12]. Крім того, коли всі шість частот є зв'язаними й виникає необхідність змінити значення однієї з них, то змінюються значення всіх інших частот. Це ускладнює завдання віброізоляції й зниження динамічної активності системи платформа-ротор, тому бажано з'ясувати практичні можливості зменшення зв'язності коливань, які можуть бути реалізовані при конструюванні машин.

Для розглянутої розрахункової схеми між узагальненими координатами існує інерційний, дисипативний, пружний і гіроскопічний зв'язки, що безпосередньо впливає зі структури матриць $\mathbf{M}$, $\mathbf{G}$, $\mathbf{D}$, та $\mathbf{A}$. Суттєво зменшити зв'язність коливань системи платформа-ротор можна, якщо розташувати центр мас платформи точки O на осі обертання ротора (рис. 1). У цьому випадку координати $x_D = y_D = 0$ і всі позадіагональні елементи матриці $\mathbf{M}$, крім $m_{15} = m_{51} = J_Y d_3 + m_2 z_D$ і $m_{24} = m_{42} = -J_X d_4 - m_2 z_D$, обертаються в нуль. У цьому випадку при розгляді вимушених коливань системи платформа-ротор обертаються в нуль узагальнені силові фактори за координатою γ .

Подальшого зменшення зв'язності коливань можна досягти, якщо розташувати пружні опори й демпфери таким чином, щоб точки їх приєднання до платформи утворювали геометричну фігуру, симетричну щодо координатних площин, що містять головні центральні осі інерції платформи. Це безпосередньо впливає з розгляду структури коефіцієнтів d_{ij} і a_{ij} , і застосування до них понять статичних і відцентрових моментів жорсткостей. У цьому випадку повністю буде усунутий дисипативний зв'язок і суттєво зменшеним пружний зв'язок.

Однією з особливостей розглядуваної математичної моделі є неможливість виконання умови $z_D = 0$. Тому повністю усунути інерційну зв'язність у даній конструкції не є можливим. Подальше її зменшення може бути пов'язане з виконанням умов $d_3 = d_4 = 0$. З аналізу цих коефіцієнтів випливає що платформа машини повинна бути підвішена на вертикальних підвісках. Застосування в конструкції машини вертикальних підвісок зменшить пружний і гіроскопічний зв'язки коливань і величини збурювальних сил уздовж осей X і Y .

Аналіз виразів для коефіцієнтів a_{ij} матриці жорсткості $\mathbf{A}$ показує, при виконанні вже перерахованих вимог повністю усунути пружний зв'язок коливань між узагальненими координатами можна за умови $c_{2X} = c_{2Y} = c_{2Z} = 0$. Інакше кажучи, необхідно замінити пружну ущільнювальну діафрагму на безжорсткісну.

Для перевірки одержаних висновків і рекомендацій з компоновки машини були проведені імітаційні дослідження моделі пральної машини з вертикальним ротором з використанням системи комп'ютерної математики *Matlab*. Розрахунок виявив наступний спектр власних частот коливань системи платформа-ротор: 5,3; 3,7; 3,5; 2,9; 2,7; 2,7 Гц (рис. 2). Розраховані значення власних частот коливань системи ротор-платформа є суттєво меншими робочої частоти обертання барабана, що дорівнює 15 Гц. Практично всі знайдені значення розташовані в достатньо вузькому інтервалі

