

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В
ЕНЕРГЕТИЦІ ІМ. Г.Є. ПУХОВА**



**XXXIX
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СПЕЦІАЛІСТІВ
ІНСТИТУТУ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В
ЕНЕРГЕТИЦІ ІМ. Г.Є. ПУХОВА НАН УКРАЇНИ**



Збірник тез конференції
12 травня 2021 р.

Київ – 2021

УДК 621.3 + 004 + 519.6 : 620.9

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України
(протокол №7 від 27 травня 2021 р.)

Організаційний комітет:

В.В. Мохор, В.О. Артемчук, С.Ф. Гончар, А.В. Яцишин та ін.

Програмний комітет:

В.В. Мохор, В.О. Артемчук, С.Ф. Гончар, О.О. Попов та ін.

Відповідальні за випуск:

В.О. Артемчук, С.Ф. Гончар

Зб. тез XXXIX науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 12 травня 2021 р. / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2021. – 147 с.

© Автори публікацій, 2021

© Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2021

ЗМІСТ

В.В. Шкарупило, І.В. Блінов ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПЕРЕВІРКИ НА МОДЕЛІ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ СУБ'ЄКТІВ РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	7
В.А. Євдокімов МУЛЬТИАГЕНТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ У НОВИХ УМОВАХ РОБОТИ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ	10
В.Є. Терехов, В.С. Подгуренко ОЦІНКА СПОСОБІВ ПЕРЕРАХУНКУ РОЗПОДІЛУ ШВИДКОСТЕЙ ВІТРУ ДО ВИСОТИ ОСІ ВІТРОКОЛЕСА ВЕУ	13
Ю.О. Кириленко, І.П. Каменева МОДЕЛЮВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОДІЙ ІЗ РОЗЛИВОМ РІДКИХ РАДІОАКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	17
Я.П. Лукашевич ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДПУСКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВИРОБНИКАМИ З АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	22
В.В. Горський ВИБІР МЕТОДУ РОЗПОДІЛУ СПІЛЬНИХ ПОВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ У КОМБІНОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЕНЕРГОНОСІВ НА ТЕЦ	26
S.S. Shevchenko CENTRIFUGAL MACHINES DYNAMIC SYSTEM "ROTOR – GROOVE SEALS" MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT	29
Т.А. Узденов АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ В DESKTOP GRID	32
В.О. Березниченко ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЄМНІСНИХ СЕНСОРІВ	35
Д.О. Дімітрієва, І.П. Каменева АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ЗНАЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ ФАХІВЦІВ В СФЕРІ ЯДЕРНОЇ ТА РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ	39
А.В. Давидюк СПОСІБ АНАЛІЗУВАННЯ РИЗИКІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЇХ ЗВ'ЯЗКІВ	43
Є.В. Болтов R-CNN ДЕТЕКТОР ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИБІРКОВОГО ПОШУКУ	44
Г.В. Анфімова КАЛІБРУВАННЯ АПАРАТУРИ РЕЄСТРАЦІЇ МІКРОСЕЙСМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЕМОНСТРАТОРА НИЗЬКОЧАСТОТНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ВІБРОКАЛІБРУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	46

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський, І.П. Криворучко ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНИХ ВИМІРЮВАНЬ У ТЕЧЕШУКАЧАХ А-20Т ТА А-10Т ПРИ ПОШУКУ ВИТОКІВ ТРУБОПРОВІДІВ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ	48
М.Ю. Комаров, С.Ф. Гончар, А.В. Ониськова, В.В. Ткаченко, С.М. Сергєєв АНАЛІЗ ЗАСОБІВ КІБЕРЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	50
А.В. Ониськова, С.Ф. Гончар, М.Ю. Комаров, В.В. Ткаченко, С.М. Сергєєв ДОСЛІДЖЕННЯ ПАКЕТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КІБЕРБЕЗПЕКИ ТА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ.....	52
С.М. Сергєєв, С.Ф. Гончар, А.В. Ониськова, В.В. Ткаченко, М.Ю. Комаров АНАЛІЗ КІБЕРАТАК НА РІВНІ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	53
В.В. Ткаченко, С.Ф. Гончар, А.В. Ониськова, М.Ю. Комаров, С.М. Сергєєв АНАЛІЗ УРАЗЛИВОСТЕЙ ДО КІБЕРАТАК ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	55
І.В. Коцюба, М.М. Чайкін НЕОБХІДНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАКОНОДАВЧОГО РЕГУЛЮВАННЯ РИЗИК - ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ПРИ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ	57
Б.М. Плєскач ОЦІНКА ПРИХОВАНИХ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ	60
В.Ю. Шулик МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ПРОДУКЦІЇ В СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ІНДУСТРІЇ 4.0	63
С.Я. Гільгурт, О.С. Потенко ПІДХОДИ ДО АПАРАТНОГО ПРИСКОРЕННЯ СИГНАТУРНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ.....	65
І.О. Dubovkina ORIGINAL ECOLOGY UNINTERRUPTED MODE OF WATER TREATMENT.....	66
Д.А. Адаменко, А.В. Писаренко МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ РОЗРЯДІВ ТА АНАЛІЗУ ОТРИМАНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ	67
Є.С. Чернозьомов ЗАСОБИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ПРОМЕНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ.....	79
Є.О. Зайцев, В.В. Кучанський ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА КОРОНУВАННЯ ПРОВІДІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ	81
В.В. Кучанський, Д.О. Малахатка ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ КЕРОВАНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ МАГІСТРАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ	84

В.Ю. Шулик

ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ НА ПРИКЛАДІ СМАРТ
ФАБРИКИ 87

С.В. Грецьких

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ОДНОРІДНОГО СТАТИЧНОГО МАГНІТНОГО
ПОЛЯ В ОКОЛИЦІ СТАЛЕВОЇ КОЛОНИ ЦИЛІНДРИЧНОГО І ПРЯМОКУТНОГО
ПЕРЕТИНУ 90

Є.В. Парус, І.В. Блінов

МОДЕЛІ РЕЗЕРВУВАННЯ ПОСЛУГ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ОЕС УКРАЇНИ У
ФУНКЦІЯХ ЦІНОУТВОРЕННЯ РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ..... 91

О.О. Огір

СИНТЕЗ АМПЛІТУДНО-ФАЗОВОЇ АКУСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ 96

А.О. Запорожець

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ НА
ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ..... 98

В.В. Сичова, П.В. Шиманюк

ЗАСТОСУВАННЯ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ГРАФІКІВ СУМАРНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО
НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ЇХ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ... 101

Ю.О. Фуртат

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПОЛІВ, ЩО ОПИСУЮТЬСЯ
РІВНЯННЯМИ ПАРАБОЛІЧНОГО ТИПУ 104

А.В. Полухін

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНОВОЇ ПОЗИЦІЇ
СУБ'ЄКТІВ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА РИНКУ «НА ДОБУ НАПЕРЕД»..... 106

В.В. Новодворський, А.М. Ковба, М.П. Швед, Д.М. Швед

КЕРОВАНІЙ ПРОЦЕС ЕКСТРУЗІЇ ПОЛІМЕРІВ 108

О.О. Бакалинський, Д.В. Пахольченко, Т.М. Сапожнік

НОРМАТИВНИЙ АСПЕКТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРЗАХИСТУ 111

Д.В. Савельєв

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ТА ЇХ ОЦІНКА У ПРОЕКТАХ РОЗРОБКИ
ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 113

І.П. Криворучко

ВУЗОЛ ОБЕРТАННЯ ІСКРОУТВОРЮВАЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ УСТАНОВКИ
“ІСКРА” З ЦИФРОВИМ УПРАВЛІННЯМ..... 116

С.В. Дубровський

МОДЕЛІ ТА КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК..... 117

В.О. Лаушкін, А.В. Писаренко

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МАГНІТНИМ МІКРОРОБОТОМ ДЛЯ ДОПРАВЛЕННЯ
ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ ВСЕРЕДИНІ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ 118

А.В. Яцишин, О.О. Попов, В.О. Артемчук, В.О. Ковач, Анна В. Яцишин, В.В. Коваленко МАТЕМАТИЧНІ ПІДХОДИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ВПЛИВУ МІСЦЬ ЗБЕРІГАННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	126
А.О. Лспацьєв ВИВІД ЗНАЧЕНЬ СТРУМІВ І НАПРУГ НА МНМОСХЕМІ ПРИ АВТОМАТИЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ ДАНИХ МОДЕЛІ РЕЖИМУ	130
Ю.О. Кириленко, І.П. Каменева, В.О. Артемчук, О.О. Попов, А.В. Яцишин, В.О. Ковач МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИПАРОВУВАННЯ РАДІОАКТИВНОЇ РІДИНИ В РЕЗУЛЬТАТІ АВАРІЙНОГО РОЗЛИВУ В ПРИМІЩЕННІ РАДІАЦІЙНО- НЕБЕЗПЕЧНОГО ОБ'ЄКТУ	132
В.В. Станиціна СЕРЕДНЬОЗВАЖЕНА СОБІВАРТІСТЬ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ВІД ГРУНТОВИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ	135
В.О. Гурєєв ВЕБ-ОРІЄНТОВАНІ ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛУ В ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ	138
О.О. Попов, В.О. Ковач, В.О. Артемчук, А.В. Яцишин, Анна В. Яцишин, В.В. Коваленко, О.М. Коваленко АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПРИ АВАРІЙНОМУ ФОНТАНУВАННІ ГАЗОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ.....	140
Є.М. Лисенко ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУЮВАННЯ ТРЕНУВАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.....	144

ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПЕРЕВІРКИ НА МОДЕЛІ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ СУБ'ЄКТІВ РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Сьогодні в Україні введена лібералізована модель ринку електричної енергії, що заснована на функціонуванні організованих сегментів, зокрема ринку «на добу наперед» та балансуєчого ринку [9, 10], робота яких забезпечується відповідними інформаційно-технологічними системами. Постійні процеси реформування ринкових відносин обумовлюють потребу у розробленні математичного апарату для отримання достовірних оціночних даних відповідних процесів, наприклад, імітаційних моделей сегментів ринку електроенергії [2, 11]. Разом із цим, потенційні наслідки непередбачених на етапі проєктування сценаріїв функціонування зазначених систем можна охарактеризувати як "критичні" – такі, що супроводжуються, зокрема, значними матеріально-технічними втратами при експлуатації. Прикладом сценаріїв такого функціонування є зміни до правил роботи окремих сегментів ринку, що обумовлює внесення змін у роботу інформаційно-технологічних систем та може призвести до суттєвих втрат учасників ринку. Це дає підстави характеризувати такі системи як системи критичного призначення (СКП). Дієвим засобом своєчасного виявлення критичних помилок прийнятих проєктних рішень є застосування формальних методів, а саме – методів перевірки на моделі, відмінною рисою яких є розвинуті засоби прикладного автоматизованого використання [1]. Показовою у даному контексті є, наприклад, атомна енергетика Фінляндії, де прикладне застосування методів перевірки на моделі має місце, починаючи із 2008 р. [5]. При цьому постає потреба розроблення засобів автоматизації процесу синтезу формальних специфікацій (ФС) проєктних рішень. Більше того, зазначається актуальність вибору достатнього рівня деталізації ФС, за якого супутні процесу формальної верифікації (ФВ) часові витрати були б прийнятними, а одержуваний у результаті цього корисний ефект – значимим [6]. У свою чергу, ФС – вихідні дані для застосування методу перевірки на моделі. При проєктуванні інформаційно-технологічних систем суб'єктів ринку електроенергії України у якості методу перевірки на моделі пропонується застосовувати поширений метод TLC (TLA Checker), що базується на опрацюванні ФС, синтезованих на основі темпоральної логіки дій TLA (Temporal Logic of Actions) та відповідних виразних засобів – алгоритмічної мови PlusCal та формалізму TLA+ [3, 4].

Результати попередньо проведених досліджень показали доцільність комбінування шляхів реалізації названого методу у контексті ітераційного підходу до проєктування СКП – на прикладі блок-схеми алгоритму контролю вихідного стану регістрів пристрою введення/виведення бортового цифрового обчислювального комплексу [12]. Отримані дані зведено в табл. 1.

Результати дослідження

№ з/п	n , шт.	Показники складності вирішуваної задачі			
		\bar{t}_{BFS} , с	\bar{t}_{DFS} , с	$\frac{\bar{t}_{BFS}}{\bar{t}_{DFS}}$	$depth$, вершин
1	4	0,893	0,437	2,043	10
2	6	0,929	0,477	1,948	15
3	7	0,957	0,554	1,727	18
4	7	0,969	0,578	1,676	19
5	8	1,001	0,788	1,270	22
6	10	1,140	1,505	0,757	27
7	11	1,448	2,577	0,562	30
8	11	1,468	2,674	0,549	31
9	12	1,682	4,818	0,349	34
10	14	2,460	19,751	0,125	39
11	15	3,552	44,575	0,080	42
12	15	3,560	53,226	0,067	43
13	16	5,370	105,340	0,051	46
14	17	9,666	273,970	0,035	49
15	18	17,127	581,860	0,029	52

У табл. 1 n – число змінних станів системи переходів (СП), заданої ФС; \bar{t}_{BFS} та \bar{t}_{DFS} – показники обчислювальної складності вирішуваної задачі ФВ. При цьому \bar{t}_{BFS} – часові витрати на ФВ при обході вершин графу СП згідно алгоритму обходу у ширину (BFS, Breadth-first Search) теорії графів, \bar{t}_{DFS} – згідно алгоритму обходу у глибину (DFS, Depth-first Search). Показник $depth$, у свою чергу, є показником просторової складності – глибина обходу простору станів СП. Із табл. 1 видно, що для $n = 4, \dots, 8$, згідно показника $\bar{t}_{BFS} / \bar{t}_{DFS}$, ефективнішою, з позиції супутніх ФВ часових витрат, є DFS-реалізація методу TLC – від 2,043 – до 1,270 разів відповідно.

Попередньо було показано, що, у залежності від структури ФС, гранична точка (значення n), за якої ефективнішим стає застосування BFS-реалізації методу, змінюється [7, 8]. Це, у свою чергу, обумовлює актуальність предметного дослідження специфіки застосування методу TLC по відношенню безпосередньо до сценаріїв роботи інформаційно-технологічних систем суб'єктів ринку електроенергії України.

Отже, отримані результати проведених досліджень показали, що часові витрати на прикладне застосування методу перевірки на моделі TLC істотним чином залежать як від застосовуваного алгоритму обходу вершин графу СП,

заданої ФС, так і від числа змінних станів СП. Відзначено також, що істотний вплив вносить також і структура ФС. З позиції ефективності прикладного використання методу TLC, зазначені результати актуалізують проведення предметного дослідження – у напрямі ФВ проєктних рішень систем суб'єктів ринку електроенергії, критичність наслідків незапланованих сценаріїв функціонування яких не викликає сумнівів та потребує попередньої оцінки.

- [1] Clarke E.M., Grumberg O., Kroening D., Peled D., Veith H. Model checking: 2nd ed. Massachusetts: The MIT Press, 2018.
- [2] Ivanov H., Blinov I., Parus Ye. Simulation Model of New Electricity Market in Ukraine// 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). 2019. P. 339-342. DOI: <https://doi.org/10.1109/ESS.2019.8764184>
- [3] Lamport L. The PlusCal algorithm language. Theoretical Aspects of Computing : 6th Int. Colloquium, part of LNCS, (Kuala Lumpur, Malaysia, Aug. 2009). 2009. Vol. 5684. P. 36-60.
- [4] Lamport L. Specifying systems: The TLA+ language and tools for hardware and software engineers. Boston : Addison-Wesley, 2002. 382 p.
- [5] Pakonen A., Tahvonen T., Hartikainen M., Pihlanko M. Practical applications of model checking in the Finnish nuclear industry. Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human Machine Interface Technologies : Proc. 10th International Topical Meeting (San Francisco, CA, USA, 11-15 June 2017). P. 1342-1352.
- [6] Resch S., Paulitsch M. Using TLA+ in the Development of a Safety-Critical Fault-Tolerant Middleware. Software Reliability Engineering Workshops : Proc. 2017 IEEE International Symposium (Toulouse, France, 23-26 October 2017). P. 146-152. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSREW.2017.43>
- [7] Shkarupylo V. V., Tomičić I., Kasian K. M. The investigation of TLC model checker properties. Journal of Information and Organizational Sciences. 2016. Vol. 40, No. 1. P. 145-152.
- [8] Shkarupylo V. V., Tomičić I., Kasian K. M., Alsayaydeh J. A. J. An Approach to increase the Effectiveness of TLC Verification with Respect to the Concurrent Structure of TLA+ Specification. International Journal of Software Engineering and Computer Systems. 2018. Vol. 4, No. 1. P. 48-60. DOI: <https://doi.org/10.15282/ijsecs.4.1.2018.4.0037>
- [9] Іванов Г.А., Блінов І.В., Парус Є.В. Комплексна розрахункова модель ринку на добу наперед та балансуючого ринку електроенергії України// Промелектро. 2016. № 4-5. С. 8–12.
- [10] Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Е.В. Визначення результатів аукціону з купівлі-продажу електричної енергії. Проблеми загальної енергетики. 2010. № 3. С. 5 – 12.
- [11] Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В., Іванов Г.А. Імітаційна модель ринку електричної енергії «на добу наперед» з неявним врахуванням мережевих обмежень енергетичних систем // Технічна електродинаміка. 2019. № 5. С. 60-67. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.05.060>
- [12] Шкарупило В.В., Чемерис О.А., Душеба В.В., Кудерметов Р.К. Дослідження мультиточоточної реалізації методу перевірки на моделі для темпоральної логіки дій. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вєрнадського, серія «Технічні науки». 2020. Том 31 (70), № 6, Ч. 1. С. 173-177. DOI: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/28>

МУЛЬТИАГЕНТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ У НОВИХ УМОВАХ РОБОТИ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

Перехід до нової моделі ринку е/е України відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» є закономірним результатом його розвитку відповідно до прийнятої раніше Концепції функціонування та розвитку оптового ринку е/е України. І разом з тим, частиною загальної тенденції зміни основних принципів функціонування ринків е/е в країнах Європейського союзу, США, Австралії, Росії і багатьох інших. Процес реформування ринку е/е України відповідно до світових тенденцій розвитку енергоринків, що почався ще в наприкінці 90-х років, завершився переходом з 01.06.2019 р. до відомої моделі його організації «Конкуренція на всіх рівнях».

У сьогоdnішніх умовах, які можна назвати умовами розвитку ринкового ціноутворення на е/е, питання з приводу формування цін продажу е/е виробниками для подальшої подачі у вигляді торгових заявок на різні сегменти ринку е/е є одними з найбільш важливих. Оскільки багато в чому визначають фінансові результати їх роботи на ринку. У зв'язку з цим в нових умовах функціонування ринку е/е постає питання розроблення та дослідження методичного інструментарію для підготовки і прийняття рішень про ціни в торгових заявках на поставку е/е та системних послуг на новоутворені сегменти ринку: на добу наперед (РДН); внутрішньодобовий ринок (ВДР); ринок двосторонніх договорів (РДД); ринок допоміжних послуг (РДП); балансуючий ринок (БР). Саме на кожному з цих сегментів ринку існують свої особливості функціонування та ризики при формуванні рівноважних цін. В кінцевому підсумку це є питання формування стратегії ціноутворення генеруючих компаній (ГК) на них і в цілому, на ринку, яке набуває особливої важливості як в частині аналізу застосовуваних раніше методик, так і в частині розробки нових алгоритмів та методик на їх основі, що відповідають новим Правилам ринку [1].

В роботі [1] до числа актуальних теоретичних і прикладних проблем загальної проблеми вдосконалення методів і засобів математичного і комп'ютерного моделювання, призначених для аналізу функціонування складної організаційно-технічної системи (СОТС), віднесено проблему підвищення ефективності механізмів функціонування СОТС при управлінні ними в швидкозмінних умовах існування і проведення інституційних змін у взаєминах між її підсистемами і з суб'єктами управління господарською діяльністю у зовнішньому середовищі.

Там же було виділено підсистему управління ціноутворенням як окрему СОТС загальної системі організаційного управління (СОУ) ринком електричної енергії (е/е), а процес ціноутворення в цій підсистемі в якості

об'єкта дослідження. Обґрунтовано актуальність та необхідність створення імітаційної моделі процесу ціноутворення на ринку е/е з безпосереднього участю суб'єктів ринку, основним призначенням якої є дослідження науково-практичної проблеми удосконалення методичного інструментарію розрахунку цінних показників на різних його сегментах. На основі аналізу сучасних методів імітаційного моделювання процесів управління в виділеній СОТС обґрунтовано вибір мультиагентного підходу, в якості основного, для побудови імітаційної моделі децентралізованої взаємодії його суб'єктів на ринку е/е в процесі ціноутворення.

Мультиагентний підхід знаходить все більше застосування в електроенергетичній сфері в зв'язку з необхідністю вирішення нових практичних задач, які виникають із впровадженням ринкових механізмів на ринку е/е. Це, в першу чергу, стосується питань, пов'язаних із запровадженням децентралізованого принципу управління ринком е/е, зокрема управління динамічним процесом ціноутворення, коли існує велика кількість учасників (агентів), які вирішують свої поставлені цілі (стратегія роботи) і очевидно істотно впливають на процес ціноутворення. Зазначені цілі можуть співпадати (наприклад, отримання максимального доходу) і навпаки бути різними по відношенні до роботи ринку е/е (наприклад, виробляти е/е не залежно від її вартості, що притаманно альтернативним джерелам енергії). В роботі [2] на основі проведеного аналізу літературних джерел присвячених застосуванню мультиагентного підходу до вирішення проблем в електроенергетичній сфері наведено обґрунтування його вибору для побудови імітаційної моделі процесів ціноутворення на ринку е/е.

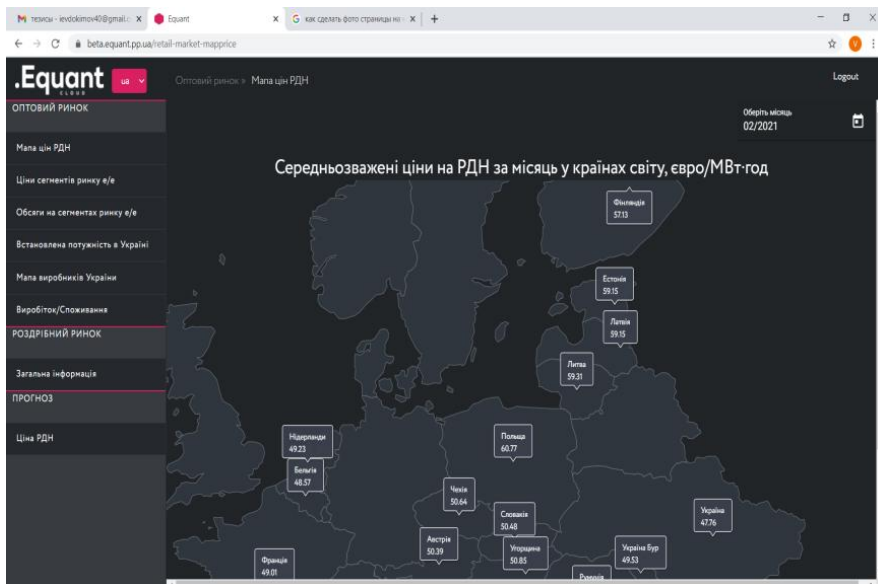
Практична реалізація цього підходу реалізована у програмному комплексі Equant Cloud, який на сьогоднішній день, проходить стадію тестування, але може вже використовуватися для прийняття відповідних управлінських рішень для учасників ринку електричної енергії України.

Equant Cloud - це інноваційна програмно-апаратна інформаційно-розрахункова комп'ютерна система, яка надає можливість учасникам – агентам ринку е/е України в онлайн-режимі вирішувати завдання інформаційного забезпечення та проведення розрахунків задач моделювання процесів ціноутворення, прогнозування показників динаміки функціонування як оптового, так і роздрібного ринку, а також формувати стратегії поведінки агентів з урахуванням ризиків.

Концептуальний мультиагентний підхід, який закладено в основу розробки програмного забезпечення системи, забезпечує створення мультиагентного середовища для організації інформаційної взаємодії агентів ринку між собою і зовнішнім середовищем - реально діючої інформаційно-технологічною інфраструктурою ринку.

Комп'ютерна система призначена як для вирішення поточних завдань планування виробництва е/е та управління електроспоживанням, так і для досліджування різних сценаріїв еволюційного розвитку системи ціноутворення на оптовому і роздрібному ринках при різних припущеннях

про вдосконалення регуляторних механізмів, інституційних норм з урахуванням технологічних змін в структурі виробництва е/е в майбутньому.



Мал. 1. Меню комп'ютерної системи *Equant Cloud*.

- [1] Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг. Про затвердження Правил ринку. Постанова №307 від 14.03.2018 р. [Електронний ресурс] : [сайт] Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18/page#Text> - (Дата звернення: 10.10.19).
- [2] Мохор В.В., Про створення мультиагентної імітаційної моделі процесів ціноутворення на ринку електроенергії / В.В. Мохор, В.А. Євдокімов // Електронне моделювання. – 2020. – Том 42, №6. – С. 3-17.

ОЦІНКА СПОСОБІВ ПЕРЕРАХУНКУ РОЗПОДІЛУ ШВИДКОСТЕЙ ВІТРУ ДО ВИСОТИ ОСІ ВІТРОКОЛЕСА ВЕУ

Вибір вітроелектричних установок (ВЕУ) під конкретні вітрові умови неможливий без визначення вітрового потенціалу на висоті осі вітроколеса (ВК), яка може не співпадати з висотами вітрових вимірювань. Для вирішення задач вітроенергетики необхідні: середньорічна швидкість вітру \bar{v} , повторюваності швидкостей вітру i -х градацій, типи та параметри функцій розподілу $f(v)$, найбільшого поширення серед яких у вітроенергетиці отримала відома двох параметрична диференціальна функція розподілу Вейбулла – Гніденко (РВГ):

$$f(v) = \frac{c}{b} \left(\frac{v-a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{v-a}{b} \right)^c \right],$$

де: b, c – параметри масштабу та форми відповідно.

Постає задача перерахунку параметрів вітрового потенціалу на висоті вимірювань на довільну висоту приземного шару атмосфери.

Задача перерахунку середніх швидкостей вітру \bar{v}_Φ з висоти флюгеру h_Φ на висоту осі ВК h_0 часто вирішується застосуванням відомого закону Хеллмана у ступеневій формі з безрозмірним показником ступеню m , значення якого залежить від стійкості атмосфери, температурної стратифікації і шорсткості підстильної поверхні.

Якщо наявний розподіл швидкостей вітру представлений у вигляді таблиць дискретних градацій, найбільш простим та надійним способом визначення параметрів вітрового потенціалу на висоті h_0 є перерахунок швидкостей вітру i -х градацій v_i на задану висоту на підставі визначеного показника m :

$$v_{0i} = v_{\Phi i} \left(\frac{h_0}{h_\Phi} \right)^m, \quad (1)$$

де: v_{0i} та $v_{\Phi i}$ – швидкості вітру i -х градацій на висоті h_0 та h_Φ відповідно.

У зв'язку із значною поширеністю застосування у вітроенергетиці РВГ, постала задача встановлення взаємозв'язку між ступеневим законом та параметрами РВГ, яка була вперше вирішена Justus та Mikhail [1] шляхом визначення наступних емпіричних залежностей:

$$c_0 = c_\phi \frac{1 - 0,088 \ln \left(\frac{h_\phi}{10} \right)}{1 - 0,088 \ln \left(\frac{h_0}{10} \right)}, \quad b_0 = b_\phi \left(\frac{h_0}{h_\phi} \right)^{m_j}, \quad m_j = \frac{0,37 - 0,0881 \ln b_\phi}{1 - 0,0881 \ln \left(\frac{h_\phi}{10} \right)}, \quad (2)$$

де: c_ϕ , b_ϕ , c_0 , b_0 – параметри РВГ на висоті h_0 та h_ϕ відповідно.

Суттєвою перевагою способу Justus та Mikhail є достатність проведення вітрових вимірювань тільки на одній висоті h_ϕ , але додаткова перевірка цього методу виявила досить низьку його точність.

Врахувати особливості зміни параметрів РВГ з висотою для конкретної місцевості можливо за результатами вимірювань на декількох висотах (не менше трьох) h_{a1} , h_{a2} , ..., h_{an} шляхом застосування апроксимації параметрів РВГ ступеневою залежністю [2]:

$$c_0 = c_a \left(\frac{h_0}{h_a} \right)^{m_c}, \quad b_0 = b_a \left(\frac{h_0}{h_a} \right)^{m_b}, \quad (3)$$

де: m_c , m_b – апроксимаційні ступеневі показники.