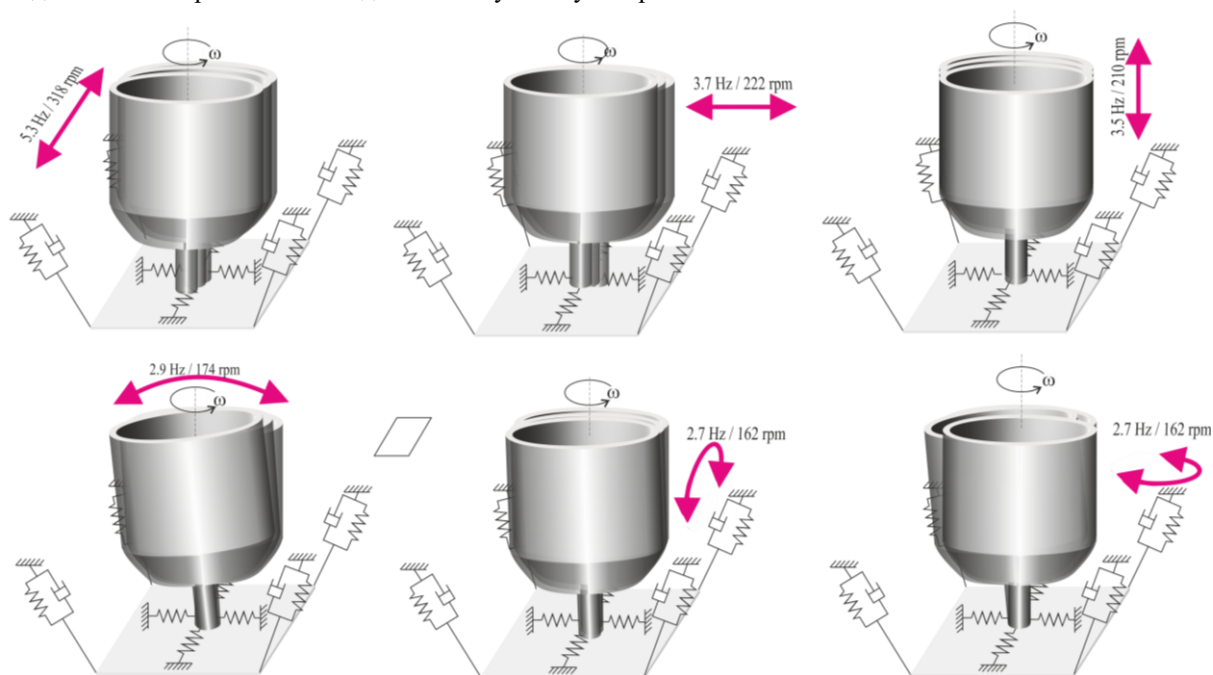


Рис. 2. Анімація сліду перших шести власних мод з відповідними частотами

Для перевірки висловлених припущень модель пральної машини була модифікована, для чого жорсткість підвісних стрижнів була прийнята однаковою. В таблиці 1 представлені вихідні дані для базової і модифікованої конструкції. Результати імітаційного моделювання показали принципову можливість зниження небажаних вібрацій підвісної частини машини. На рис. 3 представлена порівняльні амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) системи з штучним дисбалансом барабана 9500 г·см, що відповідає реальній завантаженій пральній машині, до і після модифікації конструкції.

Таблиця 1.

Параметр	Базовий варіант	Змінений варіант
Маса системи m , кг	19	19
Маса барабана m_2 , кг	6,5	6,5
Момент інерції системи відносно осей		
J_X , кг·м ²	1,16	1,16
J_Y , кг·м ²	1,11	1,11
J_Z , кг·м ²	0,99	0,99
Момент інерції барабана відносно осі обертання J , кг·м ²	0,139	0,139
Жорсткість підвісного стержня		
C_{11} , Н·м ⁻¹	2400	2400
C_{12} , Н·м ⁻¹	3300	2400
C_{13} , Н·м ⁻¹	3300	2400
C_{14} , Н·м ⁻¹	2400	2400
Жорсткість діафрагми вздовж осі		
C_{2X} , Н·м ⁻¹	1700	0
C_{2Y} , Н·м ⁻¹	1700	0
C_{2Z} , Н·м ⁻¹	900	0
Кути нахилу підвісних стержнів		
φ_1 , рад	0,3491	0,3491
φ_{21} , рад	5,4978	5,4978
φ_{22} , рад	0,7854	0,7854
φ_{23} , рад	2,3562	2,3562
φ_{24} , рад	3,9270	3,9270
Довжина підвісного стрижня l , м	0,1	0,1
Ексцентриситет барабана e , м	0,015	0,015
Координати т. D – точки перетину осі обертання барабана з перпендикуляром, опущеним на вісь з т. S – центра мас барабана	x_D 0,005 y_D -0,031 z_D 0,359	0 0 0,353
Координати т. M – точки кріплення діафрагми до платформи	x_M 0,005 y_M -0,031 z_M 0,091	0 0 0,085
Координати точок кріплення підвісних стрижнів до платформи	(0,151; 0,151; 0,018) (0,151; -0,177; 0,018) (-0,141; -0,177; 0,018) (-0,141; 0,151; 0,018)	(0,151; 0,151; 0,018) (0,151; -0,177; 0,018) (-0,141; -0,177; 0,018) (-0,141; 0,151; 0,018)
Коефіцієнти в'язкого тертя демпферів h , кг·с ⁻¹	53	53