В задачах вітроенергетики параметри РВГ найчастіше використовуються для визначення річного виробітку ВЕУ, отже доцільно спочатку визначити умовні річні виробітки Q_a або середні потужності \bar{P}_a ВЕУ на висотах проведених вимірювань, з подальшим застосуванням апроксимації ступеневою залежністю [3]:

$$\bar{P}_0 = \bar{P}_a \left(\frac{h_0}{h_a} \right)^{m_p}, \quad (4)$$

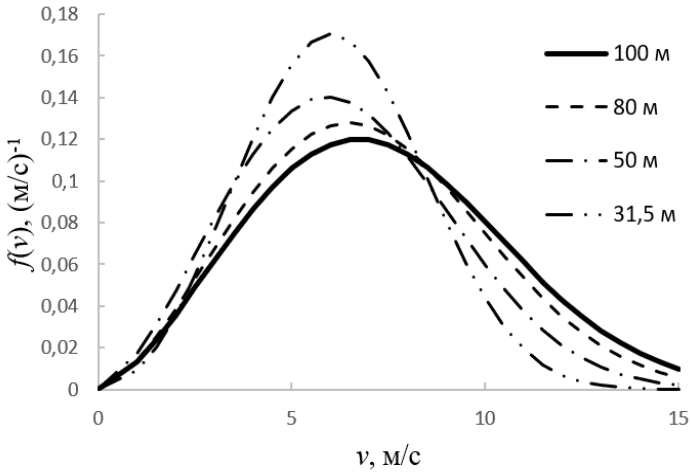
де \bar{P}_0 – обчислена потужність на висоті h_0 ; m_p – апроксимаційний ступеневий показник.

За результатами синхронних висотних вимірювань біля с. Іванівка та с. Шостакове Миколаївської області на висотах 50, 80 та 100 м (рис.1) та обчислення річного виробітку Q ВЕУ FL 2500–100 було складено рейтинг розглянутих способів за критерієм середньої похибки апроксимації відповідних математичних моделей (рис. 2).

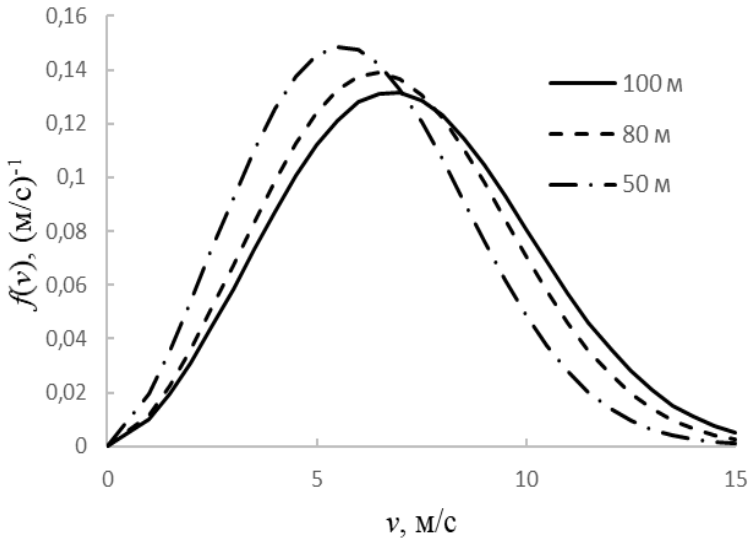
Обчислення річного виробітку Q FL 2500–100 проводилося за формулою:

$$Q = \int_3^{25} p(v) f(v) dv, \quad (5)$$

де: $p(v)$ – крива потужності ВЕУ в вигляді поліному 5-го ступеню [4].

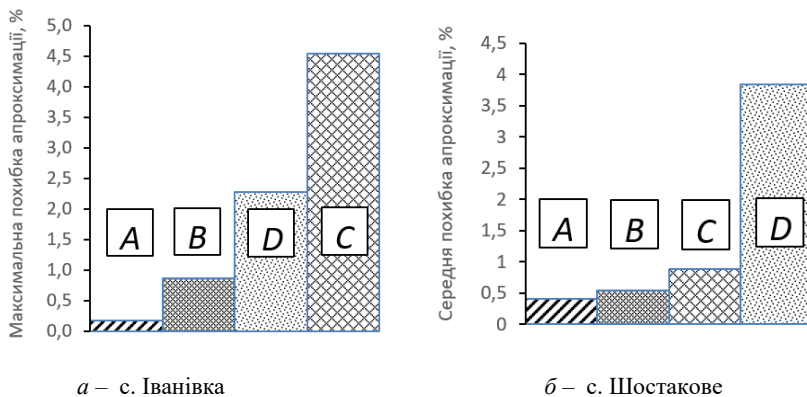


a – с. Іванівка



б – с. Шостакове

Рис. 1. Розподіл повторюваності швидкостей вітру



а – с. Іванівка
 б – с. Шостакове
 де, А – ступенева залежність середньої потужності (4); В – ступенева залежність параметрів РВГ (3); С – метод Justus & Mikhail (2); D – перерахунок градації швидкостей вітру (1)

Рис. 2. Оцінка способів за результатами визначення вітрового потенціалу на заданій висоті

Висновки

1. Вперше узагальнено та досліджено відомі способи перерахунку розподілу швидкостей вітру до висоти осі ВК ВЕУ.
2. Виявлено залежність точності досліджених способів від параметрів конкретного розподілу швидкостей вітру.
3. За результатами синхронних висотних вимірювань вітрових потоків Північного Причорномор'я виявлено найкращу точність перерахунку у способу ступеневої залежності середньої потужності генерації ВЕУ.

- [1] Justus C., Mikhail A. Height variation of wind speed and wind distributions statistics. Geophysical Research Letters, vol. 3, No. 5, 1976, pp. 261-264.
- [2] Bezrukovs V.P., Bezrukovs V.V., Zacepins A. J. Comparative efficiency of wind turbines with different heights of rotor hubs: performance evaluation for Latvia. Journal of Physics: Conference Series 524, 2014, 9 p. doi:10.1088/1742-6596/524/1/012113
- [3] Патент на корисну модель №135302 Укр., F03 1/00 GOIP 5/00. Спосіб оцінювання виробітку вітряної електричної турбіни / Подгуренко В.С., Терехов В.С., Гетманець О.М., Черепанов А.І., опубл. 25.06.2019р., Бюл. №12.
- [4] Podhurenko V., Kovshova I., Terekhov V., Dubovyk N. Evaluation of efficiency of wind power plants operation in wind conditions of the Northern Black Sea region of Ukraine. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, Volume 628, 2021, p. 1-8.

МОДЕЛЮВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОДІЙ ІЗ РОЗЛИВОМ РІДКИХ РАДІОАКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Вступ. У світовій практиці сучасні програмні засоби (програма регулюючого органу США RAMP) та системи підтримки прийняття рішень використовуються як в контексті аналізу безпеки енергоблоків АЕС так і для забезпечення аварійної готовності та реагування на надзвичайні ситуації, пов'язані з викидами та скидами радіоактивних речовин в навколишнє середовище. Нормативні документи України та документи експлуатуючої організації ДП НАЕК «Енергоатом» [1]-[8] включають в себе основні вимоги щодо проведення оцінки радіаційних наслідків порушень нормальної експлуатації, проектних і поза-проектних аварій на АЕС.

У світлі проведення імовірнісного аналізу безпеки для енергоблоків українських АЕС та введення вимог НРБУ-97/Д-2000 [5] щодо потенційного опромінення населення, в останні десятиріччя події із розливом рідких радіоактивних середовищ (РРС) на АЕС розглядаються як порушення нормальної експлуатації, які потребують додаткових досліджень.

Перелік подій та критерії оцінки. В рамках оцінки порушень нормальної експлуатації із розливом РРС на АЕС України в загальному випадку можна виділити наступні можливі події:

- пошкодження ємності високоактивних сорбентів у приміщенні зберігання рідких відходів;
- розуцільнення випарного апарата установки з переробки трапних вод у приміщенні спецкорпусу;
- розуцільнення випарного апарата з переробки брудного конденсата з виходом середовища в приміщення спецкорпусу;
- пошкодження баку брудного конденсату з виходом середовища в приміщення спецкорпусу;
- пошкодження трапного баку з виходом середовища в приміщення спецкорпусу або зберігання рідких відходів;
- пошкодження ємності кубового залишку з виходом середовища в приміщення спецкорпусу.

Відповідно до НРБУ-97/Д-2000 [5], для даних подій діє критерій прийнятності як для умов поточного опромінення населення, а саме 40 мкЗв на рік з урахуванням всіх шляхів опромінення (за межами санітарно-захисної зони АЕС).

Модель джерела викиду. Згідно з результатами проведеного аналізу інцидентів із розливом РРС у технологічних приміщеннях та їх радіаційних наслідків, огляду сучасних засобів оцінювання впливу та вимог до оцінки радіаційних наслідків [9], [10] проведено дослідження щодо підготовки

вихідних даних та інтеграції ряду засобів моделювання в систему підтримки прийняття рішень RODOS. З цією метою розроблено математичну модель характеристик джерела викиду, яка обчислює миттєву об'ємну концентрацію радіонуклідів у повітрі технологічного приміщення та визначає потужності атмосферного викиду при аваріях із розливом РРС [11].

Розроблена математична модель базується на елементах теорії нестационарного тепло- та масообміну при випаровуванні з поверхні рідини, недогрітої до температури кипіння. Фізична модель включає наступні об'єкти: РРС, радіоактивна паро-аерозольна суміш, повітряні середовища припливної та витяжної вентиляції, аерозольні фільтри, а також основні будівельні конструкції приміщення. До визначальних процесів в моделі належать процеси випаровування радіоактивної рідини, її винесення з приміщення повітрям припливно-витяжної вентиляції та частковий захват матеріалом фільтруючих засобів.

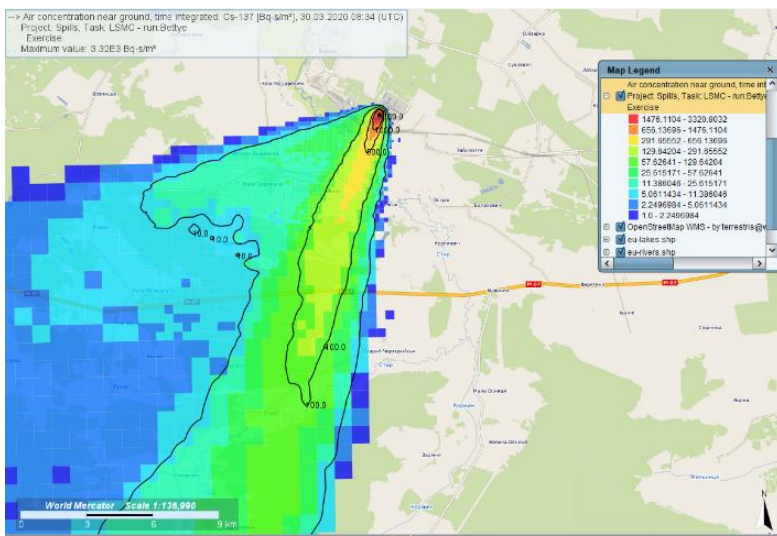
Для моделювання процесу формування характеристик та параметрів радіоактивного викиду в атмосферу щодо подій з розливом РРС обрано середовище MathCad, де при розв'язанні системи балансових диференціальних рівнянь чисельними методами отримуємо значення параметрів викиду.

Моделювання атмосферної дисперсії та оцінка доз. Викиди через технологічні приміщення спецкорпусу АЕС відбуваються через вентиляційну трубу висотою 100м. В практиці оцінювання для таких висот зазвичай використовують модель точкового джерела та спрощені гаусові моделі переносу з типовою параметризацією атмосферної дисперсії за Паскуїлом [7].

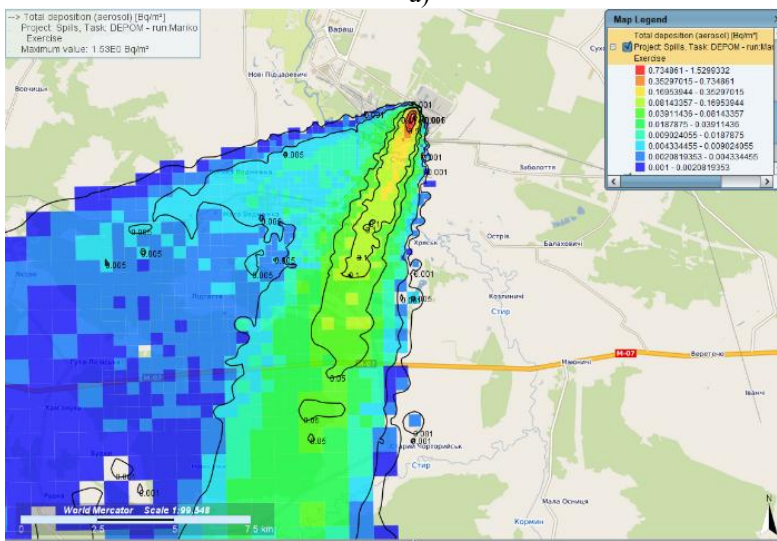
В умовах викиду з низьких труб бажано враховувати ефект аеродинамічного затінення від розташованих поряд приміщень на промайданчику АЕС. В методі покращеної оцінки застосовуються CFD/LES-моделювання. Зазначимо, що прецизійні моделі такого типу не використовують для аналітичного обґрунтування безпеки АЕС України [8].

Результати моделювання джерела викиду можуть бути використані як вихідні дані для подальшого моделювання атмосферної дисперсії та прогнозування доз опромінення для подій, пов'язаних з розливом рідких радіоактивних середовищ. Приклад такого розрахунку для гіпотетичної події в системі JRODOS наведено на рис. 1, 2.

Представлені розрахунки проведено за допомогою ланцюжка моделей локального масштабу системи JRODOS. Загальний обсяг активності викиду в атмосферу (переважно ^{60}Co та ^{137}Cs) оцінюється на рівні 2,5 ГБк



a)



b)

Рисунок 1 – Результати моделювання атмосферної дисперсії в системі JRODOS: інтегральна концентрація ^{137}Cs в приземному шарі повітря, отриманої за допомогою лагранжевої моделі LASAT (a), сумарні випадіння аерозолів в моделі DEPOM (b)

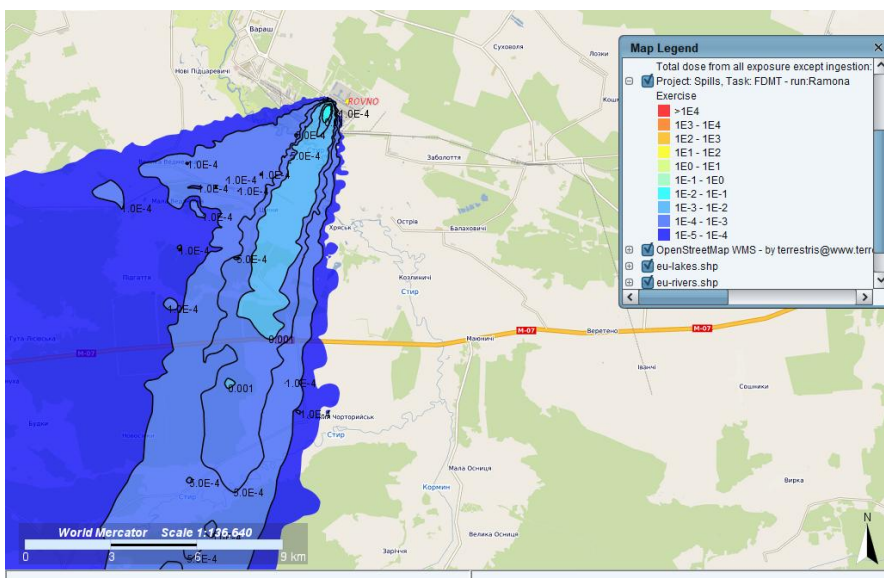


Рисунок 2 – Результати оцінки доз опромінення в системі JRODOS: річна ефективна доза з урахуванням усіх шляхів опромінення, крім харчового (референтний вік – діти)

Характеристики джерела викиду, представлені у вигляді погодинного радіонуклідного вектору, розглядалися як вихідні дані для отримання інтегральної концентрації в приземному шарі атмосфери. Для моделювання також було використано метеорологічні дані у форматі NetCDF як результати WRF з просторовою роздільною здатністю $0,05^\circ$, вибрані з чисельних сітв за останні 3 роки. Всі результати щодо розповсюдження радіоактивного матеріалу, а також оцінки дози проводились за найменшим розрахунковим розміром сітки 20 км.

Для вибраного гіпотетичного сценарію річні ефективні дози на 2,5 км (розмір санітарно-захисної зони навколо українських АЕС) не перевищують 3 мкЗв, що нижче встановленого річного рівня для населення 40 мкЗв. Згідно з результатами, значення випадень ^{137}Cs можуть становити близько $1,5 \text{ Бк/м}^2$ (без опадів). Забруднення ґрунту в основному обмежується майданчиком АЕС та ближньою зоною прилеглих територій.

Висновки. З метою інтеграції в систему підтримки прийняття рішень RODOS розроблено та досліджено математичну модель формування викиду при аваріях та небезпечних подіях, які супроводжуються розливом рідких радіоактивних речовин. За допомогою моделі можна відтворити динамічну картину щодо концентрацій радіонуклідів в повітрі аварійного приміщення та оцінки потужності викиду в навколишнє середовище.

Результати моделювання характеристик джерела викиду запропоновано використовувати як вихідні дані для подальшого моделювання атмосферної дисперсії та прогнозування доз опромінення при порушеннях нормальної роботи АЕС, пов'язаних з розливом рідких радіоактивних речовин.

Здійснено інтеграцію розроблених засобів в систему підтримки прийняття рішень RODOS. Наведено ряд прикладів використання моделі для прогнозування наслідків радіаційних аварій та інцидентів.

Практика застосування моделі джерела викиду підтвердила, що розроблена модель джерела викиду є ефективним інструментом для надання вихідних даних, необхідних для розрахунків радіологічних наслідків в системах підтримки прийняття рішень.

- [1] НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій
- [2] НП 306.2.162-2010 Вимоги до оцінки безпеки атомних станцій
- [3] Требования к содержанию отчета по анализу безопасности действующих на Украине энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР. Руководящий документ. Киев, 1995
- [4] Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Затверджено МОЗ Наказом №208 від 14 липня 1997р.
- [5] Норми радіаційної безпеки України, доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). Затверджено МОЗ Наказом №116 від 12 липня 2000 р.
- [6] Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005)
- [7] НП 306.2.173-2011. Вимоги щодо визначення розмірів і меж зони спостереження АЕС. Із змінами, внесеними згідно з Наказом Державної інспекції ядерного регулювання N 206/765 від 23.11.2015
- [8] Перечень разрешенных к использованию в ГП "НАЭК "Энергоатом" расчетных кодов для обоснования безопасности ядерных установок по состоянию на 01 февраля 2018 г. (введено в дію розпорядженням ДП НАЕК "Енергоатом" №137-р від 05.02.2018 р.);
- [9] Кириленко Ю. О. Особливості радіаційного впливу при аваріях із розливом рідких радіоактивних середовищ. – 3б. тез науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 16 травня 2018 р. / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2018. – С. 23-26
- [10] Каменева І. П., Кириленко Ю. О. Підготовка вихідних даних для задач моделювання радіаційного впливу при аваріях із розливом рідких радіоактивних середовищ 3б. тез VI міжнародної наукової конференції «Моделювання-2018», Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 12-14 вересня 2018 р. / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2018. – С. 162-165
- [11] Yurii Kyrylenko, Iryna Kameneva, Oleksandr Popov, Andrii Iatsyshyn, Volodymyr Artemchuk, Valeriia Kovach. Source Term Modelling for Event with Liquid Radioactive Materials Spill. Collective monograph "Systems, Decision and Control in Energy I". Springer. 2020.

Я.П. Лукашевич

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДПУСКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВИРОБНИКАМИ З АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Економіка, енергетика, екологія – сфери, що відіграють найважливішу роль у житті суспільства. Енергетика є визначальною, оскільки вона впливає на розвиток і економіки, і екології – значною мірою обумовлює економічний потенціал держави і добробут її населення, а також найбільше впливає на навколишнє середовище (будь-які екологічні проблеми прямо чи опосередковано пов'язані з виробництвом або використанням енергії).

Українська енергосистема була сформована в 80-х роках минулого століття. Їй більш як 40 років, і вона потребує капітального оновлення. Україна має обмежений доступ до традиційних паливно-енергетичних ресурсів (вугілля, нафта, газ), тому має імпортувати їх частину, що призводить до відтоку валюти та погіршення торгового балансу країни. Разом з тим активне використання ресурсів органічного палива призводить до їх вичерпання та зростання темпів забруднення довкілля.

Світова спільнота розглядає використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) як один із перспективних шляхів розв'язання проблем енергозабезпечення. Україна має значний потенціал відновлюваної енергетики, який може бути використаний, щоб покращити торговий баланс, створити робочі місця та стимулювати економічну діяльність за часів, коли країна має подолати важливі економічні виклики, такі як збільшення залежності від імпорту енергоносіїв та необхідність терміново оновити застарілі основні виробничі фонди в енергетиці. Розвиток відновлюваної енергетики також буде важливим внеском у досягнення встановлених політичних цілей – скорочення залежності від імпорту природного газу та диверсифікації джерел енергопостачання.

В останні роки в Україні спостерігається тенденція до збільшення використання електричної енергії з відновлювальних джерел, що стало можливим завдяки таким чинникам:

1) Законодавчі гарантії України для інвесторів в проекти ВДЕ, а саме встановлення одного з найвищих у світі «зелених» тарифів, що прив'язаний до курсу євро для захисту інвесторів від інфляційних ризиків, гарантія викупу 100% відпущеної електричної енергії на оптовому ринку за «зеленим» тарифом [1].

2) Курс України на євроінтеграцію і єдиний енергоринок з ЄС (міжнародні зобов'язання України перед Європейським Союзом щодо виконання Договору установи Енергетичного Співтовариства як гарантія захисту інвестицій в «зелену» енергетику, для чого в 2017 році Кабінетом Міністрів України була прийнята «Енергетична стратегія України», згідно

якої до 2035 року Україна планує збільшити частку відновлюваної енергетики в енергобалансі до 25%).

3) Міжнародні інвестиції в альтернативну енергетику України

У ВДЕ України вже інвестували Європейський банк реконструкції і розвитку, китайська державна корпорація CNBM. Також ДТЕК реалізовує масштабну інвестиційну програму в альтернативній енергетиці до 2030 року.

Таким чином, завдяки вище перерахованим факторам на сьогодні галузь ВДЕ в Україні нараховує вже 859 компаній та 1199 об'єктів енергетики. Їх встановлена потужність складає 6734 МВт, що становить 11,8% від встановлених електроенергетичних потужностей в ОЕС України [2] (рис. 1).

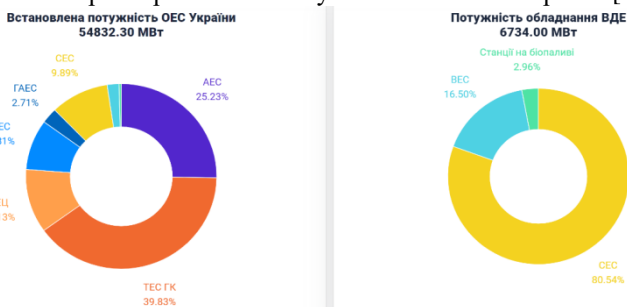
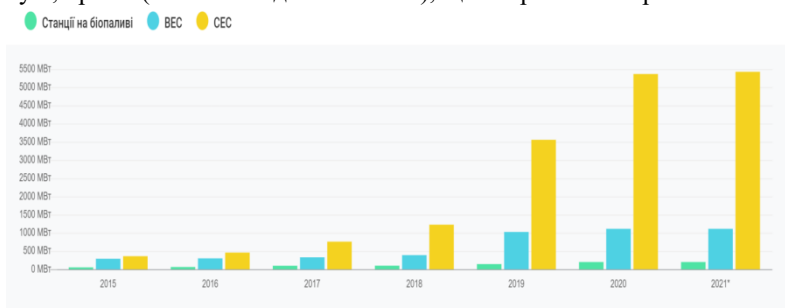


Рис. 1. Встановлена потужність ОЕС України

Разом з тим встановлені потужності ВДЕ в Україні мають тенденцію до щорічного зростання. Так за 2015-2021 роки обсяг встановлених потужностей виріс у 9,6 разів (з 701 МВт до 6734 МВт), що зображено на рис. 2.



Значення наведені без урахування тимчасово окупованих територій України. Станом на 28.02.2021

Рис. 2 Встановлена потужність відновлювальних джерел енергії за 2015 – 2021 роки

Найбільший темп розвитку серед ВДЕ показала сонячна генерація. За 2015-2021 роки встановлена потужність сонячних електростанцій збільшилась у 15 разів (з 359,1 МВт до 5423,3 МВт). Стрімкий розвиток СЕС в Україні обумовлений відносною простотою реалізації проєктів (у порівнянні з іншими технологіями ВДЕ), короткими строками реалізації проєкту (6 місяців разом з проєктуванням), та істотним падінням цін на обладнання завдяки технологічному розвитку

Динаміка зростання вітрових потужностей дещо менша, оскільки ВЕС потребують великих капіталовкладень та відносно багато часу на реалізацію

проекту (2-3 роки). За 2015-2021 роки в країні було встановлено 821,7 МВт нових потужностей, що збільшило вітрову генерацію у 3,8 рази. На сьогодні маємо 1111,2 МВт встановлених потужностей ВЕС.

Потужність об'єктів енергетики, що виробляють електроенергію з біопалива, протягом 2015-2021 років збільшилась у 3,8 рази та становить 199,5 МВт, що стало можливим внаслідок зниження собівартості електричної енергії більше, ніж на 50%.

Такий стрімкий розвиток ВДЕ створив виклики і проблеми для національної енергетичної системи та економіки, а саме:

1) ризики системних обмежень та операційної безпеки. Збільшення пропозиції електричної енергії внаслідок значного зростання частки ВДЕ за короткий період часу в умовах практично відсутнього зростання внутрішнього попиту на електроенергію, обмежених можливостей її експорту та переважання базової атомної генерації створює виклики операційній безпеці в ОЕС України;

2) технічні проблеми з балансування та інтеграції ВДЕ в енергетичну систему, що зумовлені переважанням в Україні сонячної та вітрової генерації, які є важкопрогнозованими, з одного боку і негнучкістю наявної об'єднаної енергетичної системи України через брак високоманеврених та енергоакуюлюючих потужностей з іншого. Для вирішення цих питань країни з великою часткою ВДЕ починають впроваджувати механізми компенсації негативного впливу ВДЕ, а саме: впровадження акумуляторів, стимулювання розподіленої генерації, формування і розвиток ринку електроенергії, впровадження технологій Smart Grid (Smart Grid - це автоматизована система, яка самостійно відстежує і розподіляє потоки електрики для досягнення максимальної ефективності використання енергії).

3) фінансовий дисбаланс державного підприємства «Гарантований покупець» (учасник ринку електричної енергії, через який держава здійснює програму підтримки ВАД). Значне перевищення середнього розміру «зеленого» тарифу на електричну енергію з відновлюваної генерації над середньою ціною реалізації цієї енергії на організованих сегментах ринку в умовах стрімкого зростання кількості виробників з альтернативних джерел призводить до значного дефіциту коштів гарантованого покупця. Неточність прогнозування відпуску електричної енергії ВАД та відсутність їх повної відповідальності за свої небаланси ще більше поглиблюють дефіцит підприємства.

В основі цих ризиків стрімкого росту відновлюваної генерації лежить їх стохастична природа, що унеможливорює ефективну роботу енергосистеми без точного прогнозування. Тому створення та впровадження робочої системи прогнозування відпуску ВАД є пріоритетною задачею.

Точність прогнозування ВДЕ впливає на такі операції по управлінню енергосистемою як планування, диспетчеризація, балансування в реальному часі, визначення резервних вимог до енергосистеми, віддачу команд для завчасного запуску (призупинення) компенсуючих потужностей. Інтегруючи коректні прогнози від локальних виробників ВДЕ, оператори енергосистеми

можуть передбачити швидкі зміни відновлюваної генерації, щоб потім ефективно збалансувати споживання і заплановану генерацію за день і всередині самого дня. Як наслідок це призводить до зниження витрат на невідновлювальне паливо, підвищення надійності енергосистеми в цілому і мінімізації витрат на придбання енергії з ВДЕ. Також точне прогнозування відновлюваної генерації допоможе не тільки збалансувати енергосистему по потужності і напрузі, але і підвищити «якість» енергії в мережі – її частоту і фазові зрушення. Фактори, що впливають на ефективність погодинного прогнозу, включають прогнозний горизонт, місцеві погодні умови (що впливають на мінливість ресурсів ВДЕ), географічне охоплення, доступність даних (наприклад, обсяг, місце розташування, способи і надійність надання інформації) та якість даних (наприклад, узгодженість за часом, точність, розбивку і корекцію за охопленням території) та інші.

Проблема надійного і точного прогнозування відпуску ВДЕ не вирішена ні в Україні, ні в світі. Щороку пропонуються алгоритми і програмні комплекси, проводяться міжнародні конференції, дискусії, але загальноєвропейських «стандартів галузі» для прогнозування ВДЕ немає.

Разом з тим для впровадження системи прогнозування графіка виробництва електроенергії з ВДЕ в Україні існує ряд додаткових проблем, а саме: 1) відсутність системи оперативного автоматичного моніторингу локальних метеоданих в режимі он-лайн, придатної для погодинного і добового прогнозування відновлювальної генерації та загальнодоступної національної бази даних погодних умов; 2) відсутня система автоматизованої обробки і розподілу даних між зацікавленими сторонами; 3) немає визначених і несуперечливих правил узгодження обсягів відпуску генерації, достовірної статистики по ВДЕ в Україні.

Отже, для впровадження інтелектуальних систем прогнозування відпуску електричної енергії з альтернативних джерел та її ефективної роботи насамперед необхідно зібрати та систематизувати інформацію про об'єкти альтернативної енергетики, статистичну інформацію щодо відпуску електричної енергії ВДЕ, інформацію про метеодані; розробити систему накопичення, обробки та зберігання даних та забезпечити доступність даних для зацікавлених осіб; розробити та запровадити робочі моделі короткострокового та довгострокового прогнозування ВДЕ. Результатом роботи такої системи є доступність до інформації про стан ВДЕ в Україні зацікавленими суб'єктами, моделі для побудови прогнозних графіків відпуску електричної енергії ВДЕ на короткостроковий та довгостроковий період для використання їх у бізнес-діяльності підприємств або прийнятті рішень щодо регулювання енергетичної системи.

- [1] При ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. Відомості Верховної Ради. 2019. (№ 27-28). С. 312.
- [2] Встановлена потужність енергосистеми України. URL: <https://ua.energy/vstanovlena-potuzhnist-energosityemy-ukrayiny> (дата звернення: 01.03.2021).

В.В. Горський

ВИБІР МЕТОДУ РОЗПОДІЛУ СПІЛЬНИХ ПОВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ У КОМБІНОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЕНЕРГОНОСІЇВ НА ТЕЦ

В даний час, однією з головних завдань в електроенергетиці є підвищення рівня її надійності і конкурентоспроможності. Для вирішення даного завдання необхідно визначити обґрунтовані тарифи на виробництво електричної та теплової енергії.

З одного боку, тарифи на відпущену енергію повинні відображати всі види витрат при виробництві, та забезпечувати певний рівень рентабельності енергопостачальних організацій. З іншого боку, тарифи повинні спонукати споживачів до зниження енергоємності та оптимізації режиму електропостачання [1].

Одним з найважливіших методичних питань в енергетиці є оптимальний розподіл витрат між виробництвом і передачею електроенергії та теплової енергії.

В даний час, існує ряд методів розподілу витрат за видами продукції. Серед них найбільш поширеними є: Розрахунок у відповідності до енергетичної цінності тепла; Методи залишкової вартості (віднесення залишкових витрат на електричну або теплову енергію); Метод цінності енергії; Фізичний метод; Метод зниження виробництва електричної енергії; Методи розподілу економії (рівної економії, пропорційної економії, розподіл загального прибутку).

Перевагою балансового методу є однозначність у розподілі економії й простота практичного розрахунку працівниками ТЕЦ. Проте цей метод економічно не обґрунтований. При балансовому (фізичному) методі вся економія від комбінованого виробництва електричної та теплової енергії на ТЕЦ стосується тільки електроенергії, завдяки чому її собівартість знижується, а собівартість теплоти завищується.

Метод «відключення», при якому з сумарних витрат комбінованого виробництва виключалися витрати на побічні продукти, оцінювані за собівартістю їхнього виробництва на інших підприємствах або встановленою ціною. Недоліком методу є неможливість одночасного визначення собівартості теплоти й електроенергії.

Компромісний метод розподілу витрат, заснований на розподілі прибутків при комбінованому виробництві електроенергії й теплоти на ТЕЦ. Цей метод має на увазі, що відношення собівартості електроенергії до собівартості теплоти при їхньому комбінованому виробництві має бути таким самим, як і відношення собівартості електроенергії КЕС і до собівартості теплоти, виробленої на спеціалізованій котельні.

Ексергетичний метод розподілу витрат приймає, що вартість палива, котра відноситься на вироблення електроенергії й теплоти, необхідно

визначати, розділяючи витрату палива відповідно до відношення електроенергії до зменшення ексергії теплоносія. При обліку всіх ККД одержимо зменшення собівартості електроенергії.

«ЛьвівОРГРЕС» розробило методику «Розподіл витрати палива на теплових електростанціях на відпущену електричну й теплову енергію при їхньому комбінованому виробництві» (ГКД 34.09.108-98) [2]. В основу цієї методики закладено принцип однакової вигоди, при якому економія палива за рахунок комбінованого виробітку електроенергії й теплоти на ТЕЦ розподіляється між ними нарівно – коефіцієнт 0,5.

Дубовським С.В. та Хортовою О.О [3] було представлено теоретичні особливості і основні результати розрахунку показників енергетичної ефективності паротурбінних установок термодинамічним методом.

Цей метод, на відміну від емпіричних, використовує у якості вихідних дійсні, а не умовні значення параметрів роботи турбін. Як відомо, основна складність енергетичних оцінок ПТУ, як і інших установок комбінованого виробництва, обумовлена фізичною нероздільністю потоку робочого тіла на вході в турбіну на складові, пов'язані з отриманням роботи і теплоти. Термодинамічний підхід дозволяє здійснити таке розділення з використанням об'єктивної закономірності, що впливає безпосередньо з першого і другого початків термодинаміки і встановлює зв'язок між енергетичними входами і виходами суміщених процесів.

Згідно з термодинамічним методом витрати теплоти на відпуск електричної та теплової енергії від паротурбінної установки у розрахунках надаються у однакових фізичних одиницях виміру та відносяться до параметрів зовнішнього або комерційного обліку і припускаються відомими. Усереднений коефіцієнт термодинамічної цінності теплоти представляє собою відношення питомих витрат первинної теплоти: питомої витрати теплоти на відпущену теплову енергію, (кДж/ГДж) до питомої витрати теплоти на відпущену електроенергію, (кДж/кВт•год).

За своєю фізичною сутністю коефіцієнт термодинамічної цінності враховує як температурний потенціал теплоти, що відпускається, так і невідновні втрати, що супроводжують процес перетворення енергії у її корисні види. В ідеальному випадку (відсутність втрат) КТЦ збігається з ексергетичною температурною функцією теплоти.

Для визначення техніко-економічних показників роботи ТЕЦ, собівартості видів енергопродукції, обґрунтованих тарифів на них і терміну окупності капіталовкладень необхідно насамперед визначитись з певною схемою розподілу затрат на відпуск 1т пари із котлоагрегата між відпущеною тепловою та електричною енергією. При проведенні дослідження, мною було проведено розрахунок енерговитрат виробництва однієї тони пари, виробленої котлоагрегатом для 3-х різних варіантів обладнання ТЕЦ [4]. Розподіл отриманих результатів на відпуск електричної та теплової енергії за основними методиками представлено у табл. 1.

Розподіл енерговитрат на відпуск теплової та електричної енергії

Метод	Енергоносії, що відпускається	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
		кДж/МВт	кДж/МВт	кДж/МВт
		208 888,07	145 980,48	114 048,19
Нормативний (ГКД 34.09.108-98)	а) теплової енергії	136 789,90	95 595,00	74 684,21
	б) ел. Енергії	72 098,17	50 385,48	39 363,98
Метод відключення	а) теплової енергії	113 566,14	79 365,18	62 004,56
	б) ел. Енергії	95 321,93	66 615,30	52 043,63
Ексергетичний	а) теплової енергії	119 055,20	83 201,19	65 001,46
	б) ел. Енергії	89 832,86	62 779,29	49 046,72
Термодинамічний (за повними технологічними витратами)	а) теплової енергії	132 197,44	92 385,59	72 176,83
	б) ел. Енергії	76 690,63	53 594,90	41 871,36

Висновки:

1. Розглянуто основні методики розподілу затрат між електричною та тепловою енергією на ТЕЦ, та приведені переваги та недоліки кожного методу.

2. Рекомендовано найдоцільніше використовувати термодинамічний метод розподілу витрат на відпуск електричної та теплової енергії, оскільки він враховує цінність пари, що відпрацювала в турбіні (на виробництво електроенергії) та відводиться теплофікаційними відборами на потреби теплопостачання.

- [1] Можаява С. В. Экономика энергетического производства: учебное пособие. 6-е изд., доп. перераб. ISBN 978-5-8114-0504-6 – С.-Петербург: Лань. – 2011. – 272 с.
- [2] ГКД 34.09.108-98 Розподіл витрат палива на теплових електростанціях на відпускну електричну і теплову енергію при їх комбінованому виробництві. – Львів: ВАТ «ЛьвівОРИГЕС». – 1998. –18 с.
- [3] Дубовський С.В., Хортова О.О Методичні основи розробки стандарту визначення енергоємності комбінованого виробництва електричної енергії і теплоти на електричних станціях. – Проблеми загальної енергетики №20. – 2009. – с. 14-20. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2009_20_5
- [4] Маляренко О.С., Горський В.В. Удосконалений підхід до оцінки ефективності енергозберігаючих заходів та технологій на теплоелектроцентралях. – Проблеми загальної енергетики, №4. – 2019. – с.24-31. <https://doi.org/10.15407/pge2019.04.024>

CENTRIFUGAL MACHINES DYNAMIC SYSTEM "ROTOR – GROOVE SEALS" MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT

While developing centrifugal pumps for any parameters, except for workout of economic wetted part, high-priority tasks are vibration reduction ensuring the desired reliability and service life of bearings and drive couplings, development of durable and sufficiently air-tight seals [4].

Energy of volumetric losses can be converted into net energy, if the groove seals are used simultaneously as hydrostatic bearings able to have not only high radial rigidity but also to effectively damp the rotor fluctuations [2]. In this case leakage energy can not only ensure necessary load-carrying capacity of bearings but also importantly to reduce the rotor vibrations to the acceptable level even, if there is a significant unbalance [1]. Environmental effect is especially considerable, if there are existing steep velocity and pressure gradients, which is peculiar to close gaps of the groove seals, on which high pressure differentials are restricted and one of the walls belongs to the rotating and vibrating rotor.

The dynamic characteristics of groove seals as intermediate supports have been studied in the paper [5]. It presents linearized expressions of radial hydrodynamic forces and moments acting on the rotor on the part of fluid flow in gap of groove seal. The power characteristics are determined by the geometric and operating parameters of the seals: initial taper and radial clearance, length and average radius of the channel, throttled pressure drop, rotor speed, swirling flow at the gap inlet, physical properties of the fluid. Analysis of the influence of groove seals on the rotor dynamics allows choosing their design so that in the entire operating range the vibration level of the rotor is within the acceptable limits [3].

However, the problems of rotor dynamics in groove seals are slightly neglected as to solve them it is necessary to know the hydrodynamic characteristics of groove seals. This is a separate problem in the hydrodynamics of three-dimensional unsteady viscous fluid flows in annular channels, whereof walls rotate and simultaneously perform radial-angular oscillations.

Since the problems of the rotor dynamics without groove seals have been mainly solved, this paper focuses more on the analysis of oscillatory processes caused by the hydrodynamic characteristics of seals. In centrifugal machines, the energy of leakages through groove seals can be converted into useful energy if they are used simultaneously as hydrostatic bearings capable of not only having high radial stiffness, but also effectively damping rotor vibrations. A simplified block diagram of the rotor – groove seals system is shown in the Fig.

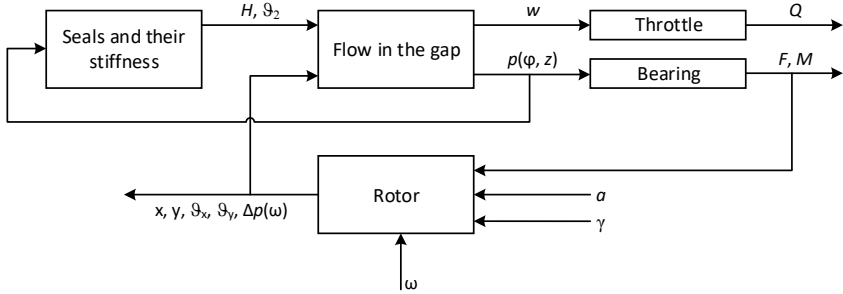


Figure: Model of hydromechanical system rotor - groove seals

The considered rotor in groove seals is an oscillatory system of the eighth order with four generalized coordinates. Forced joint radial-angular oscillations of the rotor at a constant pressure drop across the seals are described by the equations:

$$\begin{aligned}
 & a_1 \ddot{u} + a_2 \dot{u} + a_3 u \mp i(a'_4 \dot{u} + a'_5 u) \omega - (\alpha'_2 \dot{\theta} + \alpha'_3 \theta) \omega \mp \\
 & \mp i(\alpha_4 \dot{\theta} + \alpha_5 \theta - \alpha_0 \theta) = \omega^2 a^* = \omega^2 |a^*| e^{\pm i \omega t}, \\
 & b_1 \ddot{\theta} + b_2 \dot{\theta} + b_3 \theta \mp i(b'_4 \dot{u} + b'_5 u) \omega + (\beta'_2 \dot{u} - \beta'_3 u) \omega \mp \\
 & \mp i(\beta_4 \dot{u} + \beta_5 u + \beta_0 u) = (I - j_0) \omega^2 \gamma^* = (I - j_0) \omega^2 |\gamma^*| e^{\pm i \omega t};
 \end{aligned}$$

Using standard programs, we can immediately find a numerical solution to these equations. After switching to dimensionless frequencies $\bar{\omega} = \omega/\Omega_{u0}$ and introducing a number of designations, the equations take the form:

$$\begin{aligned}
 (U_{11} + iV_{11})\tilde{u} + (U_{12} + iV_{12})\tilde{\theta} &= A\bar{\omega}^2, \\
 (U_{21} + iV_{21})\tilde{u} + (U_{22} + iV_{22})\tilde{\theta} &= \Gamma\bar{\omega}^2.
 \end{aligned}$$

Here $U_{11} + iV_{11}$, $U_{22} + iV_{22}$ are the eigenoperators of independent radial and angular vibrations, respectively. Cross operators $U_{12} + iV_{12}$, $U_{21} + iV_{21}$ characterize the effect of angular vibrations on radial ones and radial vibrations on angular ones respectively, i.e. the interconnectedness of these fluctuations. From the system of inhomogeneous algebraic equations, after a series of transformations, we obtain the amplitudes and phases expressed through external perturbations:

$$\begin{aligned}
 u_a &= \bar{\omega}^2 \sqrt{\frac{(AU_{22} - \Gamma U_{12})^2 + (AV_{22} - \Gamma V_{12})^2}{U_0^2 + V_0^2}}, \\
 \theta_a &= \bar{\omega}^2 \sqrt{\frac{(\Gamma U_{11} - AU_{21})^2 + (\Gamma V_{11} - AV_{21})^2}{U_0^2 + V_0^2}}, \\
 \varphi_u &= -\text{arctg} \frac{(AU_{22} - \Gamma U_{12})V_0 - (AV_{22} - \Gamma V_{12})U_0}{(AU_{22} - \Gamma U_{12})U_0 + (AV_{22} - \Gamma V_{12})V_0},
 \end{aligned}$$

$$\varphi_g = -\arctg \frac{(\Gamma U_{11} - AU_{21})V_0 - (\Gamma V_{11} - AV_{21})U_0}{(\Gamma U_{11} - AU_{21})U_0 + (\Gamma V_{11} - AV_{21})V_0}.$$

Using the obtained formulas, it is possible to construct the amplitude frequency characteristics as the ratio of the amplitudes of the corresponding oscillations to the amplitudes of external excitations.

The differences in the patterns of rotor oscillations in groove seals from its oscillations in air are caused by the action of hydrodynamic forces arising in groove seals.

The force of inertia and the force of viscous resistance decrease, while the gyroscopic force and the force of hydrostatic rigidity increase the modules of natural frequencies. The increase in natural frequencies is proportional to the square root of differential pressure throttled across the seals and depends on the taper of annular throttling gap. For typical designs of centrifugal pumps, natural frequencies of the rotors in seals with a confuse channel are 2 - 4 times higher than in diffuser seals. The pressure differential of 1.5 MPa across the converging seals provides almost threefold increase in natural frequency of the rotor. This confirms the possibility and effectiveness of simultaneous use of groove seals as hydrostatic bearings.

Force factors of the groove seals are determined by the geometric (gap, radius, length, taper, shape of the input edges) and operational (pressure differential, operating speed range, physical properties of the pumped medium) parameters. A purposeful choice of these parameters can influence vibratory condition of the rotor and the machine as a whole.

- [1] Kundera, C., Marcinkowski, W. The effect of annular seal parameters on the dynamics of the rotor system. (2010). *Int. Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 15(3), 719-730.
- [2] Martsynovskyi, V. (2005). *Groove seals: theory and practice*. Sumy, Printing service of Sumy State University, 416 p.
- [3] Martsynovskyi, V. *Dynamics of the centrifugal machine rotors: monograph*. (2012). Sumy, Sumy State University, 562 p.
- [4] Martsynovskyi, V., Shevchenko, S. (2018). *Pumps of nuclear power plants: calculation, design, operation: monograph*. Under general editorship of S. S. Shevchenko. Sumy, University Book Publishing House, 472 p.
- [5] Yamamoto, T., Ishida, Y. *Linear and nonlinear rotor dynamics. A modern treatment with applications*. (2001). New York, Wiley, 325 p.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ В DESKTOP GRID

Для вирішення поставленої задачі було проаналізовано ряд публікацій за останні роки на предмет використання методів диспетчеризації завдань в Desktop GRID. Зокрема встановлено, що методи планування розділяють на три категорії: прості, модельні та евристичні.

У **простому підході** завдання або ресурси вибираються за допомогою FCFS (First Come First Served) або випадковим чином.

Модельний підхід поділяється на детерміновані, економічні та математичні моделі. Детермінована модель базується на структурі або топології. Наприклад, черга, стек, дерево або кільце. Завдання або ресурси детерміновано підбираються відповідно до властивостей структури або топології. Наприклад, у дереві топологія, завдання розподіляються з батьківських на дочірні вузли. В економічній моделі рішення про планування базується на ринку (тобто ціні та бюджеті) [10]. У математичній моделі ресурси є обрані в математичній манері (такі як Маков, байсєвський, генетичний алгоритм, теорія ігор та техніка машинного навчання).

У **евристичному підході** завдання або ресурси вибираються методами ранжування, узгодження та виключення на основі репутації ресурсу або стану. Репутація пов'язана з шаблоном виконання та історії (наприклад, цілеспрямованість, мінливість, доступність, довіра тощо), тоді як стан відображає поточний стан та можливості машин (такі як апаратні можливості, продуктивність, вага зв'язку тощо). Метод ранжування класифікує ресурси або завдання відповідно до критеріїв та потім обирає найбільший або найгірший. Метод відповідності вибирає найбільш відповідні завдання та ресурси відповідно до функцій оцінки (наприклад, Min-Min, Max-Min, виборче право тощо [6]). Метод виключення виключає ресурси відповідно до критеріїв, а потім вибирає найбільш підходящий серед тих, хто залишився. Рейтинг, методи узгодження та виключення можна використовувати разом або окремо.[2].

Серед існуючого програмного забезпечення для побудови Desktop GRID можна виділити наступні:

Alchemi [11] Grid на базі .NET - що агрегує обчислювальну потужність мережевих настільних комп'ютерів. Це забезпечує API.NET та інструменти для розробки Grid-додатків на основі .NET. Буває Alchemi застосовується в таких додатках, як широкомасштабна обробка документів, CSIRO Australia гідрологія та обробка електронних таблиць Microsoft Excel. Планування роботи базується на пріоритеті та першочерговому обслуговуванні (FCFS).

Bayanihan - це обчислювальна веб-система з використанням Java. Система Bayanihan складається з клієнта та сервера. Клієнт виконує код Java у веб-браузері або Java-програму на проміжному програмному забезпеченні. Він має робочий механізм, який виконує обчислення, або механізм

спостерігача, який показує результати та статистику. Сервер складається з сервера HTTP, менеджера роботи, диспетчера часу та пула даних. *Bayanihan* - це фреймворк з відкритим кодом, розроблений на MIT, і вважається першим веб-інтерфейсом настільних мережевих систем [4]. Політика планування – FCFS.

BOINC (відкрита інфраструктура Берклі для мережевих обчислень) [1] - це система проміжного програмного забезпечення для добровільних обчислень (або обчислень із загальнодоступними ресурсами). *BOINC* розроблена для створення та управління обчислювальними проектами з державними ресурсами. Є безліч проектів на базі *BOINC*: *SETI@Home*, *Predictor@Home*, *Folding@Home*, *Climateprediction.net*, *Climate@Home*, *LHC@Home*, *Einstein@Home*, *BBC Climate* тощо.

CCOF (*Cluster Computing on the Fly*) [5] провів всебічне дослідження загальних методів пошуку у високо динамічному середовищі P2P для визначення простоїв комп'ютерних циклів в Інтернеті. Політика планування – це планування хвиль, коли завдання рухаються по хвилі простоїв (денний або нічний часовий пояс). Хвильове планування підтримує завдання, обумовлені термінами.

Condor є пакетною системою для високопродуктивних обчислень на розподілених ресурсах. *Condor* забезпечує управління робочими місцями, планування роботи, моніторинг ресурсів та управління ресурсами тощо. Зокрема, *Condor* націлений на високопродуктивні обчислювальні та опортуністичні обчислення [7]. *Condor* складається з центрального менеджера та інших ресурсів. Центральний менеджер відповідає за встановлення зв'язків (планування) та управління інформацією про роботу та ресурси. Політика планування – вибір пар завдання-виконавець за пріоритетами, вимогами та рангом.

XtremWeb [9] – це програмне забезпечення з відкритим кодом для створення полегшеної настільної сітки шляхом збору невикористаних ресурсів настільних комп'ютерів (процесор, сховище, мережа). Його основні функції дозволяють розгортання для кількох користувачів, декількох додатків та міждомів. *XtremWeb* перетворює набір мінливих ресурсів, що поширюються по локальній мережі або Інтернету, у середовище виконання, що виконує дуже паралельні програми. Завдяки простоті цей підхід виявився надзвичайно масштабованим, надійним та безпечним [8]. Політика планування – FCFS.

HTCondor (раніше відомий як просто *Condor*) - це обчислювальний планувальник, розроблений в Університеті штату. *HTCondor* піклується про вибір правильної робочої станції, встановлення правильного пріоритету роботи та подбає про очищення виходу. *HTCondor* розподіляє, планує, виконує та повертає результат [3].

В даному аналізі наведені лише найбільш популярні та широко використовувані системи для побудови Desktop GRID, хоча їх значно більше. Зокрема існують ще *SZTAKI*, *Charlotte*, *CPM*, *Entropy*, *PVM*, *distributed.net*, *Organic Grid*, *Messor*, *WebCom* та інші. Деякі з них вже не підтримуються,

інші ж активно розвиваються та удосконалюються. Що ж до політик планування, то в наведених системах в основному використовують метод планування завдань FCFS.

Отже, проведений аналіз існуючих методів диспетчеризації показав, що наразі в реальних системах найчастіше використовується переважно метод FCFS.

Чому саме FCFS використовується найчастіше? Це пов'язано з тим, що даний метод є дуже простим та надійним як в розробці так і в роботі. Використання інших методів значно ускладнює систему, що робить її менш надійною. Враховуючи, що такі системи і так є досить не стабільними, в міру багатьох факторів, то зрозуміло, чому розробники відмовляються від складних методів і віддають перевагу FCFS. З цього випливає висновок, що нові методи потрібні, але однією з ключових характеристик, якими вони повинні володіти, це простота, та, звісно, краща продуктивність, в порівнянні з FCFS.

- [1] BOINC. <http://boinc.berkeley.edu/>
- [2] Choi S. J., Kim H. S., Byun E. J., Hwan C. S. (2006) A Taxonomy of Desktop Grid Systems Focusing on Scheduling // Technical Report: KU-CSE-2006-1120-02, Department of Computer Science and Engineering, Korea University
- [3] HTCondor – Aalto scientific computing. <https://scicomp.aalto.fi/aalto/htcondor/>
- [4] Khalid Khan, (2017) Towards Efficient Resource Allocation in Desktop Grid Systems, Inherent Problems and Traditional Solutions, PAF Karachi Institute of Economics and Technology, ISBN (Book) 9783668872943
- [5] Lo V., Zhou D., Zappala D., Lin Y., and Zhao S. (2004) Cluster computing on the fly: P2P scheduling of idle cycles in the Internet. In Proceedings of the 3rd International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS '04), Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag.
- [6] Maheswaran, M., Ali, S., Siegel, H. J., Hensgen, D., and Freund, R. F. (1999). Dynamic matching and scheduling of a class of independent tasks onto heterogeneous computing systems. In Proceedings of the 8
- [7] Thain, D., Tannenbaum, T., and Livny, M. (2003). Condor and the grid. In Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality. F. Berman, G. Fox, and A. J.G. Hey Eds. Wiley, Chichester, West Sussex, 299–336.
- [8] Understanding the Technology Behind the iEx.ec Distributed Cloud. <https://medium.com/iex-ec/understanding-the-technology-behind-the-iex-ec-distributed-cloud-d91965fff00a>
- [9] XtremWeb: The Open Source Platform for Desktop Grids. <http://xtremweb.gforge.inria.fr/>
- [10] Yu, J. and Buyya, R. (2005). A taxonomy of scientific workflow systems for grid computing. SIGMOD Record, Special Issue on Scientific Workflows 34, 3, 44–49.
- [11] Zhao, H., Liu, X., & Li, X. (2011). A taxonomy of peer-to-peer desktop grid paradigms. Cluster Computing, 14(2), 129–144. <https://doi.org/10.1007/s10586-010-0138-3>

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЄМНІСНИХ СЕНСОРІВ

В наш час в багатьох галузях техніки, в тому числі і в електроенергетиці, для вимірювання різноманітних фізичних величин застосовуються ємнісні сенсори [5, 8]. Вони мають високі метрологічні та експлуатаційні характеристики. Метрологічні характеристики ємнісних сенсорів в першу чергу залежать від їхніх конструктивних параметрів, технології виготовлення та умов застосування. Тому існує необхідність проведення досліджень з вибору оптимальних конструктивних параметрів сенсорів та матеріалів, з яких вони виготовляються.

Аналітичний розрахунок математичної моделі методом конформних відображень, який базується на спрощених конфігураціях і ідеалізованих припущеннях вимагає проведення складних розрахунків [5], тому для проведення досліджень доцільним є використання засобів комп'ютерного моделювання. Використання засобів комп'ютерного моделювання надає наступні можливості та переваги:

- збереження коштів, які необхідні для придбання устаткування необхідного для проведення експериментальних досліджень;
- прогнозування поведінки об'єкта в будь-яких умовах, в тому числі і таких, які в натурному експерименті реалізувати не можливо або/та це вимагає залучення значних ресурсів;
- використання існуючих баз репрезентативних даних, що спрощує процес створення моделі та її дослідження;
- зменшення часових затрат на проведення досліджень;
- отримання інформації із впливом заздалегідь визначених сил та факторів;
- отримання візуальних результатів, що спрощує їх розуміння та інтерпретацію та інші.

На сьогодні для моделювання фізичних процесів використовуються наступні методи чисельного рішення:

- метод граничних елементів (BoundaryElementMethod – **BEM**),
- метод моментів (MethodofMoments – **MoM**),
- метод кінцевих об'ємів (FiniteVolumeMethod – **FVM**),
- метод кінцевих різниць (FiniteDifferenceMethod – **FDM**),
- метод кінцевих елементів (FiniteElementMethod – **FEM**).