Дослідження впливу нерівножорсткості системи на віброактивність показало, що підвісні стрижні з неоднаковою жорсткістю не лише підвищують зв'язність коливань, але і підвищують рівень горизонтальних вібрацій (рис. 4). Найбільш чутливим до нерівножорсткості параметром є рівень вертикальних вібрацій (рис. 5).

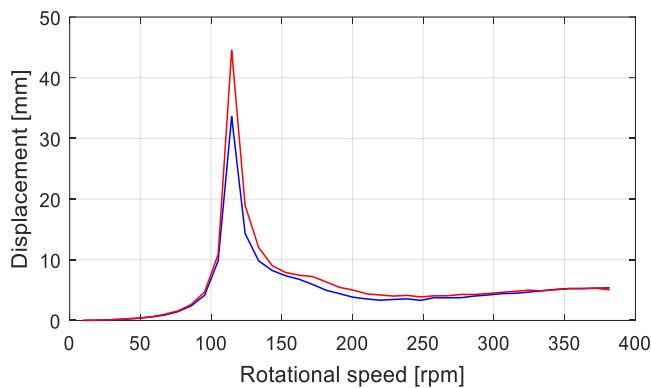


Рис. 3. Порівняльні АЧХ барабана з дисбалансом 9500 г·см до і після вжиття заходів

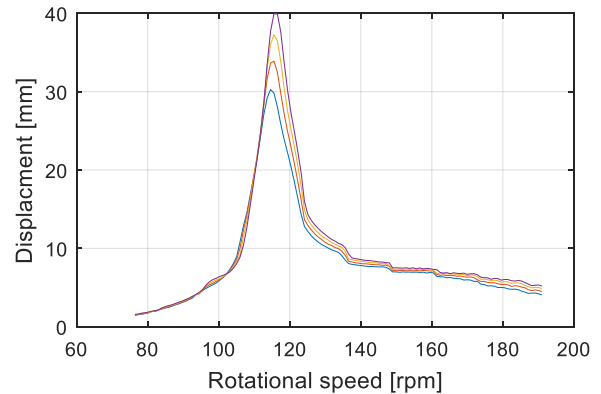


Рис. 4. Порівняльні АЧХ, зняті при різних значеннях жорсткості стрижнів (2400, 2700, 3000, 3300 Н·м⁻¹)

Момент інерції системи платформа-ротор відносно осей X і Y в ідеальному варіанті мають бути однаковими. Базова конструкція машини, параметри якої наведені у таблиці 1, має неоднакові моменти інерції, що призводить до зростання амплітуди горизонтальних вібрацій. При цьому вісь барабана описує еліпс (рис. 6).

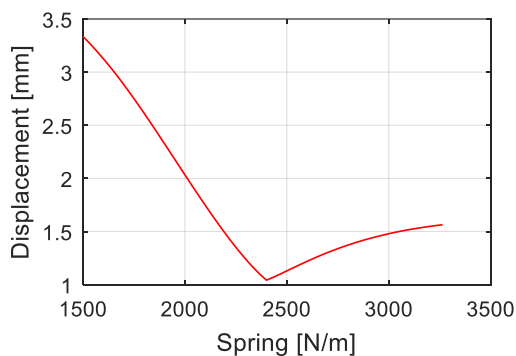


Рис. 5. Еліптична траєкторія руху осі барабана

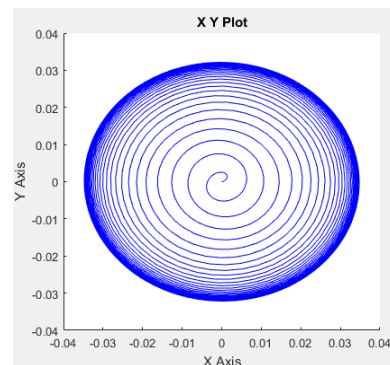


Рис. 6. Зростання вертикальних вібрацій при зміні жорсткості двох з чотирьох стрижнів від значення 2400 Н/м на резонансі