Метод граничних елементів (**BEM**), передбачає в межах граничного елемента апроксимацію розподілу необхідної функції безпосередньо по вихідному диференціальному рівнянню, яким описується процес, що моделюється (в інших методах апроксимація в рамках дискретної сітки більш штучна) [6]. Крім того, при використанні **BEM** відбувається зниження просторового порядку, що теоретично прискорює рішення і знижує вимоги

до ресурсів обчислювальної техніки. Однак, при моделюванні цей метод практично не використовується, тому що він вимагає однорідності фізичних властивостей.

MoM переважно використовується для розрахунку струмів в металевих і діелектричних структурах при випромінюванні в вільному просторі. Головною перевагою цього методу є те, що дискретизація використовується тільки для металевих з'єднань моделюючої структури, а не вільний простір, так як в якості невідомої величини приймається розподіл струму на металевих поверхнях. У разі використання методу граничні умови не задаються, а приймаються рівними геометрії об'єкту [10]. Недоліком методу є його складність, оскільки застосування методу вимагає ретельного розрахунку функцій Гріна, а також він не підходить для довільних тривимірних структур. Структури, що моделюються повинні бути "планарними" за своєю суттю і утворювати багат шарову структуру.

FVM є чисельним методом інтегрування систем диференціальних рівнянь в похідні та передбачає дискретизацію розрахункової області на прямокутні паралелепіпеди. При моделюванні, **FVM** широкого поширення поки не отримав, ймовірно це пов'язано з «проміжним» характером методу - в тих випадках, коли необхідні довільно орієнтовані границі, краще використовувати **FEM**, а коли допустимо уявлення геометрії у вигляді набору паралелепіпедів, то простіше вирішувати задачу класичним **FDM** [6].

FDM, є одним з чисельних методів, в якому для вирішення фізичних рівнянь застосовується дискретизація розрахункової області у вигляді сітки вузлів. У цьому разі результати визначаються тільки в вузлах сітки, тобто лише в окремих точках розрахункової області. Такий підхід під час моделювання вимагає меншої обчислювальної потужності для вирішення рівнянь і забезпечує високу швидкість розрахунку, але це призводить до менш «точних» результатів розрахунків в порівнянні з іншими методами, наприклад методом кінцевих елементів(**FEM**) [9].

FEM в даний час є одним з основних методів вирішення завдань моделювання об'ємних або неоднорідних діелектричних об'єктів, які неможливо ефективно моделювати іншими методами. Однією з ключових характеристик цього методу є використання дискретизації для перетворення безперервної області в набір (сітку) елементів типової (тетраедної) формидіелектричні властивості яких змінюються від елемента до елементу. Чисельні алгоритми часто засновані на представленні початкової задачі у вигляді великого числа невеликих повторюваних завдань, що дозволяє спростити проведення розрахунків та підвищити їх ефективність [7].

Основною перевагою **FEM** є можливість вирішення завдань для області будь-якої форми, в той час як аналітичні вирішення можуть бути отримані тільки для задач з досить простою геометрією. Цей факт, а також поява цілого ряду комерційних програм, що реалізують цей метод, зробили його найкращим інструментом для проведення досліджень.

Враховуючи все вищезазначене, для проведення досліджень технічних характеристик ємнісних сенсорів, які призначені для використання в

системах технічної діагностики обладнання електростанцій, було обрано засоби комп'ютерного моделювання на основі методу кінцевих елементів [2]. Одним із параметрів, який контролюється системами технічної діагностики потужних генераторів, є биття валу [1, 3, 4]. На рис. 1, б показано варіант конструкції ємнісного сенсора радіального биття валу з концентричною системою електродів та розміщення сенсора біля поверхні валу на рис.1, а. У цьому разі, сенсор складається з активного електрода *1* радіусом *r*, охоронного електрода *2* шириною *b* та заземленого електрода *3*, розмір якого встановлюється з конструктивних міркувань. Ширина *b* охоронного електрода залежить від співвідношення d/r і за заданою похибкою розраховується. Електроди *1* і *2* розділені діелектричним проміжком *h*, який для більшої рівномірності поля повинен мати мінімальну ширину [1].

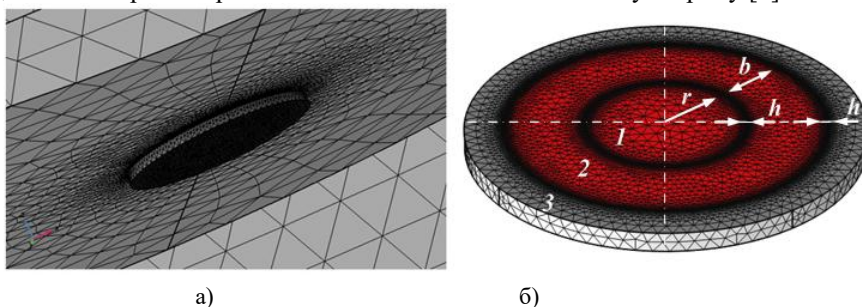


Рис. 1 – Схема ємнісного сенсора після дискретизації

Результати застосування обраного методу для знаходження залежності ємності сенсора від відстані до заземленої поверхні представлений на рис 2.

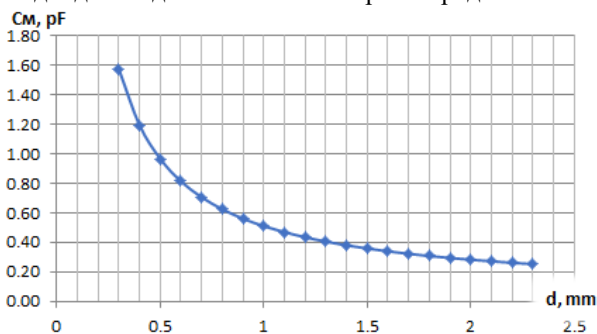


Рис. 2 – Графіки залежності ємності від відстані до заземленої поверхні

Висновки. В роботі представлені переваги та перспективи використання засобів комп'ютерного моделювання для дослідження метрологічних характеристик ємнісних сенсорів. Розглянуті найбільш розповсюджені методи математичного моделювання. На основі аналізу переваг та недоліків методів обрано середовище метод моделювання для проведення подальших досліджень метрологічних характеристик ємнісних сенсорів, які призначені

для використання в системах технічної діагностики обладнання. Використання методу скінченних елементів та створеної скінченно-елементної моделі ємнісного сенсора биття дозволило розрахувати функцію перетворення в залежності від значення повітряного зазору між площиною електродів сенсора та заземленою металевією поверхнею вала засобами комп'ютерного моделювання. Отримані результати свідчать про те, що розроблена модель може бути використана для дослідження технічних характеристик, наприклад, впливом технологічних похибок, які виникають під час виготовлення сенсора на його функцію перетворення.

- [1] Березниченко В.О., Зайцев Є.О. Безконтактний ємнісний сенсор системи контролю параметрів биття валів потужних електричних машин. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2021. Вип. 57. С. 81–88. DOI: 10.15407/publishing2020.57.081.
- [2] Левицький А.С., Березниченко В. О. Дослідження моделі сенсору радіального биття циліндричних поверхонь вала гідроагрегату засобами комп'ютерного моделювання. Відновлювальна енергетика та енергоефективність у XXI столітті : Матеріали XIX міжнародної науково-практичної конференції, 14-15 травня 2020 р., м. Київ, НТУУ КПІ, Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – С. 500–505.
- [3] Левицький А.С., Зайцев Є. О., Березниченко В. О. Відносна та абсолютна радіальна вібрація вала вертикального гідроагрегата. Гідроенергетика України. 2019. № 3-4. С. 36–39
- [4] Левицький А.С., Зайцев Є.О., Березниченко В.О. Особливості вимірювання радіального биття циліндричних поверхонь валу гідроагрегату. Гідроенергетика України. 2019. Вип. 1-2. С. 39–44.
- [5] Левицький А.С., Федоренко Г.М., Грубой О.П. Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів: монографія. К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2011. 242 с.
- [6] Метод конечных элементов. URL: <https://studbooks.net/> (дата звернення: 10.04.2021).
- [7] Моррис Д. Моделирование электромагнитных полей – как выбрать лучший метод. Электроника, наука технология бизнес. 2012. №3 (00117). С. 124-129.
- [8] Сисоева С., Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Часть 11. Ёмкостные датчики – новые игроки автомобильного рынка. Компоненты и технологии. 2006. №4.
- [9] Сравнение методов конечных элементов и конечных разностей. URL: <https://www.ansys.soften.com.ua/about-ansys/blog/639-difference-between-fem-and-fdm.html#> (дата звернення: 11.04.2021).
- [10] Сувак В.А.,Токмакова О.А., Громов В.А. Сравнительный анализ методов электромагнитного моделирования - метод моментов и метод конечных элементов. URL: https://storage.tusur.ru/files/8666/PTC-1303_сравнительный_анализ_методов_электромагнитного_моделирования_-_метод_моментов_и_метод_конечных_элементов.pdf (дата звернення: 09.04.2021).

Д.О. Дімітрієва, І.П. Каменева

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ЗНАТЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ ФАХІВЦІВ В СФЕРІ ЯДЕРНОЇ ТА РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

Поряд з загальними небезпеками, характерними для різних технологій виробництва енергії, атомній енергетиці притаманні специфічні види небезпек, обумовлені ядерними випромінюваннями, що мають шкідливий вплив на людину та середовище (гамма, бета, альфа, нейтронне тощо), а також містять загрозу великого некерованого виділення енергії в навколишнє середовище. Загалом, досвід показує, що ядерна енергетика має бути безпечніше, ніж будь-яка інша форми виробництва енергії.

Порушення правил ядерної та радіаційної безпеки завдають значних втрат як окремим категоріям населення, так і цілим регіонам і ландшафтним екосистемам в межах впливу АЕС. Отже, в рамках комплексної задачі підвищення безпеки АЕС залишається актуальним питання щодо зменшення негативного впливу суб'єктивного фактору, забезпечення узгоджених і компетентних дій персоналу в умовах небезпеки або невизначеності.

Дослідження спрямоване на аналіз, розробку та удосконалення інформаційно-аналітичних засобів, що забезпечують систематизацію знань, необхідних для безпечного обслуговування АЕС, підтримку процесу навчання для фахівців та керівного складу, а також розробку засобів оцінювання компетентності персоналу в галузі безпеки атомних станцій.

1. База нормативних документів. Особливої уваги потребує вивчення та удосконалення нормативно-правових актів щодо моніторингу та контролю безпеки атомних станцій, які регламентують основні заходи, спрямовані на підвищення безпеки. В рамках цих документів оцінюється стан безпеки атомних станцій та відповідні ризики, відбувається розробка заходів щодо підвищення безпеки діючих установок, обираються напрямки робіт з їх поліпшення. Від ефективності, коректності та обґрунтованості таких заходів залежить розвиток атомної енергетики, її безпека та конкурентоспроможність на ринку виробництва енергії.

На рис. 1 представлено ієрархічну структуру бази нормативних документів [1] з ядерної та радіаційної безпеки України. Вона зображена у вигляді піраміди, яка включає 5 рівнів:

- I рівень – Закони України;
- II рівень – нормативно-правові акти (НПА), прийняті Кабінетом Міністрів України та Президентом України;
- III рівень – НПА, зареєстровані в Мін'юсті, та підлягають безумовному виконанню усіма суб'єктами в сфері використання ядерної енергії (норми та правила);

– IV рівень – нормативні документи (НД), які мають рекомендаційний характер, не реєструються в Мін'юсті, та застосовуються усіма суб'єктами в сфері використання ядерної енергії;

– V рівень – НД, що розроблені експлуатуючими організаціями (операторами) ядерних установок, та погоджені органом державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки (ЯРБ).

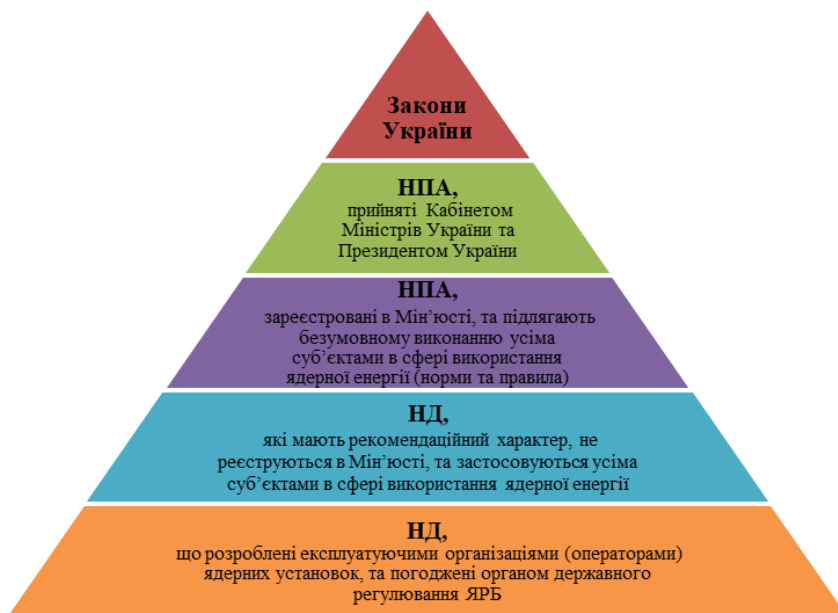


Рис. 1. Ієрархічна структура нормативно-правової бази з ядерної та радіаційної безпеки України

В Україні на законодавчому рівні закріплено (ст. 8 Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» [2]), що під час розробки національних нормативних вимог з ЯРБ враховуються рекомендації міжнародних організацій в сфері використання ядерної енергії.

Міжнародні вимоги з безпеки АЕС сформовані в стандартах Міжнародної Агенції з Атомної Енергії (МАГАТЕ), міжнародних конвенціях, Директивах Європейського Союзу і референтних рівнях Західноєвропейської Асоціації Ядерних Регуляторів (WENRA) та керівництвах Європейської мережі організацій технічної підтримки (ETSON).

Систематизоване зібрання НД з ЯРБ міститься в Базі даних «Фонд нормативних документів» ДНТЦ ЯРБ (БД «Фонд НД») [3], що призначена

для постійного зберігання НД та їх практичного використання. Структура БД «Фонд НД» зображена на рисунку 2.



Рис. 2. Структура Бази даних «Фонд нормативних документів» ДНТЦ ЯРБ

База даних «Фонд нормативних документів» ДНТЦ ЯРБ містить такі категорії документів: міждержавні стандарти (ГОСТ); національні стандарти України (ДСТУ, ДСТУ Б, ДБН, ВБН, НАПБ, СНіП), настановчі документи Держспоживстандарту України (КНД та Р); документи експлуатуючої організації; документи зарубіжних і міжнародних підприємств та організацій; НПА Верховної Ради України, Президента України, Кабінету Міністрів України та Ради національної безпеки і оборони України; НПА органів державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки (регулюючий орган та МОЗ); НПА органів державного регулювання у сфері використання ядерної енергії (Мінпаливенерго та МНС); документи колишнього СРСР.

2. Система навчання та перевірки знань з питань ЯРБ

Оскільки вимоги безпеки сформульовані в нормах, правилах та стандартах з ядерної безпеки то в усіх країнах на ядерних установках та радіаційно-небезпечних об'єктах (зокрема, АЕС) запроваджена система навчання, спрямована на вивчення керівниками та персоналом цих стандартів з наступною перевіркою щодо закріплення цих знань. Таке навчання та перевірку знань експлуатуюча організація здійснює самостійно.

Державна інспекція ядерного регулювання України (Держатомрегулювання), використовуючи вітчизняний досвід та кращу світову практику, закріплену в стандартах МАГАТЕ, визначила вимоги, яким має відповідати система навчання персоналу в галузі ядерної та радіаційної

безпеки. На основі цих вимог розроблено та впроваджено нормативно-правовий акт НП 306.1.187-2012 «Порядок проведення навчання і перевірки знань з питань ядерної та радіаційної безпеки для персоналу експлуатуючої організації (оператора) та юридичних осіб, які залучаються експлуатуючими організаціями як підрядники» [4].

У загальному вигляді система навчання і перевірки знань у персоналу має забезпечити той факт, що персонал, допущений до самостійного виконання своїх обов'язків, відповідає кваліфікаційним вимогам, встановленим суб'єктом діяльності у сфері ЯРБ (підприємством, установою); пройшов відповідне навчання з питань ЯРБ; пройшов перевірку знань у встановленому законодавством порядку; знає, розуміє і дотримується вимог.

3. Інформаційні технології та засоби аналізу знань

Для дотримання зазначених вимог необхідно організувати навчання персоналу з питань ЯРБ з метою забезпечення його готовності до виконання своїх обов'язків відповідно до посадових інструкцій, кваліфікаційних вимог та з урахуванням вимог щодо формування та підтримки культури безпеки [5]. Навчання персоналу полягає в ознайомленні з вимогами законодавства, норм, правил і стандартів з ЯРБ, а також з практичними аспектами дотримання вимог безпеки на підприємстві суб'єкта діяльності, включаючи ознайомлення з прикладами впровадження принципів культури безпеки.

Для удосконалення процесу навчання і перевірки знань запропоновано розробити ряд інформаційних технологій та програмних засобів. Наразі продовжується розробка таких засобів:

- інформаційні технології аналізу, структуризації та корекції бази нормативних документів;
- інформаційні засоби, орієнтовані на систематизацію знань експерта в галузі екобезпеки та підтримку процесу навчання;
- програмні засоби перевірки знань і оцінювання компетентності фахівців.

- [1] Положення про систему нормативно-правового регулювання в сфері використання ядерної енергії, ядерної та радіаційної безпеки, затверджене наказом Держатомрегулювання від 01.06.2004 №05
- [2] Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку»
- [3] <https://sstc.ua/baza-npa>
- [4] НП 306.1.187-2012 «Порядок проведення навчання і перевірки знань з питань ядерної та радіаційної безпеки для персоналу експлуатуючої організації (оператора) та юридичних осіб, які залучаються експлуатуючими організаціями як підрядники»
- [5] Валігун, Н., Гуменюк, Д., Єсипенко, Ю., Зелений, О., Печериця, О., & Шевченко, І. (2020). Актуальні напрями освітньої діяльності ДНТЦ ЯРБ. Ядерна та радіаційна безпека, №2(86), 4-12. [https://doi.org/10.32918/nrs.2020.2\(86\).01](https://doi.org/10.32918/nrs.2020.2(86).01)

СПОСІБ АНАЛІЗУВАННЯ РИЗИКІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЇХ ЗВ'ЯЗКІВ

Враховуючи розвиток інформаційних технологій, глобальний перехід бізнесу на віддалену роботу в умовах епідемії коронавірусу, актуальним постає питання захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах. Одним з основних підходів до забезпечення інформаційної безпеки є створення систем управління інформаційною безпекою (далі - СУІБ). Одним з етапів побудови СУІБ є аналіз ризиків інформаційної безпеки (далі - ІБ) [1].

Ризик ІБ визначається як добуток імовірності реалізації ризику та обсягів можливих збитків. Однак не вирішеним залишається питання глибини аналізу ризиків ІБ. Надмірна кількість ризиків може зупинити процес створення СУІБ на етапі їх обробки, так як може потребувати надлишкових трудових та матеріальних витрат.

Додатково при обробці ризиків ІБ повинна бути врахована можливість появи нових ризиків ІБ, що має визначити оптимальне рішення для обробки ризику. Звісно, передбачити всі ризики є неможливим, прикладом чого є пандемія COVID-19 [2].

Так як поява нових ризиків ІБ має причинно-наслідкові зв'язки доцільним є об'єднати їх у множини ризиків. Таких множин може бути декілька відповідно до різних факторів, що можуть вплинути на використання інформаційного активу для досягнення цілей організації. Зобразивши такі ризики на площині та об'єднавши їх векторами отримаємо певного роду топологію ризиків ІБ.

Використання таких топологій може бути використано для прогнозування появи можливих ризиків в разі зміни функціонального призначення інформаційно-телекомунікаційної системи та оброблення існуючих ризиків.

Математичний опис такого підходу з використанням теорії множин може бути використаний для розробки нейронних мереж, що можуть навчатися як самостійно, так і з учителем.

Автоматизація процесу управління ризиками ІБ сприятиме оперативному прийняттю рішень з забезпечення кіберзахисту, обґрунтуванню керівництву організації потреб для ефективного захисту інформації.

- [1] «ДСТУ ISO/IEC 27001:2015 МЕТОДИ ЗАХИСТУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ,» ДП "УкрНДНЦ", 2016. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.assistem.kiev.ua/doc/dstu_ISO-IEC_27001_2015.pdf. Дата звернення: 06 12 2020.
- [2] Finalle, P. and Rodriguez, C., 2021. COVID-19 Survey: Secure Remote Access. [Електронний ресурс] IDC, 2020: The premier global market intelligence company. Доступно: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US46238220> Дата звернення: 05 05 2021.

R-CNN ДЕТЕКТОР ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИБІРКОВОГО ПОШУКУ

Широко використовуваними підходами до виявлення об'єктів в комп'ютерному зорі є методи на основі характерних ознак, зокрема використання «ковзаючих вікон» і «пірамід зображень». Для вбудованих систем застосування традиційних підходів сильно позначається на продуктивності й визначенні об'єктів в цілому, тому для розв'язання цієї задачі пропонуються інші підходи, такі як «пропозиція області» та «вибірковий пошук». Ці методи працюють досить ефективно, дозволяючи досить точно працювати з візуальною інформацією, але теж не позбавлені недоліків. Опис цих недоліків було показано в статті з виявлення об'єктів з використанням глибокого навчання [1]. Отже, назважаючи на значний прогрес в цій галузі, на цей час залишаються невіршеними такі питання:

1. Навчання мережі на власних наборах даних.
2. Навчання мережі за допомогою «вибіркового пошуку».
3. Вплив використання «вибіркового пошуку» на сценарій виявлення об'єктів.

Для отримання відповідей на вищевказані питання, для виявлення об'єктів у вбудованій системі був використаний підхід «вибіркового пошуку», поряд з невеликою кількістю пост-обробки, який дозволив ідентифікувати області вхідного зображення, а також дозволив дізнатися, що містить, а що не містить потенційний об'єкт інтересу. Отримані ідентифіковані області, були використані в якості навчальних даних. Навчання детектора R-CNN виконувалося на власних попередньо підготовлених датасетах, отриманих від спостереження за одним видом тварин (в нашому випадку це *Chinchilla lanigera*). Набір містить 165 зображень. Для вимірювання точності виявлення об'єктів була використана метрика Intersection over Union (IoU) або «перетин по об'єднанню» [2]:

$$IoU = \frac{AoO}{AoU}$$

де *AoO* – площа перетину, *AoU* – площа об'єднання.

Для вирішення проблеми мульти-визначення (коли один і той же об'єкт визначається декілька разів на тому самому зображенні з різною точністю) був застосований метод подавлення максимальних значень – Non-Maximum Suppression (NMS), який дозволив подавити слабші виявлення, залишивши при цьому одне. Експериментальним шляхом, було виявлено, що використання NMS не впливає на точність виявлення об'єктів.

Навчання та використання мережі здійснювалось за допомогою Keras та TensorFlow на одноплатному комп'ютері NVIDIA Jetson Nano Developer Kit (V2). Отримані результати точності і втрат представлені на рис. 1.

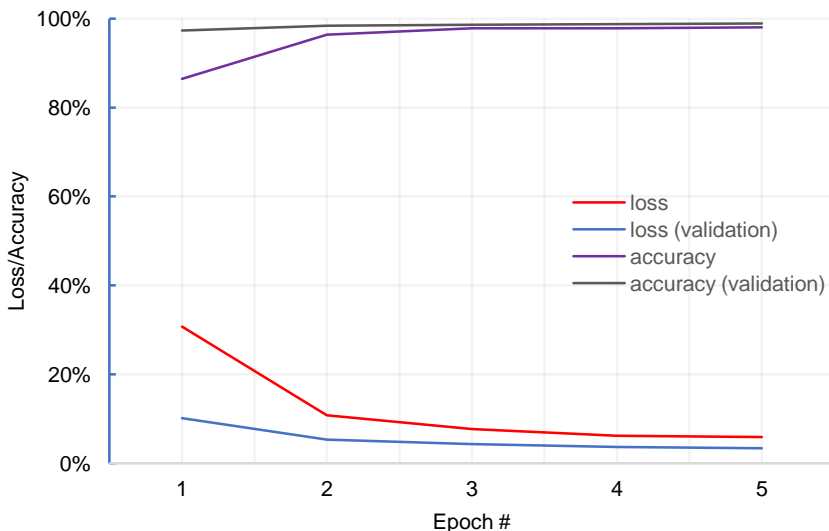


Рис. 1. Криві точності і втрат для налаштування ключового компонента – класифікатора MobileNet V2.

Таким чином, проведені дослідження показали, що навчання мережі за допомогою «вибіркового пошуку» на власних наборах даних можливе за умови використання зазначених додаткових засобів та підходів. Як показує наш тренувальний графік, є невеликі ознаки перенавчання мережі. На тестовому наборі даних отримано точність виявлення об'єктів в діапазоні 0.98-0.99. Встановлено, що використання «вибіркового пошуку» не чинить значного впливу на сценарій виявлення потенційних об'єктів.

- [1] Ross Girshick, Jeff Donahue, Trevor Darrell, Jitendra Malik (2014) Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. <https://arxiv.org/abs/1311.2524>
- [2] Hamid Rezaatofighi, Nathan Tsoi, JunYoung Gwak, Amir Sadeghian, Ian Reid, Silvio Savarese (2019) Generalized Intersection over Union: A Metric and A Loss for Bounding Box Regression. <https://arxiv.org/abs/1902.09630>

Г.В. Анфімова

КАЛІБРУВАННЯ АПАРАТУРИ РЕЄСТРАЦІЇ МІКРОСЕЙСМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЕМОНСТРАТОРА НИЗЬКОЧАСТОТНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ВІБРОКАЛІБРУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Завдання створення технічних засобів моніторингу сейсмічної активності має високу актуальність. В роботах [1, 2] розглянуті деякі ризики негативних техногенних подій в результаті господарської діяльності людини.

На базі напрацювань, одержаних в рамках НДР "МОНІТОР" та "НОВІНТЕХ" групою "Технічна діагностика" Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, зі створення реєстраторів вібросигналів, розроблено багатоканальний вхідний модуль [2, 3] для систем різного призначення. Розширений динамічний діапазон (24 розряди), гальванічна роз'язка між каналами і лінійність АЧХ в робочій області дозволяють істотно підвищити інформаційну ефективність систем діагностування і прогнозування (див. Рис. 1).

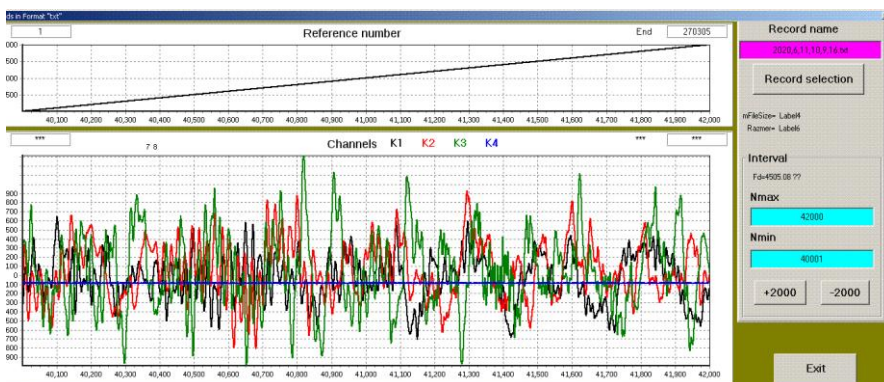


Рис. 1. Приклад запису мікросейсмічної активності

Для виконання наскрізного низькочастотного (0,1 Гц – 15 Гц) калібрування вимірювальних каналів (включаючи віброперетворювачі) спільно з ДП "Укрметрестандарт" в 2020 р. розроблено вимірювальний блок НАВКУ-3 [4]. На 2021 р. заплановано створення низькочастотного вібростенду зі збільшеною амплітудою вібропереміщення (-0,7 м ... +0,7 м), який повинен працювати під управлінням блоку НАВКУ-3.

На даний момент прийняті технічні рішення і алгоритми відпрацьовуються на демонстраторі вібростенду, виконаному на базі струминного принтеру.

- [1] Анфімова Г.В. Актуальність і перспективи створення технічних засобів моніторингу сейсмічної активності в проблемних регіонах. Науково-практична конференція «Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації», ПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України, Київ, 20.12.2019р. – С. 36-38.
- [2] Щербина С.В., Фещенко А.І., Владимирський О.А., Криворучко І.П., Іващенко А.П., Адаменко О.В. Сертифікована автоматизована цифрова система оцінки стану безпеки різних об'єктів. Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 86. 2019.
- [3] Владимирський А.А., Анфімова Г.В. Разработка программного обеспечения регистратора сейсмической активности. XXXVIII науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. Збірник тез конференції. Київ. 15 травня 2020 р. С. 73.
- [4] Владимирський О.А., Владимирський І.А., Іващенко А.П., Криворучко І.П. Розробка структури низькочастотної автоматизованої віброкалібрувальної установки НАВКУ-3. Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 89. Київ, 2019. С. 45-49.

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський, І.П. Криворучко

ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНИХ ВИМІРЮВАНЬ У ТЕЧЕШУКАЧАХ А-20Т ТА А-10Т ПРИ ПОШУКУ ВИТОКІВ ТРУБОПРОВІДІВ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Акустичні течешукачі типу А-20 та А-10Т розробки ППМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України, крім основного режиму акустичних вимірювань, у якості допоміжного, мають режим теплотиметричних вимірювань. Тепловий сенсор цих приладів має розподільчу здатність $0,03^{\circ}\text{C}$ і застосовується у теплових мережах переважно у випадках занадто малого тиску в трубах, коли акустичний режим не спрацьовує, чи коли результати застосування акустичного режиму доцільно перевірити за іншим методом. Приклади наведено відповідно на рис.1 та рис.2.

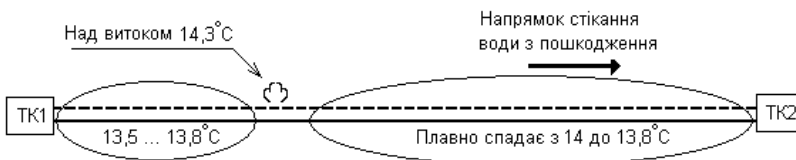


Рис. 1. Пошук витоків на вул. Жмеринська, 14 м.Києва.

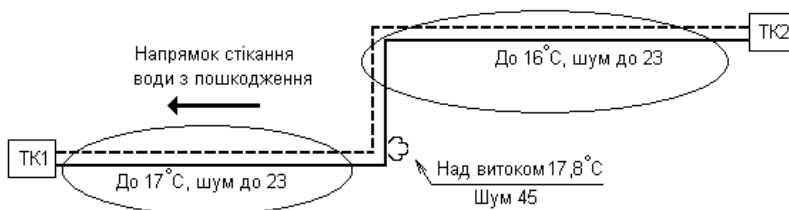


Рис. 2. Пошук витоків на вул. Зодчих 60/1 м. Києва.

Табл.1. Параметри трубопроводів

Рис.	Параметри прокладання		Температура, °C	Діаметр тр- да, мм
	Тип	Глибина,М		
1	Непрорідний канал	1,5-2	65/50	400
2	Непрорідний канал	2	65/42	150

Індикаторами місця витoku при прокладці труб у непрохідних каналах, як правило, є наявність не тільки аномальної за температурою плями у ґрунті, а ще й границі нагрітого та не нагрітого ґрунту теплоносієм, який звичайно стікає в одну чи іншу сторону від витoku до теплової камери по каналу прокладання.

Практично, поєднання в одному течешукачі акустичного та теплометричного режимів пошуку витоків та використання отриманих комбінованих вимірювань виявилось дуже ефективним, бо обидва режими застосовуються при вирішенні однієї задачі і, за умовами позитивного застосування, доповнюють один одного. Але, що стосується поєднання акустичного та температурного сенсорів у єдиному конструктиві датчика [1,2], то це виявилось не оптимальним. Пошук витoku за акустичною та тепловою ознаками, методично, потрібно виконувати послідовно. При цьому температурний сенсор є чутливим до механічних навантажень, які є звичайними при роботі за акустичною ознакою - на гравії, пагорбах і т.і.. Тому у подальших розробках [3], акустичний і тепловий датчики конструктивно виконуються окремо.

- [1] Владимирский А.А Владимирский И.А Разработка термо-акустического течеискателя А-20Т Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 52, Київ, 2009р.- с.54-56.
- [2] Владимирский А.А., Владимирский И.А Разработка термо-акустического течеискателя А-10Т Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 57, Київ, 2010р.-с.31-34.
- [3] Владимирский А.А., Владимирский И.А., Криворучко И.П. Термоакустический течеискатель А-10ТЗ. XXXVIII науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. Збірник тез конференції. Київ. 15 травня 2020р. – С 72.

М.Ю. Комаров, С.Ф. Гончар, А.В. Ониськова, В.В. Ткаченко, С.М. Сергеев

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ КІБЕРЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Забезпечення кіберзахисту інформаційних систем та мереж об'єктів критичної інфраструктури, зокрема підприємств електроенергетики при реалізації заходів протидії сучасним кіберзагрозам є невід'ємною частиною політики безпеки інформації підприємств енергетичної галузі [1-5]. Аналізуючи загальні загрози безпеці інформації при розробці політики безпеки на підприємстві енергетичного сектору, необхідно враховувати специфіку його функціонування, а також брати до уваги технологічну та функціональну специфіку обробки інформації, що циркулює на відповідних об'єктах інформаційної діяльності.

Інформаційні мережі підприємств електроенергетики завжди значно відрізнялися від традиційних корпоративних мереж. Незважаючи на те що певна частина ресурсів мережі підприємства електроенергетики фактично використовується для корпоративних комунікацій, велика частина її інфраструктури призначена для обміну даними з промисловим обладнанням за допомогою різних протоколів. Спочатку мережі підприємств електроенергетики були розроблені з метою виконання єдиної задачі: забезпечувати операторів інформацією про стан електромережі. Кібербезпека не розглядалася навіть як віддалена перспектива. Фактично у ХХ столітті кібератаки були практично невідомі в промисловому середовищі. Навіть в процесі еволюції в сучасні інтелектуальні мережі оператори, як і раніше, забезпечували мінімальний захист інфраструктури службової мережі.

На початку ХХІ століття з'явилося нове розуміння потенційних збитків, до яких можуть призвести кібератаки. Це, в свою чергу, спонукало операторів приділяти більше уваги безпеці мереж, що мають критичне значення. Першим кроком став набір вимог NERC CIP, прийнятий у 2008 р. Проте кібербезпека розглядалася переважно в рамках її традиційного ІТ розуміння, і проблеми розглядалися та оброблялися в рамках такого розуміння усунення загроз.

Традиційно захист мережевих пристроїв засновано на двох базових елементах:

1) антивірусне програмне забезпечення – програмне забезпечення (ПЗ) певного типу, що працює на обчислювальній машині і використовує для аналізу комбінацію евристичних моделей поведінки разом з іншими моделями або сигнатурами та допомагає виявити шкідливе ПЗ, запущене на зараженій машині;

2) міжмережевий екран.

Механізм захисту в ранніх версіях міжмережевих екранів ґрунтувався на налаштованому заздалегідь знанні додатків, мережевих взаємозв'язків між

ними і механізму примусової підтримки існуючих взаємозв'язків. В цьому випадку обмінюватися даними можуть тільки підтверджені хости і додатки. У більш пізніх версіях міжмережових екранів було додано механізм Deep Packet Inspection (DPI), що привело до появи гібрида файєрвола антивіруса, який має можливість перевіряти характеристики даних, що проходять через міжмережвий екран.

- [1] Mokhor V., Gonchar S., Dybach O. Methods for the Total Risk Assessment of Cybersecurity of Critical Infrastructure Facilities. Nuclear and Radiation Safety, 2019, 2(82), pp. 4-8.
- [2] Гончар С.Ф. Оцінювання ризиків кібербезпеки інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури : монографія / С.Ф. Гончар. – Київ : «Альфа реклама», 2019. – 176с.
- [3] Komarov, M., Honchar, S., & Dimitriieva, D. (2021). Дослідження проблеми кіберживучості об'єктів критичної інформаційної інфраструктури. Ядерна та радіаційна безпека, 1(89), 59-66.
- [4] Комаров М.Ю. Аналіз та дослідження моделі порушника безпеки інформації для захищеного вузла інтернет доступу / Комаров М.Ю., Ониськова А.В., Гончар С.Ф. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2018. – Т.29(68). Ч.1. – №5. – С. 138-142.
- [5] Комаров М.Ю. Методика побудови системи управління інформаційною безпекою на об'єктах критичної інфраструктури / Комаров М.Ю., Гончар С.Ф. // Моделювання та інформаційні технології. – 2017. - №81. – С. 12-19.

А.В. Ониськова, С.Ф. Гончар, М.Ю. Комаров, В.В. Ткаченко, С.М. Сергеев

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАКЕТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КІБЕРБЕЗПЕКИ ТА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

У ХХ столітті почалась заміна традиційних мереж SONET, SDH, PDH (які використовувалися багато років) мережами на основі пакетних технологій. Існує безліч передумов такої заміни, проте, слід зазначити, що такий перехід істотно підвищує ризик появи кіберзагроз для електромереж [1-5]. Традиційна технологія SONET SDH значно менш вразлива для такого роду загроз, в порівнянні з пакетною технологією, через її природну статичність і відсутність рівня сигналізації. Крім того, статична природа мережі не дозволяє зловмисникам міняти своє розташування за бажанням. З іншого боку, пакетні технології дозволяють динамічно прокласти шлях до будь-якої точки мережі за допомогою системи адресації. Зрештою, деякі пакетні протоколи і технології мають рівень сигналізації, який робить їх особливо уразливими для кібератак.

Виробники промислового обладнання завжди дотримувалися спільної думки про те, що системи залишаються захищеними від кібератак до того часу, поки їх інтерфейси та комунікаційні структури тримаються в секреті від сторонніх осіб. Вони впевнено вважали, що, не маючи деталізованих специфікацій, зловмисники не зможуть обмінюватися даними з обладнанням (і ймовірно, навіть не стануть намагатися це робити). Багато хто погоджувався з тим, що такий підхід приховування інформації заблокує всі можливості для проведення кібератак на окремі пристрої або мережі.

- [1] Mokhor V., Gonchar S. The Idea of the Construction of the Algebra of Risks on the Basis of the Theory of Complex Numbers. *Electronic modeling*, 2018, Vol.40, no. 4, pp. 107-111.
- [2] Komarov M., Davydiuk A., Onyskova A., Tkachenko V., Honchar S. (2021) Requirements for a Taxonomy of Cyber Threats of Critical Infrastructure Facilities and an Analysis of Existing Approaches. In: Zaporozhets A., Artemchuk V. (eds) *Systems, Decision and Control in Energy II. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 346. Springer, Cham. 22 March 2021.
- [3] Ониськова А.В. Нормативний аспект побудови та впровадження системи управління інформаційною безпекою на об'єктах критичної інфраструктури / Комаров М.Ю., Гончар С.Ф., Ониськова А.В. // *Моделювання та інформаційні технології*. – 2017. - №82. – С. 40-48.
- [4] Ониськова А.В. Аналіз стандартів по забезпеченню кібербезпеки інтелектуальних мереж SMART GRID / Гончар С.Ф., Ониськова А.В. // *Моделювання та інформаційні технології*. – 2019. - №88. – С. 86-90.
- [5] Гончар С.Ф. Концепція створення автоматизованої системи управління кібербезпекою об'єктів критичної інфраструктури / Гончар С.Ф. // *Моделювання та інформаційні технології*. – 2017. - №83. – С. 70-76.

АНАЛІЗ КІБЕРАТАК НА РІВНІ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Дослідження літературних джерел показує, що існують дві великі групи атак, які пов'язані з мережевою технологією:

1. Атаки на рівні управління мережею (control plane) — деякі з сьогоднішніх пакетних мереж мають рівень управління, створений розробниками протоколів для спрощення надання каналів зв'язку. Можливість динамічно задавати пункти призначення за допомогою таких протоколів, як BGP і OSPF, дозволяє руйнування мережі або виведення її з ладу. Простим поширенням шкідливої інформації зловмисник може зробити так, що мережа відправлятиме трафік «в нікуди», створюючи кільця з маршрутів або виконуючи інші шкідливі дії. Фактично це дозволяє вивести з ладу всю мережу, використовуючи один інтерфейс. В протоколах, які використовують IP, MLPS і MPLPS-TP, окремий незахищений вузол може послужити причиною виходу з ладу всієї мережі. Саме це сталося в кінці 2010 р в Китаї, коли невірна інформація про маршрути від одного провайдера призвела до недоступності Інтернету.

Проблему ускладнює той факт, що мережі підприємств електроенергетики зазвичай мають досить велику кількість фізично незахищених місць. Зловмисник може легко проникнути на автоматичну підстанцію, ввести шкідливу інформацію в мережу і повністю деактивувати її.

2. Атаки на рівні передачі даних (data plane) — атаки Denial of Service (DoS) є класичним прикладом атак при передачі даних. Зазвичай DoS атаки бомбардують ціль безліччю фальшивих запитів на з'єднання, що призводить до виснаження ресурсів приймаючої сторони настільки, що вона ледве встигає обробляти дійсні запити. Іноді всі ресурси виснажуються і система стає повністю недоступною. DoS атаки є простими у виконанні, вони націлені на саму чутливу частину мережі — здатність до активного з'єднання. Для підприємства електроенергетики втрата зв'язку з RTU або обладнанням релейного захисту може дуже швидко привести до втрати контролю над електромережею і відключення електроенергії на значній території. Тому DoS атаки особливо небезпечні для внутрішніх службових мереж. Однак DoS атаки не є єдиним серйозним типом атак на рівні передачі даних. Інші атаки включають перехоплення мережеских ресурсів і напад на станції управління.

Поєднання атак 1 і 2 становить значну загрозу, яка неминуче присутня в мережі. Уразливість залежить від архітектури і реалізації мережі і її можна виправити або звести до мінімуму в результаті перегляду мережевої архітектури.

- [1] Мохор В.В. Дослідження правомірності подання ризиків векторами у евклідовому просторі / Мохор В.В., Гончар С.Ф. // Електронне моделювання. – 2019. – Т.41. – №4. – С. 73-84.
- [2] Сергєєв С.М., Ониськова А.В., Гончар С.Ф., та ін. Аналіз основних технологій виявлення вторгнень для забезпечення кібербезпеки автоматизованих систем класу 3 : Збірник тез XXXVII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів ПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, Київ, 2020. – С. 108-113.
- [3] Комаров М.Ю. Аналіз механізмів безпеки системи управління базами даних Oracle Database 12С enterprise Edition / Комаров М.Ю., Гончар С.Ф. // Моделювання та інформаційні технології. – 2018. - №85. – С. 107-116.
- [4] Гончар С.Ф. Методологія оцінки ризиків кібербезпеки інформаційної системи об'єктів критичної інфраструктури / Гончар С.Ф. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2019. – Т.30(69). Ч.1. – №4. – С. 40-44.
- [5] Гончар С.Ф. Анализ угроз и уязвимостей промышленных автоматизированных систем управления / Гончар С.Ф., Леоненко Г.П., Юдин О.Ю. // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – 2013. - №2(26). – С. 9-14.

В.В. Ткаченко, С.Ф. Гончар, А.В. Ониськова, М.Ю. Комаров, С.М. Сергеев

АНАЛІЗ УРАЗЛИВОСТЕЙ ДО КІБЕРАТАК ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Основною відмінною рисою мережі енергосистеми (ЕС) є використання протоколів управління (Industrial Control Protocol, відомі як протоколи SCADA, системи диспетчерського управління та збору даних) на додаток до стандартних корпоративних комунікацій. Системи SCADA використовуються не тільки в енергетиці, але і в мережі підприємств електроенергетики для управління критично важливим обладнанням. Втрата зв'язку з таким обладнанням або будь-які навіть незначні збої в системі зв'язку можуть швидко стати причиною виникнення катастрофічних ситуацій, що супроводжуються відключенням електроенергії на кілька днів, тижнів або навіть місяців. Тому безпека комунікаційної мережі має критичне значення [1-5]. Враховуючи те, як мало уваги було приділено забезпеченню безпеки в мережах ЕС на початкових етапах їх розробки, не дивний той факт, що в поточний момент ці мережі мають безліч вразливостей. Розглянемо вразливості, властиві початковим проектам мереж, а також сучасні засоби захисту.

Уразливості обладнання зв'язку з об'єктом (Remote Terminal Unit, RTU) і SCADA. При розробці промислових пристроїв і протоколів питання їх безпеки практично не враховувалися. В кращому варіанті захист здійснювався за допомогою підвищеної секретності. В даний час жоден з провідних протоколів SCADA (DNP3 в Північній Америці і MEK-101 в Європі) не має механізмів для виконання аутентифікації або перевірки будь-яких команд, які вони отримують. Цю вразливість було продемонстровано в рамках проекту Аврора в 2007 р. в національних лабораторіях Айдахо, в якому група хакерів мала пошкодити навчальну електростанцію. Хакери успішно проникли на навчальну електростанцію і запустили процес самознищення генератора. Поява вірусу STUXNET у 2010 р. стала черговим болючим нагадуванням про цю уразливість. Вірус STUXNET відправляв помилкові і шкідливі команди на Siemens PLC через множинні лазівки в захисті консолі управління.

Фірмові властивості обладнання RTU і SCADA також створюють проблеми. Через високу чутливість коду ПЗ промислового обладнання операторам мереж підприємств енергетики часто заборонено вносити зміни, такі як оновлення операційної системи або установка латочок в системі безпеки. В результаті існує безліч дірок в системі безпеки, які не покриваються існуючими виправленнями або іншим способом в RTU або промислового обладнанні, яке працює на стандартних операційних системах.

Зрештою, слабкі сторони підходу, заснованого тільки на секретності, обговорювалися багато разів, не тільки в згаданих вище випадках, але і ще на

конференції Black Hat, включаючи віддалене управління системами командування патрульною службою та дозаторами інсуліну.

Проведений аналіз показує, що одним з питань аналізу вразливостей, яке рідко розглядається, є мережева технологія, що використовується. Оскільки традиційні системи рідко піддавалися атакам, а більш сучасні мережі менше захищені, безпека мережевих технологій, що використовуються, не вивчалася належним чином.

- [1] Мохор В.В. Оцінювання ризиків кібербезпеки інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури / Мохор В.В., Гончар С.Ф. // Електронне моделювання. – 2019. – Т.41. – № 6. – С. 65-76.
- [2] Ткаченко В.В. Дослідження проблеми кіберживучості Об'єднаної енергосистеми України / Гончар С.Ф., Герасимов Р.П., Ткаченко В.В. // Електронне моделювання. – 2019. – Т.41. – №1. – С.43-53.
- [3] Ткаченко В.В., Гончар С.Ф., Бурлаков В.М. Підходи до визначення захищеності комп'ютерних систем: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Обчислювальний інтелект», Ужгород, 2019. – С. 295-296.
- [4] Ткаченко В.В., Ониськова А.В., Гончар С.Ф., та ін. Аналіз загроз системи захисту інформації в SMART GRID системах на базі методів SREP і CORAS : Збірник тез XXXVII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, Київ, 2020. – С. 55-56
- [5] Гончар С.Ф. Методологічні засади розробки та впровадження систем захисту інформації на об'єктах критичної інфраструктури / Гончар С.Ф., Леоненко Г.П., Юдін О.Ю. // Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації. – 2014. - №1(25). С. 158-163.

НЕОБХІДНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАКОНОДАВЧОГО РЕГУЛЮВАННЯ РИЗИК - ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ПРИ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

В даний час в світі існує два основних підходи в сфері безпеки, які використовуються при проектуванні інформаційних систем:

- 1) верифікаційний підхід
- 2) ризик-орієнтований підхід

Верифікований підхід ґрунтується на тому, що існує якийсь перелік стандартів та їх вимог з описом головних ризиків і методів захисту від них. Прикладом такого підходу є набір документів і стандартів, які використовуються для створення Комплексної системи захисту інформації (далі - КСЗІ). Перевага такого підходу - можливість використовувати набір стандартних заходів щодо захисту, недолік же полягає в тому - що ресурси можуть витратитися на нівелювання малоімовірних ризиків, і при цьому - з переліку заходів можуть випасти заходи, які стосуються ризиків малоімовірних з точки зору стандартів, але актуальних для конкретної інформаційної системи.

Ризик-орієнтований підхід ґрунтується на тому, що спочатку проводиться аналіз ризиків і визначається ранжування ризиків по мірі імовірності. Після чого максимальні ресурси спрямовуються на захист від тих ризиків, які вважаються найбільш ймовірними і загрозливими. Інакше ризик-орієнтований підхід можна назвати підходом по-принципом «розумної достатності» або економічно-виправданим підходом в сфері інформаційної безпеки. Ключовими тезами такого підходу є:

- 1) абсолютно непереборної системи захисту створити неможливо;
- 2) необхідно дотримуватися балансу між витратами на забезпечення інформаційної безпеки і одержуванім ефектом, в тому числі і економічним, який полягає в зниженні втрат від інцидентів безпеки;
- 3) вартість засобів захисту повинна бути порівнянна з вартістю захищається і інших інформаційних ресурсів або активів (апаратних, програмних і т.п.);
- 4) витрати порушника на реалізацію ризику і доступ до інформації повинні перевищувати той ефект, який він отримає.

Кожен з цих підходів має свої сильні і слабкі сторони. Так сильними сторонами верифікаційної моделі є централізованість і універсальність інструментів і вимог щодо захисту, проте згідно з принципом діалектики Гегеля з переваг виникають і недоліки даного підходу, а саме: передбачуваність захисту і нездатність динамічно змінювати вимоги при появі нових загроз і ризиків, оскільки динамічна зміна державних вимог при верифікаційному підході дуже ускладнена через бюрократичні

процедури і неможливості одночасно аналізувати всі можливі нові ризики для будь-яких типів нових загроз.

Проблемою ж ризик-орієнтованого підходу є те, що, в разі якщо якийсь ризик не був достатньо прорахований або не був врахований (згідно з методологією Теорії Ігор, на якій і заснований ризик-орієнтований підхід) - захист від нього також буде відсутній.

При-цьому ризик-орієнтований підхід має дуже важливу перевагу, яке особливо актуально в умовах бюджетних оприлюднених і невисокої швидкості роботи нашого державного апарату, який частіше-всього накладаються на українські державні органи - він дозволяє змінювати підхід до захисту в конкретних випадках без зміни нормативної бази та проведення великого числа дорогих аудиторських процедур, просто модульно додаючи профілі захисту на основі аналізу нових ризиків.

В даний момент ризик-орієнтований підхід розробляється, як основа для нового законодавчого регулювання у фінансовому секторі, і це перший приклад в законодавстві України, коли на законодавчому рівні планується впровадження ризик-орієнтованого підходу (Проект ЗУ про Регулювання ринку фінансових послуг). Дуже важливо не зупинятися на досягнутому, і продовжити впровадження ризик-орієнтованого підходу в інших областях національного законодавства, особливо для об'єктів критичної інформаційної інфраструктури на об'єктах критичної інфраструктури до яких відносяться об'єкти енергетичного комплексу. На даний момент список об'єктів критичної інфраструктури сформовано лише для банківського сектору, повний список формується Державною службою спеціального зв'язку та захисту інформації України.

При проектуванні інформаційних і інформаційно-телекомунікаційних систем в критичній інфраструктурі основою для впровадження ризик-орієнтованого підходу є продовження впровадження міжнародних стандартів інформаційної та кібербезпеки, і їх розвитку в бік ризик-менеджменту. На даний момент в Україні в банківському секторі запроваджено стандарт ДСТУ (ISO) 27001:2015, який частково описує ризик-орієнтований підхід при забезпеченні інформаційної безпеки в банківському секторі, який також відноситься до списку критичної інфраструктури, слід розвинути цю практику і застосувати її до всієї сфери інформаційної безпеки в критичній інфраструктурі, особливо в енергетиці, забезпечивши прийняття на законодавчому рівні таких інших стандартів серії ISO 270xx, ISO310xx і Cobit 5, які більш детально описують підхід до використання управління ризиками.

Також необхідно затвердити список існуючих об'єктів критичної інфраструктури і вимоги до перспективних об'єктів, на яких необхідно впровадження ризик-орієнтованого підходу. Це дозволить не тільки відмовитися від надмірної, а іноді й неможливої, побудови комплексних систем захисту інформації в інформаційних та інформаційно-телекомунікаційних системах, а й залучати для цих робота провідних світових фахівців і міжнародну допомогу, що особливо актуально в умовах

поточної ситуації з постійними кібератаками на ключових об'єкти України і необхідність швидко і терміново вирішувати дану проблему.

При цьому варто враховувати, що побудова сучасних систем інформаційної та кібербезпеки вимагає розробки і затвердження на рівні держави нової методології побудови архітектури для державних інформаційних ресурсів і систем, яка буде універсальна для різних організацій і галузей, але базуватися на кращих міжнародних стандартах, таких як методологія TOGAF. Тільки комплексний підхід до даної проблематики дозволить вирішити поставлені перед державою, наукою та бізнесом завдання.

ОЦІНКА ПРИХОВАНИХ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ

Підвищення енергетичної ефективності технологічних систем в промисловості в основному досягалось впровадженням нових технологій, нового більш економічного обладнання. Меншою мірою впроваджувались організаційні підходи до економічного споживання енергії. Однак потенціал енергозбереження від організаційних підходів, заснованих на оперативному моніторингу, є досить значним [1].

В роботі досліджується споживання енергії як послідовність ділянок квазістаціонарного енергоспоживання. Моніторинг випадків відхилень енерговитрат від прийнятих «еталонів» ефективного енергоспоживання дає можливість оцінювати працездатність обладнання і передбачати його несправності шляхом виявлення певних закономірностей споживання енергії. Таким чином, моніторинг енергетичних втрат стає рушієм надійності обладнання, стабільності процесу та якості продукції.

Метою цієї роботи є розвиток методів моніторингу режимів енергоспоживання виробничих технологічних систем та оцінки прихованих енергетичних втрат.

Залежність енергоспоживання від сукупності технологічних параметрів, при відсутності випадкових неконтрольованих втрат енергії, будемо називати функцією ефективного енергоспоживання, а значення цієї функції при певних технологічних параметрах X – еталоном ефективного енергоспоживання E_{ef} .

$$E_{ef} = \varphi(X) \quad (1)$$

В більшості випадків при енергетичному менеджменті порівнюють поточне енергоспоживання з етальонним, отриманим з лінійної залежності «етальонного» енергоспоживання від контрольованих технологічних параметрів за методикою «Monitoring and Targeting» [2].

В основу оцінки і відслідковування етальонів ефективного енергоспоживання в даній роботі покладено методи аналізу прецедентів [3], побудованих на основі випадків квазістаціонарного енергоспоживання.

Потік похідних значень технологічних параметрів надходить до системи моніторингу у вигляді часового ряду. Синхронізація і подальший пошук співвідношення між вектором технологічних параметрів і інтенсивністю енергетичних витрат вирішується шляхом сегментації часового ряду і виділення з його складу ділянок стаціонарності, які в подальшому будуть розглядатись як прецеденти енергоспоживання.

Мета процедури сегментації часового ряду режимних параметрів полягає в поділі потоку даних на окремі непересічні ділянки із схожими характеристиками і виділенні серед них ділянок з ознаками стаціонарності [4]. Для формалізації відносин між елементами ряду вводиться спеціальна

функція ціни входу в сегмент $cost\{S\}$, яка визначає відносини між елементами ряду. В даній роботі, для сегментації часового ряду пропонується використовувати функцію відстані d між елементами X_j та X_i часового ряду в k -мірному Евклідовому просторі режимних параметрів X :

$$Cost\{S\}=d(X_j, X_i)=\sqrt{(x_{11} - x_{1i})^2 + (x_{21} - x_{2i})^2 + \dots + (x_{k1} - x_{ki})^2} \quad (2)$$

Умова включення чергової, i -тої, групи отриманих режимних параметрів X_i , E_i до чергового сегменту S , що заповнюється даними, має вигляд:

$$Cost\{S\}= d(X_i, X_i) \leq \sigma \quad (3)$$

де: σ – порогове значення, яке визначається емпіричним шляхом.

Отримані таким чином прецеденти утворюють у n -мірному просторі впливових технологічних параметрів $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ хмару моделей квазістаціонарних станів технологічної системи з різними оцінками енергоспоживання. У цій хмарі прецеденти з мінімальним енергоспоживанням утворюють поверхню випадків ефективного енергоспоживання.

$$E_{ef} = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4)$$

Міркування, засновані на аналізі прецедентів, полягають в розшукуванні серед усіх зафіксованих прецедентів найближчих сусідів до поточного та побудові лінійної апроксимації функції еталонного енергоспоживання по найближчим сусідам. Пошук найближчих сусідів проводиться серед великої кількості прецедентів. Для спрощення цієї процедури залучається механізм кластеризації.