Одержані теоретичні результати були перевірені на спеціально створеній і удосконаленій експериментальній установці. Результати показали зниження рівня вібрацій машини на резонансі і задовільний збіг експериментальних і результатів чисельного моделювання.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В результаті проведених досліджень були одержані теоретично і підтверджені експериментально основні вимоги до конструювання вертикальних роторних машин барабанного типу: центр мас платформи повинен лежати на осі обертання барабана; вісь обертання барабана повинна бути головною центральною віссю інерції платформи; центр мас платформи повинен збігатися з центром мас завантаження барабана; центр жорсткості системи пружних опор повинен збігатися з центром ваги платформи, а головні осі жорсткості - з головними центральними осями інерції платформи; головні осі постійних в'язкого тертя повинні збігатися з головними центральними осями інерції платформи.

Дослідження створеної математичної моделі машини барабанного типу з вертикальним ротором методами імітаційного моделювання продемонстрували, що проведене удосконалення конструкції експериментальної установки приводить до зменшення її віброактивності.

Фінансування

Дослідження фінансувалось МОН України (Проект № 0120U102067).

References

1. Ribeiro, E. A., Pereira, J. T., & Bavastrì, C. A. (2015). Passive vibration control in rotor dynamics: optimization of composed support using viscoelastic materials. *Journal of Sound and Vibration*, 351, 43-56
2. Osinski, Z. (Ed.). (2018). *Damping of vibrations*. CRC Press.
3. Shen, Y., Chen, L., Yang, X., Shi, D., & Yang, J. (2016). Improved design of dynamic vibration absorber by using the inerter and its application in vehicle suspension. *Journal of Sound and Vibration*, 361, 148-158.
4. MacCamhaoil, M. (2016). Static and dynamic balancing of rigid rotors. *Brüel & Kjær application notes*, BO, 0276-12.

5. Goroshko, A., Ostaševičius, V., & Royzman, V. (2016). Balancing of turbomachine rotors by increasing the eccentricity identification accuracy. *Mechanics*, 22(3), 206-211.
6. Johnson, M.E., Nascimento, L.P., Kasarda, M., Fuller, C.R. (2003) The effect of actuator and sensor placement on the active control of rotor unbalance. *J Vib Acoust* 125:365–373
7. Santos, I.F., Watanabe, F.Y. (2004) Compensation of cross-coupling stiffness and increase of direct damping in multirecess journal bearings using active hybrid lubrication—part i: theory. *J Tribol* 126:146–155
8. Johnson, M.E., Nascimento, L.P., Kasarda, M., Fuller, C.R. (2003) The effect of actuator and sensor placement on the active control of rotor unbalance. *J Vib Acoust* 125:365–373
9. Santos, I.F., Watanabe, F.Y. (2004) Compensation of cross-coupling stiffness and increase of direct damping in multirecess journal bearings using active hybrid lubrication—part i: theory. *J Tribol* 126:146–155
10. S K Wan, X H Li, W J Su, et al. Active damping of milling chatter vibration via a novel spindle system with an integrated electromagnetic actuator. *Precision Engineering*, 2019, 57: 203-210.
11. Campos, R. O., Nicoletti R. (2015). Vibration reduction in vertical washing machine using a rotating dynamic absorber / *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 37.1: 339-348.
12. Drach I., Goroshko A., Dwornicka R. (2021) Design Principles of Horizontal Drum Machines with Low Vibration. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 15(2):258-268. <https://doi.org/10.12913/22998624/136441>

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе



Підп. до друку 28.04.2022. Ум. друк. арк. – 12,88. Обл.-вид. арк. – 11,36.
Формат 30×42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № 014/22

Тиражування здійснено з оригінал-макета редакційно-видавничим відділом
Хмельницького національного університету.
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1, тел. (0382) 77-33-63.
Свідоцтво про внесення в Державний реєстр, серія ДК № 4489 від 18.02.2013 р.