Кожен з кластерів характеризується початковим радіусом R_i і глибиною існування ΔR . Початковий радіус кластера це відстань між нульовим прецедентом $Case_0$ та ближньою до нього межею кластера. Область існування кластеру це множина прецедентів $Case_j$, які задовольняють умові $R_i \leq d(Case_0, Case_j) < R_i + \Delta R$.

Алгоритм кластеризації це функція, яка кожному прецеденту ставить у відповідність ідентифікатор кластера $n \in N$, при цьому множина N заздалегідь невідома.

$$n_i = R_i = \left\lfloor \frac{d(Case_0, Case_j)}{\Delta R} \right\rfloor \quad (5)$$

По знайденим найближчим сусідам до поточного кластера виконується апроксимація функції ефективного енергоспоживання. Для цього розраховуються коефіцієнти регресії $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ функції ефективного енергоспоживання для i -го прецедента за методом найменших квадратів:

$$E_{efi} = b_0 + b_1 M_i(X_1) + b_2 M_i(X_2) + \dots + b_n M_i(X_n) \quad (6)$$

Для оцінки прихованих енергетичних втрат розраховується різниця ΔE_i між отриманим на попередньому етапі значенням E_{efi} і енергоспоживанням поточного прецеденту E_i :

$$\Delta E_i = E_{efi} - E_i \quad (7)$$

В залежності від отриманого значення ΔE_i робимо висновок про енергетичну ефективність роботи обладнання, яке піддається моніторингу. Якщо $\Delta E_i \approx 0$, вважається, що обладнання працює ефективно, якщо $\Delta E_i > 0$, обладнання працює із зниженими енерговитратами, якщо $\Delta E_i < 0$, обладнання працює з енергетичними втратами, розмір яких досягає відповідно ΔE_i .

Висновки.

1. З метою вирішення актуальної проблеми підвищення енергетичної ефективності промислових і комунальних підприємств пропонується метод пошуку і оцінки прихованих енергетичних втрат, заснований на контролі та аналізі технологічних параметрів.

2. Використання моделей прецедентів стаціонарного енергоспоживання дозволяє автоматизувати розрахунок еталонів ефективного енергоспоживання в різних режимах роботи обладнання.

3. Запропонований метод оцінки прихованих енергетичних втрат дозволяє підвищити енергетичну ефективність підприємства за рахунок своєчасного впровадження заходів енергозбереження.

- [1] Bunse, K., Vodicka, M., Schönsleben, P., Brühlhart, M., Ernst, F.O. "Integrating energy efficiency performance in production management - gap analysis between industrial needs and scientific literature". Journal of Cleaner Production, 2010, Volume 19, P.p 667–679 CrossRefGoogle Scholar
- [2] Efficiency Direct, Energy Monitoring and Targeting [Online]. Available at: <https://efficiency-direct.co.uk/services/energy-monitoring-and-targeting/>
- [3] Варшавский П.П., Еремеев А.П., «Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений», Искусственный интеллект и принятие решений, 2009, №1, с. 45-57.
- [4] Shumway R.H., Stoffer D.S. "Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples", 3rd Edition, Springer, 2011, 609 p.

МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ПРОДУКЦІЇ В СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ІНДУСТРІЇ 4.0

У виробничому середовищі ці кіберфізичні системи складаються з розумних машин, систем зберігання та виробничих потужностей, здатних до автономного обміну інформацією, ініціювання дій та незалежного контролю один одного. Іншими словами, оптимізована Smart Factory дозволяє виконувати операції з мінімальним ручним втручанням та високою надійністю. Автоматизовані робочі процеси, синхронізація активів, вдосконалене відстеження та планування та оптимізоване споживання енергії, властиві розумній фабриці, можуть збільшити ефективність, час безвідмовної роботи та якість, а також зменшити витрати та витрати.

Моделювання системи дозволяє зменшити витрати, а також зменшити проміжок часу на розробку та підвищити якість продукту. Імітація всього середовища виробничої фабрики дозволяє провести аналіз, щоб дізнатись, на якому етапі виробництва можуть виникнути деякі проблеми, які можуть затримати виробництво продукту.

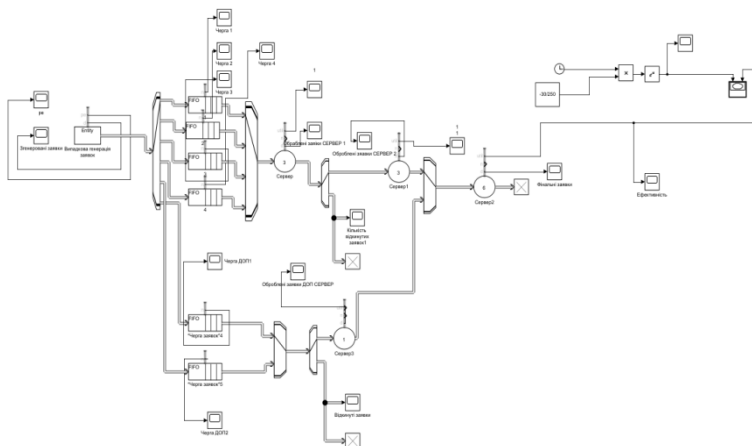


Рис.1 – Моделювана система управління життєвим циклом продукції

Система складається з чотирьох основних каналів FIFO, що є основним ресурсом для передачі заявок, у разі їх завантаження – вмикаються ще 2 резервних канали з меншою пропускну здатністю. Головні канали передають заявки на великий сервер, що реалізує вимоги певних заявок, ті заявки, які не змогли виконатися – йдуть на наступний, менш місткий сервер і обробляються там. Резервний канал також містить не потужний сервер, через що відбуваються відмови. Після обробки всі заявки йдуть на головний

сервер для зберігання в історію. На рис.2 зображено продуктивність каналного поділу системи (кількість отриманих даних за певний момент часу).

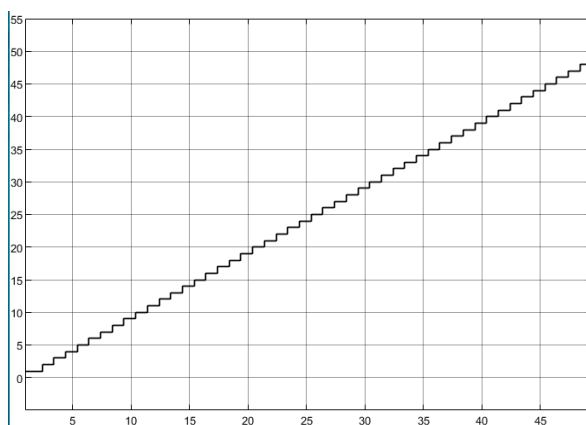


Рис.2 – Продуктивність системи

Інтелектуальна фабрика стосується не лише цифрової обробки процесів, а й ефективного використання енергії, оптимізації процесів та зменшення впливу на навколишнє середовище. На даний момент найкращим способом досягти цього негайно є використання моделювання. Процеси моделювання здійснюються за допомогою передових програмних засобів, які мають великий економічний вплив на виробничі фабрики. Візуалізація цих процесів сприяє економіці заводів, оскільки дозволяє передбачити ситуації, що можуть призвести до збитків, виявити слабкі місця та вдосконалити фази виробництва перед введенням їх в експлуатацію.

В даній системі буде використовуватися PLM (управління життєвим циклом продукції) елементи:

- електронне сховище файлів;
- керування робочим процесом та процесами для затвердження змін;
- вбудовані та спеціальні метадані та документи.

В результаті буде створена система, яка дозволить реалізувати завдання та вимоги головного сервера від початку робочого циклу до кінця на всіх етапах виробничого процесу. Очікується отримати ефективність роботи системи близькою 95% зі збільшенням часу тривалості процесу.

ПІДХОДИ ДО АПАРАТНОГО ПРИСКОРЕННЯ СИГНАТУРНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

У зв'язку зі зростанням мережевого трафіку, кількості кібератак та через зупинення частоти універсальних мікропроцесорів програмна реалізація сигнатурних засобів технічного захисту інформації вже не здатні впоратися з поставленими задачами. Тому розробники все частіше звертаються до апаратних рішень. При цьому в якості платформи зазвичай використовуються апаратні прискорювачі на базі ПЛІС, які поєднують в собі гнучкість програмного забезпечення та продуктивність спецпроцесорів [1]. Найбільш ресурсномісткою задачею реального часу в сигнатурних системах технічного захисту інформації (таких як системи виявлення вторгнень, додатки проти вірусів та спаму) є множинне розпізнавання патернів – фіксованих послідовностей символів. Від того успішності вирішення цієї задачі напряму залежить кінцева ефективність системи захисту в цілому [2].

Дана робота присвячена саме апаратній реалізації на базі ПЛІС згаданих систем технічного захисту інформації сигнатурного типу. З метою оцінки властивостей таких систем та їх компонентів, а також для порівняння різних підходів до побудови схем розпізнавання визначено та класифіковано потрібні показники ефективності. З'ясовано що найбільш результативними при побудові апаратних схем множинного розпізнавання патернів виявилися наступні три підходи та технології, на яких вони ґрунтуються: асоціативна пам'ять на базі цифрових компараторів; фільтр Блума на базі геш-функцій; алгоритм Ахо–Корасік на базі скінченних автоматів. Для кожного з напрямів наведено формалізований на якісному рівні огляд характерних особливостей в сенсі визначених показників ефективності, специфіки його практичної реалізації на ПЛІС, складнощі та проблеми, що при цьому виникають, та шляхи їх усунення. Проведено порівняльний аналіз згаданих підходів. Зроблено висновок, що жоден з них не демонструє явних переваг перед іншими, тому існує потреба в методах, які дозволили би поєднати різні підходи в єдиному пристрої, максимізуючи ефективність за рахунок реалізації переваг кожного з них.

- [1] Hilgurt S. Parallel combining different approaches to multi-pattern matching for FPGA-based security systems / S. Hilgurt // *Advances in cyber-physical systems*. – 2020. – Vol. 5, № 1. – P. 8-15. <http://science.lpnu.ua/acps/all-volumes-and-issues/volume-5-number-1-2020/parallel-combining-different-approaches-multi>
- [2] Гільгурт С. Методи побудови оптимальних схем розпізнавання для реконфігурованих засобів інформаційної безпеки / С. Гільгурт // *Безпека інформації*. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 74-81. DOI: 10.18372/2225-5036.25.13824

ORIGINAL ECOLOGY UNINTERRUPTED MODE OF WATER TREATMENT

Using of original ecology technologies gives the possibilities to reduce the energy and recourses consumption of different production. Innovative technologies have been improved by the application of modern scientific knowledge. One of the ways to produce low cost food products is application of a system where plants are grown in growth medium other than natural soil.

Prepared examples of water and water solutions were used as the model mediums in hydroponic system for experiments. Determination of change of potential of hydrogen of liquid samples of the model systems is carried out with use analogue pH-meter-millivoltmeter pH-150 M with external electrodes.

The main aspects of hydroponics growing are: the plant, growth medium or without it and water solution (water, nutrients, and fertilizers). The control of potential of hydrogen is extremely important, not only in hydroponics but in soil as well. Plants lose the ability to absorb different nutrients and fertilizers when the potential of hydrogen varies. In hydroponics system, potential of hydrogen is constantly changing during the plant grows. If potential of hydrogen changes less than 0,1 unit then this does not significantly affect. Therefore pH control is a requirement in hydroponic solutions, because the plant growth depends on this. The pH range from 5,5 to 7,5 is most favorable for the availability of nutrients from most water nutrient solutions. There are many methods of water treatment to receive water with necessary physical and chemical parameters and properties. They are including: acoustic treatment; the electromagnetic pulse effect of the low-frequency field; cavitation processing; emitting treatment: ultraviolet, ionizing, infrared, hydrodynamic effects. One of the innovative methods in the technology of the water treatment in the hydroponics system is a method of the alternating impulses of pressure. The aim of this studies it to treat water in hydroponics system by original ecology method such as alternating impulses of pressure for changing the pH of the hydroponics.

This study was carried out at the pilot unit designed and created at the IET HASU, the main part of the unit is a rotary pulsed apparatus in which realized alternating impulses of pressure. Through researches increases pH of the pure water on 15% have been established, thus the hydrogen potential of the water prepared on technology for hydroponic system has raised on 15-16,5%.

Investigational studies have shown that the method of the alternating impulses of pressure may be suitable for technology of water treatment in hydroponics system. As a result of research, it was found that the original ecology technology of water treatment by alternating impulses of pressure can greatly reduce energy, power and resource consumption, increase efficiency of the growing crops.

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ РОЗРЯДІВ ТА АНАЛІЗУ ОТРИМАНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Вступ. Метою даної роботи є розроблення моделі системи керування експериментальною установкою для дослідження високовольтних розрядів, що мають ініціювати фізичні процеси у аноді робочого діода. Результатом таких експериментів є нагрів екранів, що призначені для збору випромінювання, яке провокує зміну їх температури. У розроблюваній системі буде виконуватись керування лазерами, та зазором між катодом та анодом.

Розроблювана система призначена для проведення експериментів на установці. Суть експериментів полягає у тому, що потрібно визначити яким чином конфігурації параметрів, які можна задавати або вимірювати, впливають на виділення енергії у навколишнє середовище при пробі діода[1]. Ансамбль з лазерних променів призначений для створення плазми, яка має зробити процес пробою більш контрольованим та забезпечить більшу крутизну переднього та заднього фронту імпульса потужності[2].

Результатами проведених експериментів виступають зафіксовані зміни температури екранів або одного екрану зі значною площею поверхні. Важливою задачею є збір температурних даних, на основі яких буде вираховуватись зібрана енергія.

Основним завданням системи є збір даних про зафіксовану енергію, та пошук залежностей між параметрами експерименту та кількістю енергії, виділення якої було ініційовано пробоем у діоді при вищезгаданих параметрах експерименту[4]. У статті представлена модель, створена у програмному середовищі MATLAB, яка моделює процес отримання температурних даних, підрахунок зібраної енергії, зіставлення зібраної енергії з параметрами експерименту, вибір найбільш вдалих параметрів.

Алгоритм збору та обробки даних

Для створення моделі у MATLAB було обрано тип екранів, які збирають на себе теплову енергію. Для найбільш об'єктивної оцінки виділеної енергії було прийняте рішення встановити металеву сферу навколо діода, з певними вирізами, необхідними для підводу обладнання та забезпечення функціонування діода та лазерів. Таке рішення дозволяє перекрити максимальну площу навколо діода, та враховувати випромінювання, що розповсюджуються у всіх напрямках.

Отже, навколо діода встановлено металеву кулю, що поглинає теплову енергію. По «паралелях» кулі встановлені термопари, та для кожної паралелі вираховується середнє арифметичне значення температури. Таким чином з усіх рівнів давачів отримано t_1, t_2, \dots, t_n відповідно. Потім визначається

середнє арифметичне значення цих температур, що буде вважатися середньою температурою кулі $t_{c,k}$. Тоді зібрана енергія дорівнює :

$$E = c \cdot m \cdot (t_{a,s} - t_{a,s,0}) \quad (1)$$

де :

E – теплова енергія;

c – теплоємність матеріалу кулі;

m – маса кулі.

Параметр I – проміжок між катодом та анодом (проміжок в діоді) – параметр, що автоматично або в ручному режимі змінюється при кожному експерименті для того, аби визначити його оптимальну величину по критерію максимізації зібраної енергії. Вищезгаданий параметр має змінюватись у певному припустимому інтервалі, при чому можливі наступні підходи:

- 1) зміна між верхньою та нижньою межею з певним кроком;
- 2) зміна із застосуванням чисельних методів пошуку оптимуму.

Параметр T – затримка або випередження спрацьовування лазера відносно спрацьовування розрядників. T автоматично або в ручному режимі змінюється при кожному експерименті для того, аби визначити його оптимальну величину по критерію максимізації зібраної енергії. Вищезгаданий параметр має змінюватись у певному припустимому інтервалі, при чому можливі наступні підходи:

- 1) зміна між верхньою та нижньою межею з певним кроком;
- 2) зміна із застосуванням чисельного метода для пошуку оптимуму.

Спочатку встановлюється статичне значення T та проводяться експерименти з пошуку максимального енерговиділення (E) зі зміною I , знаходиться оптимальне I . Отримане значення I фіксується та запускається алгоритм пошуку оптимального T . Як результат – отримується оптимальна комбінація T, I .

Результатом роботи даного алгоритму є таблиця, що автоматично формується та містить у собі такі дані: E, I, T .

У таблиці виконується сортування по значенню E . Таким чином можна буде визначити при яких параметрах вдалось отримати найбільше теплової енергії.

Модель у MATLAB/Simulink

На основі вищеприписаного алгоритму було розроблено модель у середовищі Simulink, яка представлена на рис. 1.

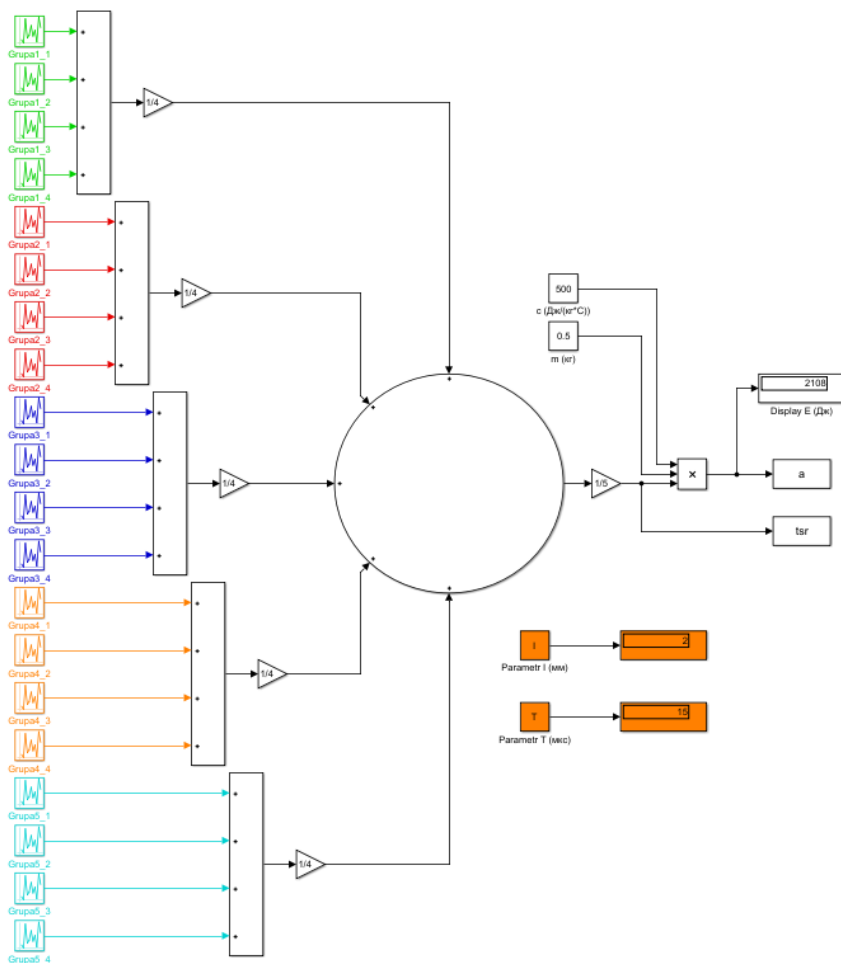


Рис. 1 – Модель у Simulink

Як видно з рис. 1, робота моделі розпочинається з надходження температур з термопар, що повністю співпадає з тим, як працює реальна система. Було створено 5 груп термопар, що розташовуються по п'яти, взаємно паралельним, горизонтальним площинам. «Grup1_1 – Grup1_4» - давачі температури, що розташовані концентрично відносно діода у площині, наближеній до полюса, зі сторони катода. «Grup2_1 – Grup2_4» - давачі температури, що знаходяться на ближчій до зазору та «екватора» сфери площині. «Grup3_1 – Grup3_4» - давачі температури на «екваторі» сфери, знаходяться на рівні зазору діода. «Grup4_1 – Grup4_4» - давачі, що симетричні до «Grup2_1 – Grup2_4». «Grup5_1 – Grup5_4» - давачі

температури, що розташовані концентрично відносно діода у площині, наближеній до полюса, зі сторони анода. У процесі моделювання ці температури, а точніше зміна температури, генеруються за допомогою створеного скрипта у MATLAB.

Наступний етап – це надходження змін температур на суматори. Тут відбувається складання змін температур з усіх давачів однієї групи. Для розрахунку середньої зміни температури сфери – середні зміни температури з усіх груп складаються та діляться на кількість груп. Оскільки товщина стінок сфери рівна – вищезгадана логіка розрахунку її середньої температури є припустимою. Енергія, поглинена сферою, може бути визначена за формулою (1).

В результаті отримана кількість енергії у Джоулях, що була зібрана сферою (рис.2.).

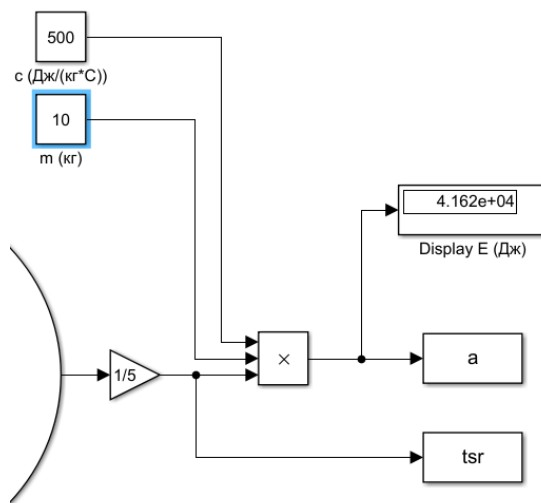


Рис. 2. – Підрахунок зібраної енергії та передача значень у Workspace

За допомогою програмного коду виконується перемикування параметрів установки, таких як зазор (l) та затримка спрацьовування лазерів (T). Значення цих величин також відображаються при кожному експерименті (ітерації спрацьовування моделі). Відображення цих параметрів показано на рисунку:

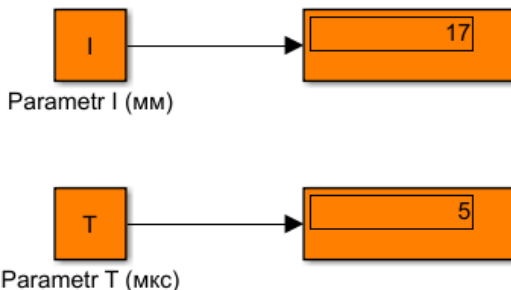


Рис. 3. – Відображення параметрів проведення експерименту

Параметр «l» характеризує зазор між катодом та анодом діода, що має вплив на результат експерименту та цей вплив потрібно зафіксувати та дослідити. Даний параметр, за фізичною моделлю повинен змінюватися в діапазоні від 1мм до 20мм.

Параметр «T» характеризує собою затримку спрацьовування лазерів, відносно замикання конденсаторів, що ініціює пробій діода. Високовольтний розряд відбудеться і без участі лазерів, що опромінюють катод (чи анод), але, як було зазначено раніше, лазерне опромінення металу створюватиме плазму у дослідній камері, що покращуватиме фізичні характеристики пробою діода. Підсвічування лазерами елементів діода є актуальним, як до замикання розрядників, так і після, тому значення затримки спрацьовування лазерів може бути, як від'ємним, так і додатнім.

Проведені експерименти записуються у таблицю зі стовпцями, що містять кількість поглиненої енергії сферою, значення затримки спрацьовування лазера, значення зазору в діоді. Рядки у вищезгаданій таблиці сортуються за значеннями у стовпчику з величинами «E» від більшого до меншого. Таким чином, результатом роботи даної моделі є таблиця, що по порядку показує оптимальні значення «T» та «l» по критерію максимізації енергії, та, власне, значення «E», що відповідає конкретним параметрам експерименту.

	1	2	3	4	5
1	1	4.3199e+04	8.6398	0	20
2	2	3.9100e+04	7.8199	0	15
3	3	4.0875e+04	8.1749	0	10
4	4	4.0303e+04	8.0606	0	5
5	5	4.0899e+04	8.1797	0	1
6	6	4.1979e+04	8.3958	0	16
7	7	4.3791e+04	8.7581	0	17
8	8	3.9774e+04	7.9549	0	18
9	9	4.0773e+04	8.1546	0	19
10	10	4.0650e+04	8.1299	0	20
11	11	4.1915e+04	8.3831	0	21
12	12	4.1817e+04	8.3634	0	22

Рис. 4. – Таблиця з результатами експериментів з наступними стовпцями: номер експерименту, значення енергії, значення середньої температури сфери, значення затримки спрацювання лазерів, значення зазору

Розроблення моделі у пакеті MATLAB

System Identification Toolbox – є одним з додатків MATLAB, що призначений для побудови математичних моделей динамічних систем. Для побудови моделей досліджуваних процесів необхідно задати масиви вхідних та вихідних даних, отриманих з експерименту. Вищезгаданий застосунок розглядає систему, як чорну скриньку, та будує модель спираючись тільки на інформацію про вхід та вихід об'єкта. Це робить даний інструмент зручним та корисним для створення математичних моделей динамічних систем [5].

Набір інструментів Identification Toolbox забезпечує такі методи як максимальна ймовірність, мінімізація похибок передбачення та системна ідентифікація підпростору. Для врахування нелінійної динаміки системи, застосовуються моделі Гаммерштейна-Вінера та нелінійні моделі ARX з нелінійною вейвлетною мережею, моделі з деревовидними розгалуженнями та сигмовидною мережею [3].

Для створення математичної моделі системи керування зазором та лазерами, у System Identification Toolbox було імпортовано дані про залежність отриманої енергії від зазору діода та затримки спрацювання лазерів. Таким чином вхідними змінними системи виступають значення «Т» та «І», а вихідними – значення «Е». Була проведена ідентифікація моделі процесу, що розглядається, за допомогою різних методів з метою пошуку математичної моделі, що найбільш точно відтворює досліджуваний процес. За параметром Best Fits, що відображує близькість математичної моделі реальній системі, було обрано такий метод ідентифікації, що найбільш точно відтворює реальну картину експериментів.

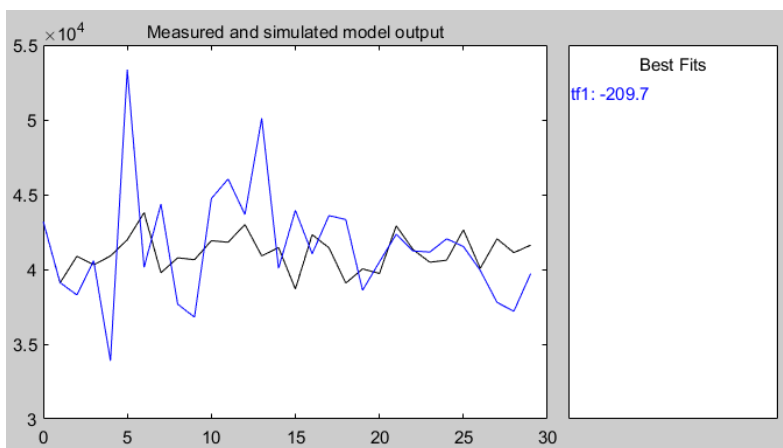


Рис.5. – Transfer function models

На рис.5 зображено порівняння роботи математичної моделі, що побудована методом Transfer function та реальної поведінки системи. З графіків та значення «Best Fits» можна зробити висновок, що побудована математична модель погано імітує поведінку реальної системи.

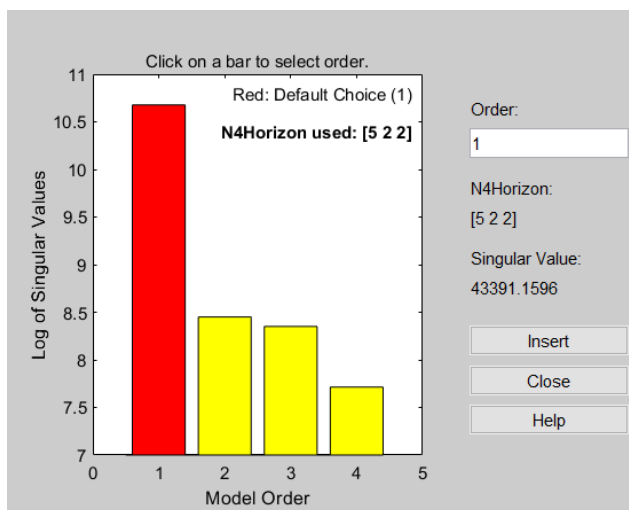


Рис. 6. – Вибір найкращої моделі зі State space models

Наступним типом моделі, що розглядався, є State space models. На рис. 6 зображено процес вибору порядку моделі. Дослідження показали, що збільшення порядку моделі простору станів не суттєво збільшує відповідність реальному процесу.

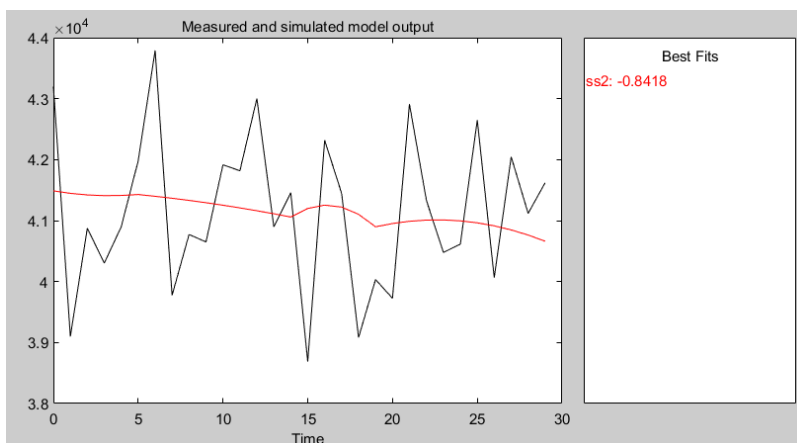


Рис. 7. – State space models

З рис. 7 можна зробити висновки, що модель побудована за допомогою «State space models» не справляється з відтворенням реальних значень експериментів.

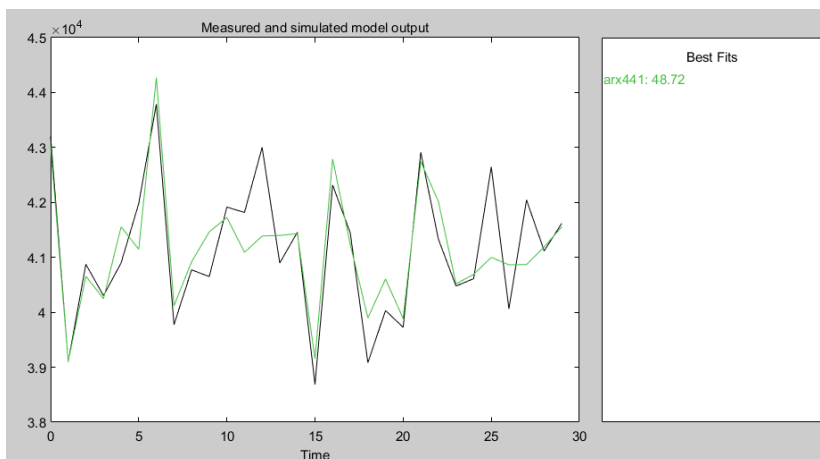


Рис. 8. – Polynomial models

На рис. 8 представлено графіки поведінки математичної моделі, що була створена за допомогою інструменту «Polynomial models». Можна стверджувати, що така модель вже відображає тенденцію поведінки реальної системи з точністю 48.72%.

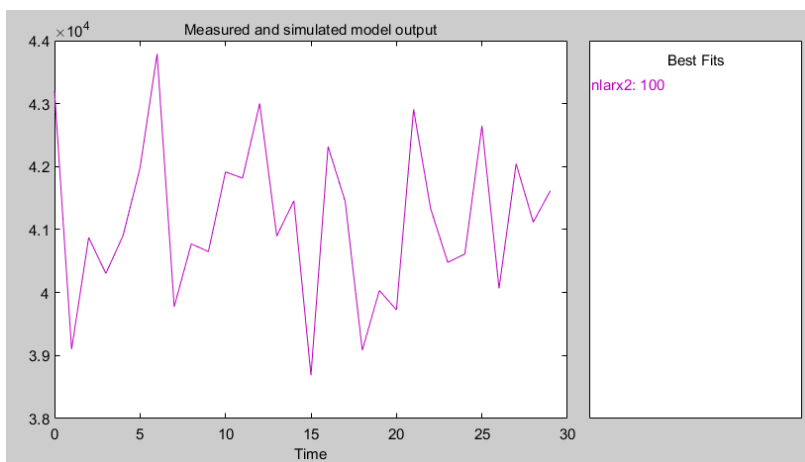


Рис. 9. – Nonlinear models (Sigmond Network)

Найкращий результат у створенні математичної моделі було досягнуто за допомогою «Nonlinear models (Sigmond Network)». Як видно з графіку та значення точності (рис. 9.) – така модель на 100% повторює поведінку системи.

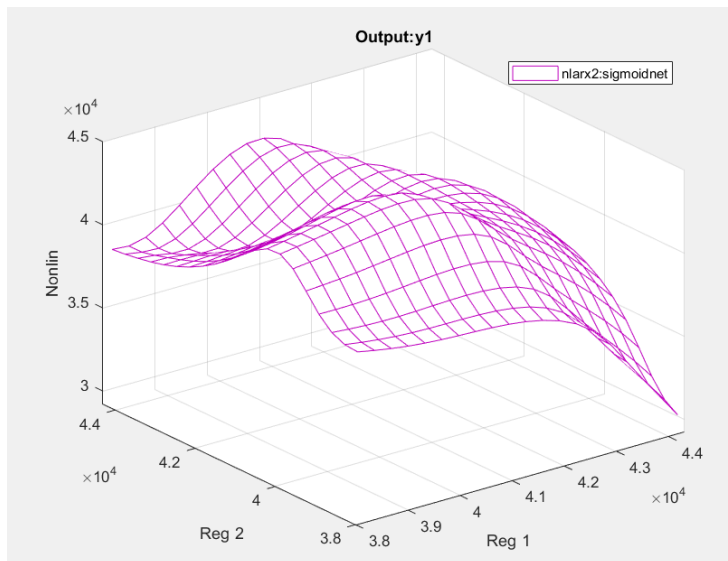


Рис. 10. – Nonlinear ARX model plot

Рис. 10 ілюструє тривимірне представлення моделі, що була створена за допомогою «Nonlinear models (Sigmond Network)».

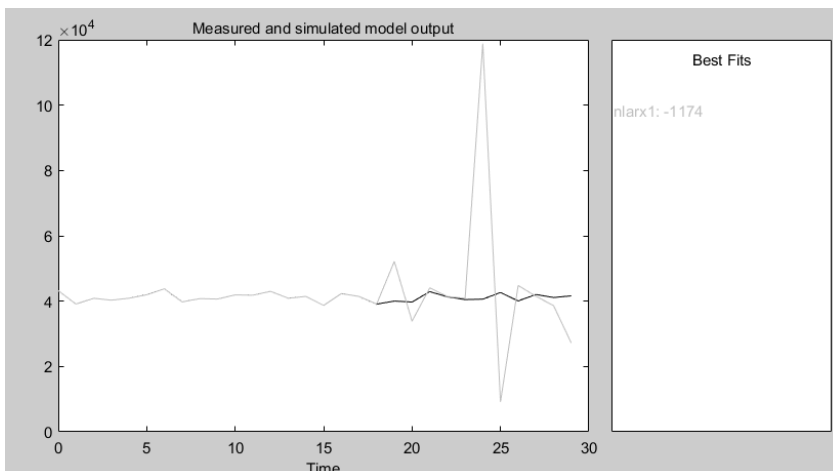


Рис. 11. – Nonlinear models (Wavelet Network)

Математична модель, що створювалась методом «Nonlinear models (Wavelet Network)» - зовсім не відповідає вхідним даним, що підтверджує рис. 11.

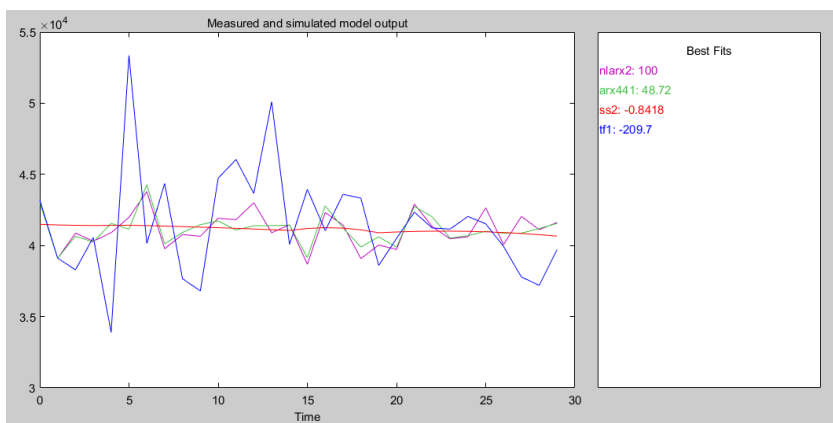


Рис. 12. – Результати моделювання у Identification toolbox

Як видно з графіків – найкраще процес відтворює Polynomial models та Nonlinear models (Wavelet Network). Створені математичні моделі можна перемістити у Simulink, де їх буде зручно використовувати. За допомогою утворених моделей можна виконати відтворення значення енергії для таких значень «I» та «T», які не були протестовані в експериментах.

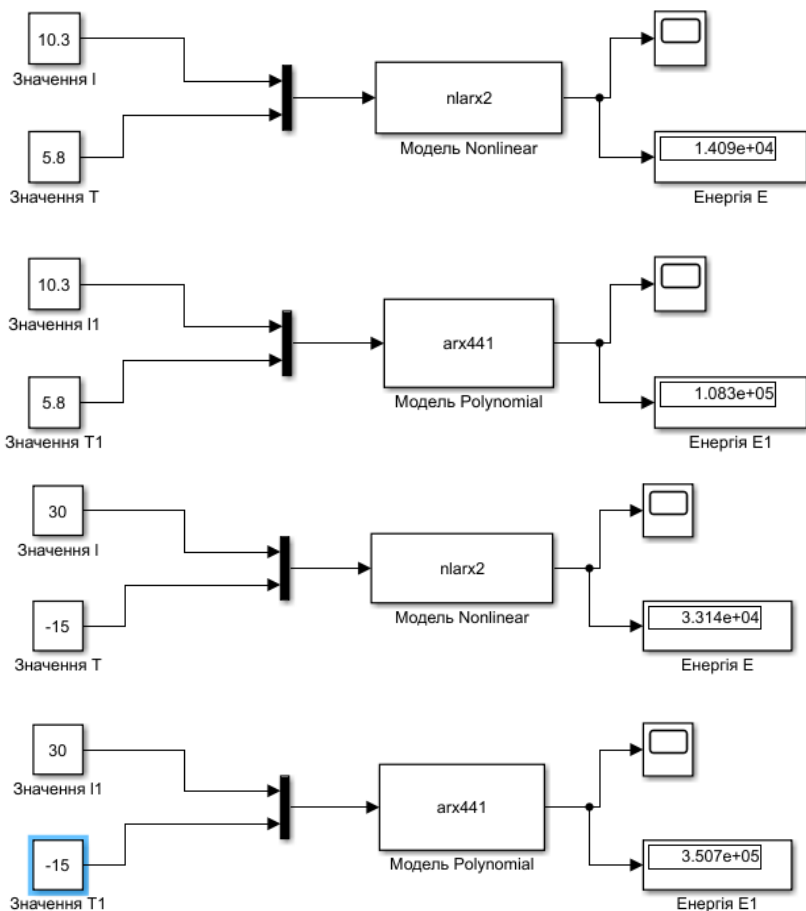


Рис. 13. – Прогнозування значення енергії

Для верифікації отриманих моделей було застосовано вибірку, яка не входила до даних, на основі яких створювалися моделі. Як видно з рис. 13, отримані значення енергії для Polynomial models та Nonlinear models відповідають реальним, що свідчить про адекватність отриманих моделей реальному процесу, що розглядається.

Висновок

Результатом описаної роботи та досліджень – є модель, що імітує реальний експеримент, отримує дані з давачів. Отримана інформація оброблюється на кожній ітерації за допомогою створеного алгоритму, що дозволяє зменшити кількість експериментів для пошуку найкращого результату. Отримані дані у автоматичному режимі оброблюються таким

чином, що знаходяться найбільш вдалі налаштування по критерію максимізації отриманої енергії. На основі змодельованих експериментальних даних було побудовано математичну модель процесу за допомогою MATLAB/Identification toolbox. Така математична модель дає змогу прогнозувати значення виходу системи (енергії) для подальших досліджень експериментальної установки.

- [1] Controlled Nucleosynthesis / Stanislav Adamenko, Franco Selleri, Alwyn van der Merwe. // Springer Science & Business Media. – 2007. – С. 16–40.
- [2] Factorial Design for Efficient Experimentation: Generating Informative Data for System Identification / Spall, J. C. // IEEE Control Systems Magazine, vol. 30(5) – 2010. - С. 38–53.
- [3] System identification / Torsten Söderström, Stoica P. // New York: Prentice Hall – 1998. – С. 5-8.
- [4] r-Process Nucleosynthesis in Hot Accretion Disk Flows from Black Hole-Neutron Star Mergers / R. Surman, G. C. McLaughlin, M. Ruffert, H.-Th. Janka, W. R. Hix. // The Astrophysical Journal 679. – 2008. – С. 5-30.
- [5] <https://www.mathworks.com/> (дата звернення 28.04.2020).

ЗАСОБИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ПРОМЕНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ

Найпоширеніші геліоенергетичні пристрої - сонячні фотоелектричні панелі і водонагрівальні колектори можуть використовувати тільки вузьку смугу сонячного електромагнітного спектра (рис.1 E_f , E_k).

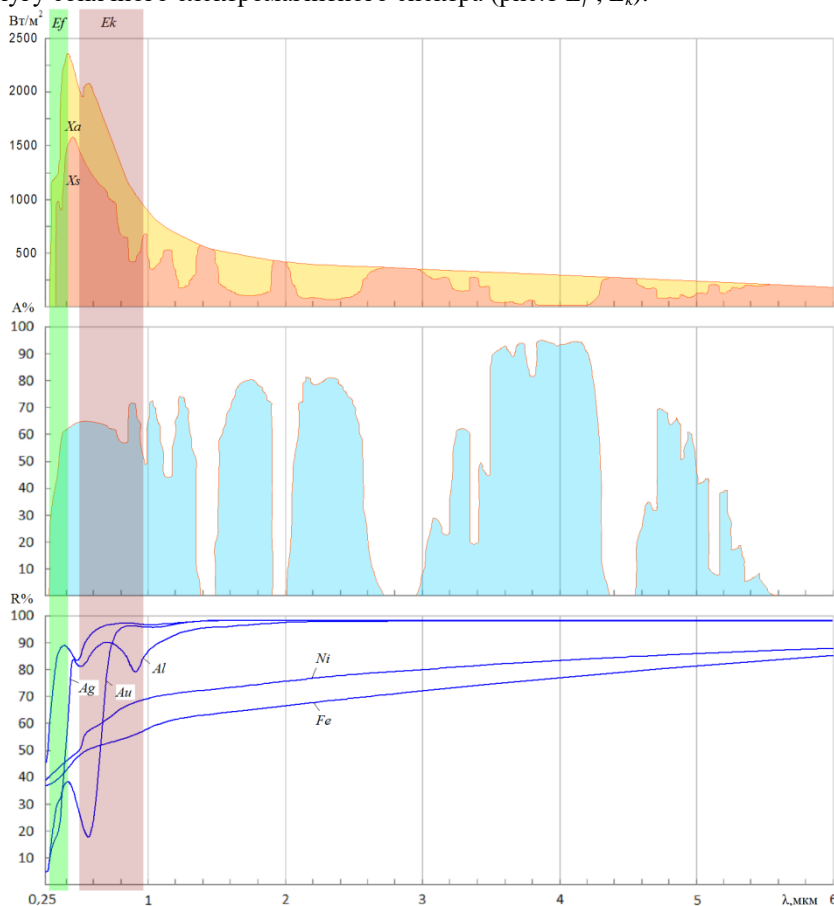


Рис. 1. Спектрограми сонячного електромагнітного випромінювання поглинаючої здатності атмосфери A [1] і відбиваючої здатності R деяких металів [2]; X_a і X_s — сонячне випромінювання за межами атмосфери і на поверхні землі, $\text{Вт}/\text{м}^2$; E_f і E_k — спектр, що використовується кремнієвими фотоелектричними панелями і водонагрівальними колекторами [3].

Як видно з рис. 1, велика частина сонячної енергії не використовується. Слід зазначити, що сонячний спектр в інфрачервоній області (більше 1 μm)

несе більше половини енергії сонячного випромінювання, причому має найбільший теплоенергетичний потенціал, а використання випромінювання інфрачервоних вікон атмосфери (рис.1 найменшого поглинання A) дозволить приймати сонячну енергію в похмуру погоду. Єдиний спосіб використовувати електромагнітний потік на цих частотах - збільшення енергетичної щільності за рахунок оптичної концентрації.

З малюнка 1 видно, що відбиваюча здатність R металевих дзеркал в інфрачервоній області практично дорівнює 100%, що з успіхом використовується при фокусуванні і управлінні плоскополяризованим лазерним променем. Однак при збільшенні енергетичної щільності сонячного випромінювання, навіть дзеркала з благородних металів (рис.1 Au, Ag) мають особливість нагріватися, що обумовлено властивостями поляризації сонячного випромінювання, через що, до слова, неможливе створення оптичних систем сонячних енергетичних концентраторів використовуючи звичайні дзеркала.

Залежно від поляризації, випромінювання має різну здатність віддзеркалення, що описують формули Френеля. Якщо коливання електричного вектора E перпендикулярні площині падіння то це s-поляризоване випромінювання, паралельно - p-поляризоване. З формул випливає, що p-поляризоване випромінювання має сильне поглинання в області кута Брюстера. Оскільки сонячне світло неполяризоване, в момент зустрічі з дзеркалом обидві поляризації рівновірогідні, через що при відбиванні поглинається до половини енергії сонячного випромінювання.

Виконано порівняльний аналіз оптичних систем концентраторів-коліматорів, які відрізняються способом формування високопотенційного пучка. Для кожного типу концентратора запропоновано варіанти періодичних структур та інші способи модифікації електромагнітних параметрів дзеркал, для зміщення кута Брюстера з області робочих кутів падіння, що забезпечить допустимі теплові режими роботи оптичних елементів сонячних концентраторів.

Отримані результати зроблять можливим створення сонячних концентраторів з пропускнуною спроможністю енергетичної складової, також будуть корисні при створенні оптоелектронних пристроїв, які мають в своєму складі оптичні дзеркала і працюють з неполяризованим випромінюванням, наприклад астрономічні телескопи або мікроскопи.

- [1] Козелкин В.В., Усольцев И.Ф. Основы инфракрасной техники. М.: Машиностроение, 1967, 304 с.
- [2] Либенсон М.Н., Яковлев Е.Б., Шандыбина Г.Д. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Конспект лекций. Ч. I. Поглощение лазерного излучения в веществе. / Под общей редакцией В.П. Вейко. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2008, 141 с.
- [3] Чернозьомов Є.С. Моделі енергетичного розподілу на межі розділу середовищ в щільних енергетичних полях системи сонячного концентратора// Електрон. моделювання, 2020, 42, №6, с. 34-55.

С.О. Зайцев, В.В. Кучанський

ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА КОРОНУВАННЯ ПРОВІДІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ

Визначення сумарних втрат потужності в лінії може бути досягнуто за рахунок різниці в вимірах потужності на кінцях лінії. В цьому випадку виникає задача поділу технологічних втрат і втрат потужності на корону [1-4]. Для вирішення цієї задачі використовується формула для визначення технологічних втрат і втрат на коронування в лінії електропередавання:

$$\Delta P = G \cdot (B^2 \cdot A1 - 6 \cdot (A2 + A3) + G^2 \cdot (R^2 + X) + 8) \cdot U^2 +$$

$$\left(\frac{G \cdot A1}{2} + R \right) \cdot \frac{P^2 + Q^2}{U^2} + ((A3 \cdot (3 \cdot A2 - 4(A3 - 4))) -$$

$$\frac{A4^2 + G^2 \cdot X^2}{2}) \cdot P + \left(\frac{A4 \cdot A2 - A4 \cdot A3 - 7 \cdot G \cdot A2}{2} - 15 \cdot G \cdot X \right) \cdot Q$$
(1)

де R – активний опір Ом; X – індуктивний опір Ом; G – активна провідність, См; B – реактивна провідність, См; U – номінальна напруга, кВ; P – активна потужність МВт, Q – реактивна потужність, МВар.

Для спрощення запису та подальших викладок в виразі (1) введено наступні коефіцієнти: $A=R^2+X^2$; $A2=BX$; $A3=GR$; $A4=BR$.

Тоді, для визначення втрат технологічної потужності маємо:

$$\Delta P^{Tech} = \frac{R \cdot (X \cdot B^2 \cdot Q^2 \cdot U^2 - R \cdot B^2 \cdot P \cdot U^2 - 2 \cdot B \cdot Q \cdot U^2 + 2 \cdot P^2 + 2 \cdot Q^2)}{2U^2}$$
(2)

для визначення втрат потужності на коронування проводів:

$$\Delta P^{Corona} = \frac{G \cdot (2 \cdot B^2 \cdot U^4 \cdot X^2 - 7 \cdot B \cdot Q \cdot U^2 \cdot X^2)}{2U^2} + \frac{G \cdot (2 \cdot G^2 \cdot U^4 \cdot X - 12 \cdot B \cdot U^4 \cdot X)}{2U^2} +$$

$$+ \frac{G \cdot (2 \cdot G^2 \cdot U^4 \cdot X^2 - G \cdot P \cdot U^2 \cdot X^2 + P^2 \cdot X^2 + Q^2 \cdot X^2)}{2U^2} + \frac{G \cdot (30 \cdot Q \cdot U^2 \cdot X^2 - 16 \cdot U^4)}{2U^2}$$
(3)

Аналіз загальних втрат активної потужності: ΔP^{Tech} та ΔP^{Corona} в типових режимах експлуатації лінії електропередавання виконані для наступних параметрів: $l=400$, км – довжина лінії, $U=750$, кВ – номінальна напруга лінії. Характеристики проводу 4хАС-400/93 наступні: $r_0=0.071$ Ом/км; $x_0=0.284$ Ом/км; $g_0=22.35 \cdot 10^{-9}$ См/км; $b_0=4.10 \cdot 10^{-6}$ См/км. Активна потужність $P=1000$, МВт та реактивна потужність $Q=400$, МВар. Таким чином втрати, які розраховані за аналітичними виразами (1-3) при таких параметрах лінії будуть: $\Delta P = 66,96 \text{ МВт}$, $\Delta P^{Tech} = 13,56 \text{ МВт}$ та $\Delta P^{Corona} = 53,37 \text{ МВт}$.

Для визначення втрат на реальних лініях електропередавання необхідно застосовувати системи вимірювання. Перспективними, у цьому разі, є

оптичні вимірювальні системи (ВМ) [5-7]. Ці системи, як правило складається з оптичного зонduючого елемента для вимірювання і аналізатора параметрів лінії, що повністю захищена від впливу полів навколишнього середовища, хоча їх реалізація і пов'язана з більш високими витратами коштів. На рис. 1 показано один з каналів для систем вимірювання втрат потужності коронного розряду в [2,4,8], який призначено для використання з мережею оптичних датчиків в надвисоковольтних ліній електропередавання. Принцип роботи оптичних вимірювальних систем заснований на електрооптичній модуляції світлової хвилі за рахунок зміни параметрів поляризованого світла під дією коронного розряду. В якості чутливого елемента в системі, що розроблена авторами в[2, 4,8] використано оптичну комірку Покельса.

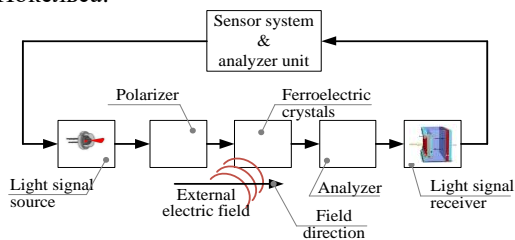


Рисунок 1 – Блок-діаграма системи оптичного вимірювача втрат потужності на корону

Функція перетворення одного оптичного сенсора (рис.1), має залежність на виході оптичної комірки Покельса у вигляді амплітудної модуляції сигналу від потужності коронного розряду. В цьому випадку, для визначення функцій перетворення сенсорів $L(\Phi)$, скористайтесь залежністю оптичного випромінювання в сенсорі від значення загасання оптичного світла в оптичній комірці Покельса. У цьому разі, $L(\Phi)$ розраховується як:

$$L(\Phi) = \Phi_0 \cdot K, \quad (3)$$

де Φ_0 – початкова потужність оптичного випромінювання на вході оптичної системи; K – коефіцієнт ослаблення оптичного світла в оптичному елементі Покельса і кількістю лазерного випромінювання на фотодетекторі.

На рис 2. показана конструкція чутливого елемента оптичного датчика електричного поля, в якій використано оптичний елемент Покельса.

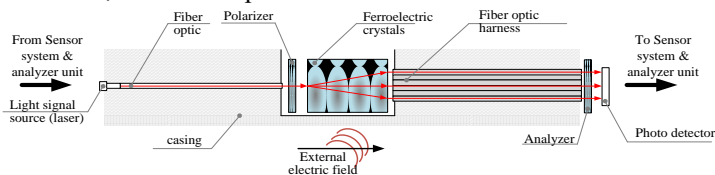


Рисунок 2 – Принцип роботи елемента оптичного зондування

Схематичне зображення охоплення трас ПЛ 750 кВ умовно "гарними" та "поганими" погодними умовами показано на рис. 3.

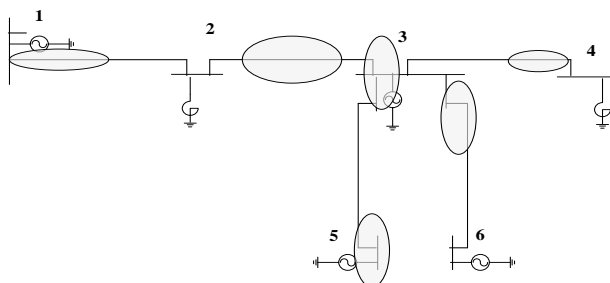


Рисунок 3 – Траса ПЛ 750 кВ із зонами впливу погодних умов

- [1] V. Kuznetsov, Y. Tugay, V. Kuchansky (2017) Influence of corona discharge on the internal overvoltages in highway electrical networks. *Technical electrodynamics*, (6) .55–60
- [2] Blinov, I. V., Zaitsev I.O., Kuchansky V.V. (2020). Problems, methods and means of monitoring power losses in overhead transmission lines. V.P. Babak, V. Isaenko, A.O. Zaporozhets (ред.). *Systems, Decision and Control in Energy I* (p. 123-136). Springer.
- [3] Kuchansky, V. (2016) Criteria of resonance overvoltages occurrence in abnormal conditions of extra high voltage transmission lines. *Scientific works of Vinnitsa National Technical University*. (4). 51–54.
- [4] V. Kuchansky and I. O. Zaitsev, "Corona Discharge Power Losses Measurement Systems in Extra High Voltage Transmissions Lines," 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 48-53, doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160088
- [5] Gundebommu S.L., Rubanenko O., Kuchansky V., Hunko I. Assessment of the Power Quality in Electric Networks with Wind Power Plants, in IEEE 7th international conference on energy Smart systems, Kyiv, Ukraine, May 12-14, 2020
- [6] Левицький А.С., Зайцев Є.О. Гібридні волоконно-оптичні вимірювачі контрольно-діагностичних параметрів гідрогенераторів // *Гідроенергетика України*. 2016. № 3-4. с. 32 – 33.
- [7] Зайцев Е.А., Сидорчук В.Е., Шпилька А.Н. Использование спектрального анализа методом Берга при построении программно-математического обеспечения оптических систем вибродиагностики. *Приборы и методы измерений*. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 186–194. DOI: 10.21122/2220-9506-2016-7-2-186-194
- [8] Зайцев Є.О., Кучанський В.В. Аналіз методів контролю втрат потужності на корону в лініях електропередавання. «Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку»: Всеукраїнська інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих вчених 20-21 листопада 2019 р., Київ, Україна. С. 14-16.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ КЕРОВАНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ МАГІСТРАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Численні спроби забезпечити відключення шунтувальні реакторів (ШР) у багатьох країнах закінчилися невдало [1-5]. Справа в тому, що при введенні режимів магістральних електричних мереж включення і відключення шунтувальні реакторів необхідно проводити не рідше, ніж один раз на тиждень, а в більшості випадків і частіше аж до щодобового. Наприклад, характерним випадком таких комутацій є добова зміна потужності, за якої частота комутацій ШР призводить до вичерпання ресурсів комутаційної апаратури. За кожної такої операції спрацьовується ресурс вимикачів, а реактор піддається впливу комутаційних перенапруг [2,3] та, як наслідок, ізоляція реактора швидко пошкоджується. Крім того, відключення шунтувальних реакторів небезпечно для всієї електричної мережі, оскільки при раптовому відключенні лінії вимушена складова перенапруг без шунтувальні реакторів виявляється значно вищою гранично допустимою.

Беручи до уваги всі ці міркування, практично у всіх країнах відмовилися від комутації шунтувальні реакторів, що визначає необхідність аналізу режиму передачі електроенергії по лініях при наявності керованих шунтувальні реакторів [2,4]. Тому доцільність використання КШР для ЛЕП НВН є обґрунтованим та перспективним заходом підвищення ефективності роботи магістральних електричних мереж.

Слід зазначити, що ефективне підвищення значення пропускної здатності потребує управління потоками активної і реактивної потужностей ЛЕП НВН. Одним із способів управління потокорозподілом активної і реактивної потужностей є використання гнучких (керованих) ліній електропередавання (ГЛЕП) змінного струму в рамках концепції Smart Grid [4,5], а також розвиток активно-адаптивної мережі електропостачання з використанням пристроїв регулювання реактивної потужністю у вигляді КШР. При цьому актуальним завданням стає дослідження режимів роботи ліній електропередавання надвисокої напруги з КШР.

Проблема використання КШР при припиненні ОАПВ полягає в тому, що для повного набору або скидання потужності необхідно набагато більш часу, ніж час тривалість існування безструмової паузи ОАПВ. В цьому випадку для збільшення пропускної здатності, необхідно використовувати STATCOM, який дозволяє швидше контролювати реактивні потоки потужності в лінії.

Використання STATCOM дозволяє забезпечити умови для гасіння повторної дуги струму при ОАПВ. Для розробки електропередавання змінного струму потужністю 750 кВ проблема забезпечення успішного спрацювання ОАПВ. Відновлювана напруга в точці короткого замикання під

час спрацювання ОАПВ збільшується пропорційно номінальній напрузі та довжині лінії. Таким чином, на лініях напругою 750 кВ, що компенсуються звичайними ШР, відновлення електричної напруженості дугового каналу протягом обмеженого часу після зупинки без струму не може відбутися.

Збільшення тривалості паузи ОАПВ ліній електропередавання може привести до порушення стійкості паралельної роботи енергосистем. Тому необхідно зменшити паузу ОАПВ до 0,3-0,4 с. Однак при довжині лінії 750 кВ 400-500 км через відносно невеликі втрати потужності в паузі будуть відбуватися слабо демпфувальні процеси в колі "лінійна ємність - ШР". Через коливальні процеси при припиненні ОАПВ можливе повторне виникнення дуги в точці короткого замикання [6]. В результаті цього ОАПВ буде невдалим.

Основне завдання, що виникає в зв'язку з використанням ОАПВ, полягає у визначенні необхідного для успішного здійсненні ОАПВ в кожній конкретній проєктованій або експлуатованій повітряній лінії електропередавання.

Запропонована апроксимація залежності часу згасання дуги з ймовірністю 0,9 від амплітуди струму живлення.

$$t_{spar} = 0.2 + 2.86 \cdot 10^{-3} \cdot I_{arc}, \quad (1)$$

Цей метод заснований на аналізі напруг (струмів) в розрахунковій схемі передачі потужності [2-6], яка включає в себе повітряну лінію електропередавання НВН і групи ШР, призначені для компенсації зарядної потужності, що генерується лінією. Основні електричні параметри повітряних ліній [4] з напругою 750 кВ були уточнені з урахуванням параметрів конкретних типів опор проєктованої повітряної лінії і з використанням методології розрахунку поздовжніх і поперечних параметрів повітряних ліній [5].

На рис. 1 показані зміни величини струму дуги в порівнянні з величиною індуктивності STATCOM, яка в цьому випадку компенсує надмірну ємність заряду.

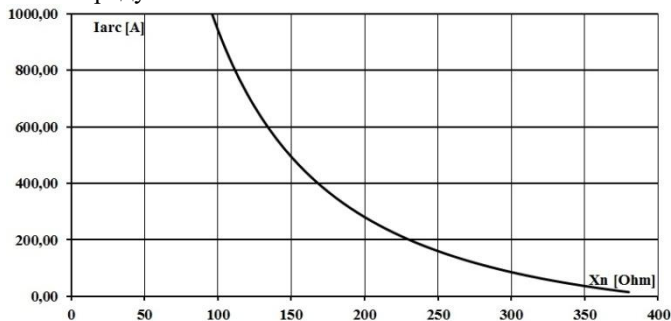


Рисунок 1 – Зменшення струму дуги за рахунок зміни індуктивності STATCOM

Рис. 1 ясно показує, як STATCOM, що працює в режимі індуктивності, зменшує струм дуги. Крім того, формула (1) може бути досліджена, тому що

тривалість паузи ОАПВ (рис. 2) зменшується за рахунок зміни індуктивності СТАТКОМ. При значеннях 250 Ом і вище можна домогтися значного скорочення тривалості ОАПВ.

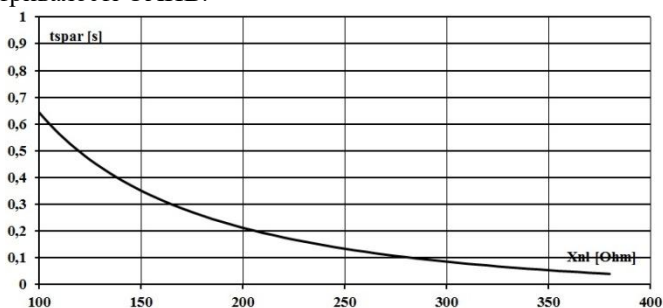


Рисунок 2 – Скорочення часу ОАПВ за рахунок зміни індуктивності СТАТКОМ

- [1] Kuchansky V., Malakhatka D., Ihor B. Application of reactive power compensation devices for increasing efficiency of bulk electrical power systems // 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – Kyiv, Ukraine, 12–14 May 2020. DOI: 10.1109/ESS50319.2020.9160072
- [2] V. Kuznetsov, Y. Tugay, V. Kuchansky (2017) Influence of corona discharge on the internal overvoltages in highway electrical networks. Technical electrodynamic, (6) .55–60
- [3] Blinov, I. V., Zaitsev I.O., Kuchansky V.V. (2020). Problems, methods and means of monitoring power losses in overhead transmission lines. V.P. Babak, V. Isaienko, A.O. Zaporozhets (ред.). Systems, Decision and Control in Energy I (p. 123-136). Springer.
- [4] Kuchansky, V. (2016) Criteria of resonance overvoltages occurrence in abnormal conditions of extra high voltage transmission lines. Scientific works of Vinnitsa National Technical University. (4). 51–54.
- [5] Кузнецов В. Г. Модель ЛЕП для дослідження аномальних перенапруг / В. Г. Кузнецов, Ю. І. Тугай, В. В. Кучанський // ХНТУСГ ім. П. Василенка. — 2011. — Вип. 116. — С. 41—43.
- [6] Gundeboom S.L., Rubanenko O., Kuchansky V., Hunko I. Assessment of the Power Quality in Electric Networks with Wind Power Plants, in IEEE 7th international conference on energy Smart systems, Kyiv, Ukraine, May 12-14, 2020

ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ НА ПРИКЛАДІ СМАРТ ФАБРИКИ

Індустрія 4.0 дозволяє виробничій галузі перейти від моделі “клієнт - сервер” до повної мобільності, яка об’єднує цифрові та фізичні середовища, тобто кібернетичні системи. Це досягається за рахунок інтеграції інформаційно-комунікаційних технологій з технологіями експлуатації, що дозволяє автоматизувати та оптимізувати нові шляхи та вивести смарт-фабрики на новий рівень.

Розумна фабрика являє собою крок вперед від більш традиційної автоматизації до повністю підключеної та гнучкої системи. Розумне виробництво визначається як повністю інтегровані спільні виробничі системи, які реагують у реальному часі на задоволення змінних вимог та умов на заводі, в мережі постачання та на потреби споживачів. Розумна індустрія - це синонім індустрії 4.0 або промислової трансформації в четвертій промисловій революції.

Розумна фабрика є виробничим рішенням у гнучкому та ефективному способі задовольнити потреби сучасного ринку та досягає інтеграції між різними промисловими та непромисловими партнерами, які будують динамічні та дуже часто віртуальні організації. Такий тип інтеграції пов’язує фізичні компоненти виробничої системи та цифрові, абстрактні, віртуальні компоненти в єдину систему, називається кіберфізичними системами[1].

У активній системі співробітники та системи можуть передбачати та діяти до виникнення проблем або проблем, а не просто реагувати на них після їх виникнення. Ця функція може включати виявлення аномалій, поповнення запасів та поповнення запасів, виявлення та прогнозне вирішення питань якості, а також моніторинг проблем безпеки та технічного обслуговування.

Для забезпечення узгодженості потоку даних при горизонтальному перетворенні від моделі до оперативної системи, а також у вертикальній інтеграції між рівнем автоматизації та рівнем підприємства, можна інтегрувати “Стандарти Вейхенштефана (WS)”, які широко використовуються в харчовій промисловості. WS – це стандартна інформаційна модель, що визначає універсальний комунікаційний інтерфейс для зв'язку між різними системами управління процесами та МОН. За допомогою WS обробка даних машини та процесів може бути послідовно визначена для функції MES. Для забезпечення мобільності моделей WS використовується як основна інформаційна модель[2].

На етапі моделювання необхідно моделювати систему, що відповідає вимогам на першому етапі, на основі результатів фази аналізу. Вихідні дані етапу моделювання – це закінчена графічна модель системи, що містить необхідну інформацію для трансформації та генерації на пізніших фазах.

Експлуатаційні витрати, такі як робоча сила та обладнання, зменшуються при використанні пакетної обробки. Це пов'язано з тим, що це позбавляє потреби в людських клерках та фізичному обладнанні, як комп'ютери. І оскільки обробка партії розроблена так, щоб вона була швидкою та ефективною, а також усувала людські помилки, ключовий персонал може зосередити свої зусилля на своїх щоденних обов'язках[3].

Система пакетної обробки даних дозволяє розподілити надходження заявок між двома чергами, тому це ефективний засіб обробки великих обсягів даних одночасно. На рис. 1 показано кількість заявок (зліва) в певний момент часу (знизу). Оскільки для великих фабрик потрібно випускати продукцію у великих кількостях та за короткий час, розроблена система завдяки резервним серверам та сховищам дозволяє реалізувати таку можливість. Якщо процеси не встигають виконуватися вчасно, тобто пакети заявок надходять, а минулі ще не пройшли, вони надсилаються на резервний сервер і там очікують своєї черги.

Одне застереження полягає в тому, що вхідні дані для обробки повинні бути вірними, інакше результати всієї партії будуть несправними.

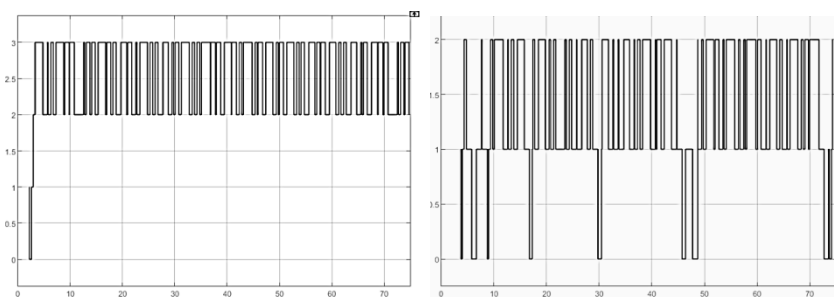


Рис. 1 – Розподілення заявок між чергами

Розумні рішення для автоматизації процесів можуть допомогти галузям промисловості зробити фабрики безпечнішими, тому немає серйозних інцидентів. Модульна автоматизація є одним із ключових слів у цьому контексті. Вона зменшує інвестиційні витрати, дозволяє випускати нові продукти на ринок і зробити виробництво більш гнучким. У випадку великомасштабних заводів можна помітити, що все більше і більше пакетних одиниць закупаються у вигляді модулів. Але навіть у пілотних проектах та невеликих виробництвах все більше людей покладається на модулі та основні закони виробництва.

Закони виробництва значною мірою походять від основних законів про гідравліку та черги. На ці закони не можна впливати, вони залишаються незмінними і становлять своєрідні не нові, але остаточно формалізовані основи виробництва. Ці теореми та наслідки описують внутрішні властивості виробничої системи. Поєднання застосованих принципів визначає кінцеву ефективність (рис 2). виробничої системи відповідно до виробничих законів.

В даному випадку ми отримали систему, яка показує найбільшу ефективність виробництва зі збільшенням часу роботи.

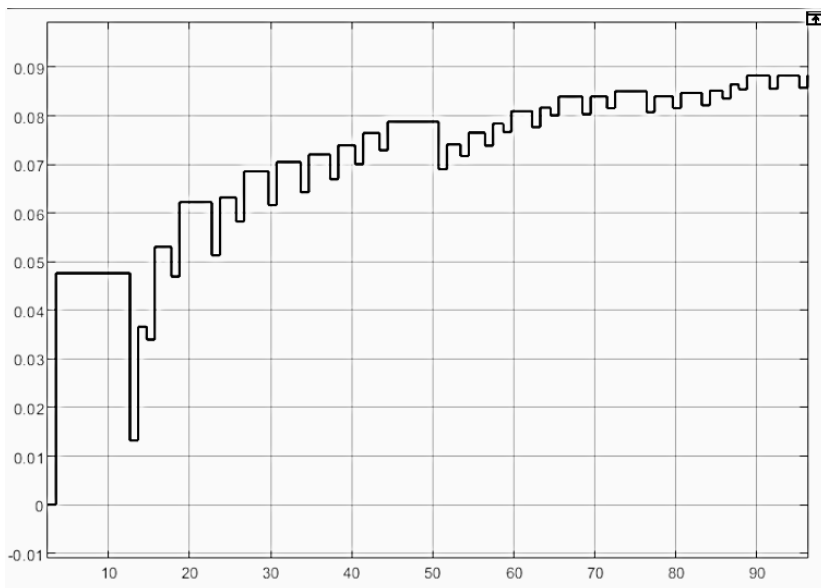


Рис. 2 – Ефективність пакетної обробки даних

В результаті роботи створено систему з резервними серверами та сховищами, що дозволяє реалізувати можливість випуску продукції у великих кількостях. Якщо процеси не встигають виконуватися вчасно, тобто пакети заявок надходять, а минулі ще не пройшли, вони надсилаються на резервний сервер і там очікують своєї черги. В залежності від часу роботи системи, система показує пряму залежність, тобто зі збільшенням часу роботи ефективність зростає.

- [1] International Society of Automation. ANSI/ISA-88.01-2010 Batch Control Part 1: Models and Terminology; International Society of Automation: Pittsburgh, PA, USA, 2010.
- [2] Wang, C.; Chen, X.; Soliman, A.-H.A.; Zhu, Z. RFID Based Manufacturing Process of Cloud MES. Future Internet 2018, 10, 104.
- [3] Vogel-Heuser, B.; Fay, A.; Schaefer, I.; Tichy, M. Evolution of software in automated production systems: Challenges and research directions. J. Syst. Softw. 2015, 110, 54–84.

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ОДНОРІДНОГО СТАТИЧНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ В ОКОЛИЦІ СТАЛЕВОЇ КОЛОНИ ЦИЛІНДРИЧНОГО І ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕТИНУ

Феромагнітні елементи будівельних конструкцій послаблюють статичне геомагнітне поле, що може негативно впливати на здоров'я і самопочуття населення [2]. При цьому інтенсивність ослаблення визначається формою граничної поверхні і величиною магнітної проникності феромагнітних елементів залізобетонних конструкцій, чисельне моделювання яких проводиться з використанням спрощених розрахункових моделей заповнених однорідним матеріалом з ефективною магнітною проникністю [1].

Для оцінки впливу форми граничної поверхні колони проведено моделювання в COMSOL Multiphysics розподілу індукції статичного магнітного поля (МП) поблизу поверхні залізобетонних колон циліндричного і квадратного перетину з однаковими габаритними розмірами $h = 6$ м і $d = 0,3$ м під дією повного вектора геомагнітного поля (50 мкТл).

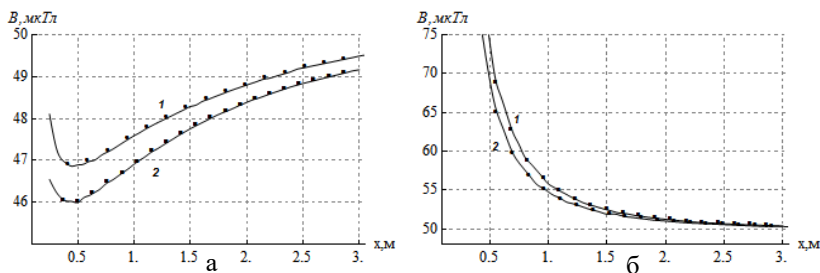


Рис. 1. Розподіл модуля вектора індукції МП (мкТл) у точках поблизу поверхні на торці (а) та у центрі (б) сталевій колоні циліндричного (1) і квадратного (2) перетину

У точках поблизу граничної поверхні торців колони різниця становить 7 %, в центральних точках на нормованій відстані 0,5 м – 1,9 %. Це підтверджує можливість проведення подальшого моделювання тільки для залізобетонних колон циліндричної форми і поширення отриманих результатів моделювання на широко використовувані при житловому будівництві колони квадратного перетину.

- [1] Розов В.Ю., Левина С.В. Моделирование статического геомагнитного поля внутри помещений современных жилых домов. Технічна електродинаміка. 2014. №4. С. 8-10.
- [2] Сердюк А.М., Григор'єв П.Є., Акіменко В.Я., Протас С.В. Екологічна значущість геомагнітного поля та медично-біологічні передумови гігієнічної регламентації його ослаблення в умовах України. Довкілля і здоров'я. 2010. № 3. С. 8-11.

МОДЕЛІ РЕЗЕРВУВАННЯ ПОСЛУГ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ОЕС УКРАЇНИ У ФУНКЦІЯХ ЦІНОУТВОРЕННЯ РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Впроваджена у 2019 році нова модель ринку електроенергії України стимулювала посилення конкурентного середовища в ряді ринкових сегментів [1-4]. Однією з особливостей нового ринку у порівнянні із попередньою моделлю «єдиного покупця» [2] є складність моделювання процесів ціноутворення в задачах оцінки впливу зовнішніх чинників на вартість електроенергії для кінцевого споживача [5, 6]. Наприклад, Оператор системи передачі (ОСП) на аукціонах ринку допоміжних послуг (ДП) замовляє резерви виробничих потужностей генераторів ТЕС на потреби регулювання режиму ОЕС України. Функціонування ринку ДП спричиняє вплив на вартість електроенергії для кінцевого споживача як явною складовою послуг диспетчерського управління, так і неявно чинником зміни структури попиту та пропозиції в організованих сегментах ринку електроенергії. Тому, для спрощення моделей оцінки впливу зовнішніх чинників на вартість електроенергії для кінцевого споживача, слід формалізувати властивості структури виробничих потужностей ОЕС України, використання яких дозволить вирішити поставлену задачу без потреби моделювання процесів ціноутворення на РДП.

Розглянемо загальні підходи щодо визначення рівня витрат, які покриваються складовими тарифу на диспетчерське (оперативно-технологічне) управління. Відомо, що ОСП має надавати послуги із забезпечення наступних складових підтримки режиму ОЕС України:

- регулювання частоти та активної потужності в ОЕС України [7], а саме забезпечення резервів підтримки частоти (первинне регулювання - ПРЧП), резервів відновлення частоти (вторинне регулювання - ВРЧП), резервів на заміщення задіяних у первинному та вторинному регулюванні потужностей (третинне регулювання);

- підтримання параметрів надійності та якості електричної енергії в ОЕС України, а саме: послуги регулювання напруги та реактивної потужності [8], послуги з забезпечення відновлення функціонування ОЕС України після системних аварій;

- інші послуги з метою забезпечення регулювання частоти та активної потужності, підтримання балансу потужності та енергії в ОЕС України та підтримання параметрів надійності і якості електричної енергії в ОЕС України.

З метою реалізації системних послуг для всіх учасників ринку, ОСП купує відповідні ДП у виробників та споживачів електроенергії. Основними складовими допоміжних послуг, які слід враховувати в інших сегментах ринку електроенергії, є обсяги резерву виробничих потужностей, виділених

на потреби регулювання режиму ОЕС України; технічні та економічні показники стану готовності енергоагрегатів електростанцій до надання ДП.

Компенсація витрат на стан готовності окремого енергоагрегату електростанцій є умовно постійною адитивною складовою тарифу ОСП. Обсяги резервів виробничих потужностей впливають на структуру пропозиції електроенергії в організованих сегментах ринку електроенергії України. Тому для окремого енергоагрегату при проведенні порівняльного аналізу кількох альтернативних варіантів функціонування ринку електроенергії ця складова є однаковою для кожного із таких варіантів і тому при порівняльному аналізі її допустимо не враховувати. Для оцінки впливу обсягів резервування виробничих потужностей електростанцій на результати моделювання конкурентних сегментів ринку електроенергії (зокрема на ринку «на добу наперед» - РДН), розглянемо типові зони завантаження генератора електростанції (рис. 1), що бере участь у наданні послуг ОСП.

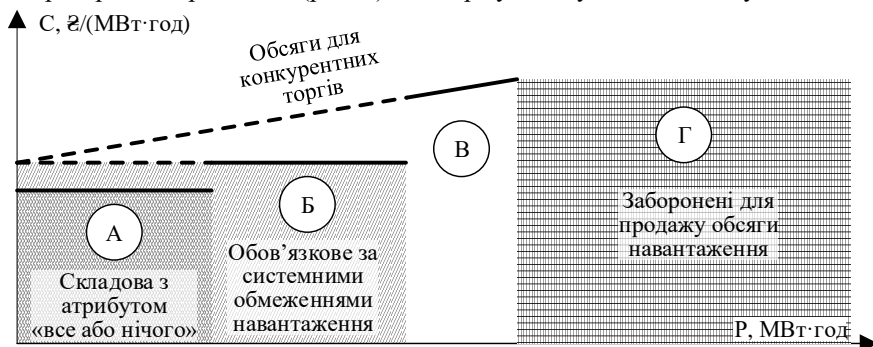


Рисунок 1 – Основні складові цінової пропозиції для завантаження генератора з огляду на надання допоміжних послуг

Характерні рівні завантаження генератора ТЕС, який бере участь у наданні ДП, наступна (рис. 1):

- область А – нижня межа мінімально стійкого навантаження генератора, нижче якої унеможливується стійке генерування електроенергії;

- область Б – нижня межа стану готовності генератора до регулювання режиму ОЕС України, нижче якої унеможливується надання допоміжних послуг;

- область В – верхня межа пропозиції електроенергії в ринкових сегментах; область Г – обсяг резерву допоміжних послуг в частині завантаження генератора ТЕС.

Для генераторів електростанцій означаються наступні рівні навантаження, в яких підтримується стан готовності до надання ДП:

- до 30% від номінального навантаження для блоків з газомазутними котлами;

- від 60% до 65% від номінального навантаження для блоків з пиловугільними котлами із сухим видаленням шлаку;
- від 65% до 75% від номінального навантаження для блоків з пиловугільними котлами з рідким видаленням шлаку.

Розглянемо детальніше наслідки виділення резервів виробничих потужностей під потреби регулювання режиму ОЕС України на прикладі розрахункової моделі РДН (рис. 2).

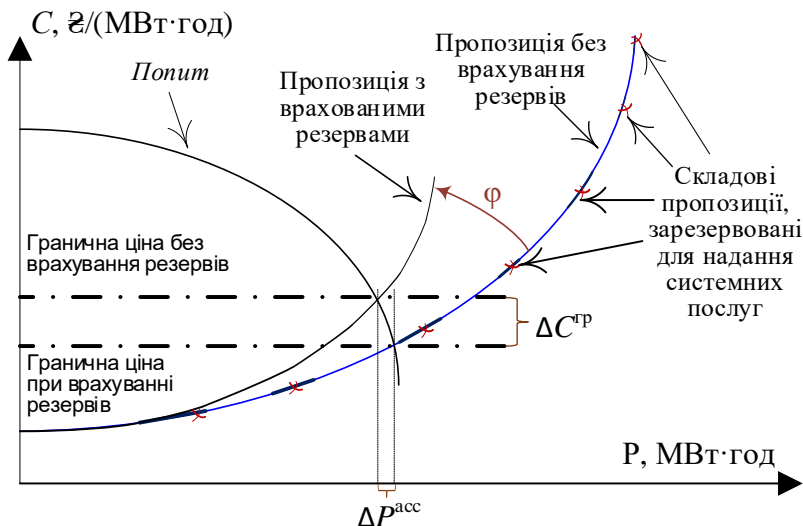


Рисунок 2 – Наслідки виділення резервів під регулювання режиму ОЕС на структуру пропозиції електроенергії

Для РДН України, в умовах обмеження максимальних цін, наразі характерний абсолютно еластичний попит, який в ряді практичних розрахункових задач можливо подати абсолютно нееластичним по ціні попитом. Тому оцінка впливу зовнішніх чинників на вартість електроенергії для кінцевого споживача здійснюється спрощеними алгоритмами моделювання одностороннього аукціону. На рис. 2 умова абсолютно нееластичного попиту забезпечується при $\Delta P^{acc} \rightarrow 0$. Тоді резервування частини виробничих потужностей на системні послуги очікувано призводить до зменшення довжини агрегованого графіка пропозиції (тобто, до зменшення загальних обсягів пропозиції). При цьому додатково спостерігається закручування агрегованого графіка пропозиції в сторону осі цін, що призводить до збільшення ціни в області перетину графіку пропозиції та осі умовно нееластичного попиту. Кут закручування графіка пропозиції ϕ та зміна вартості електроенергії $\Delta C^{гр}$ в області балансу попиту та пропозиції залежать не тільки від особливостей агрегованого графіка пропозиції, але і від положення осі нееластичного попиту.

Тоді величина збільшення граничної ціни в моделі одностороннього аукціону в загальному випадку розраховуватиметься за формулою:

$$\Delta C^{TP} = \lim_{P_{\Sigma} \rightarrow P_{\text{поп}}} \left(\frac{1}{P_{\Sigma}} \sum_{i=1}^I \left(\int_{P_i^{\text{pez}}}^{P_i^{\text{max}}} C(P_i) \cdot d P_i \right) \right) \left| \begin{array}{l} P_i \in x_i(C_i(P_i), P_i^{\text{max}}, P_i^{\text{pez}}, P_i^{\text{acc}}) \\ \exists C_i \forall P_i \in ([0, P_i^{\text{pez}}] + [P_i^{\text{pez}}, P_i^{\text{max}}]) \\ P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^I P_i^{\text{acc}} \end{array} \right.$$

де $x_i(C_i(P_i), P_i^{\text{max}}, P_i^{\text{pez}})$ – прийняті цінові заявки x_i продавців електроенергії, в яких означені ціна продажу електроенергії як функція від її обсягів, максимальні обсяги пропозиції електроенергії P_i^{max} , початкова позиція P_i^{pez} обсягів, зарезервованих під допоміжні послуги, а також прийняті за результатами торгів ненульові обсяги P_i^{acc} ; $P_i \in ([0, P_i^{\text{pez}}] + [P_i^{\text{pez}}, P_i^{\text{max}}])$ – обсяги продажу електроенергії для i -тої цінової заявки, поділені на діапазони зарезервованих під системні послуги обсягів $[P_i^{\text{pez}}, P_i^{\text{max}}]$ та обсяги, що залишилися незадіяними після такого резервування $[0, P_i^{\text{pez}}]$; P_{Σ} – сумарні обсяги пропозиції, прийнятої за результатами торгів; $P_{\text{поп}}$ – значення обсягів нееластичного попиту.

Розрахунок фактичного значення зміни вартості електроенергії внаслідок зміни обсягів резервування виробничих потужностей на потреби регулювання режиму ОЕС України здійснюється використанням ретроспективних даних ринку електроенергії. Оскільки структура виробничих потужностей ОЕС України суттєво не змінюється протягом тривалого часу, порівняльне моделювання торгів на РДН з використанням графіків пропозиції з урахуванням та без врахування обсягів резервів на ДП дозволить сформулювати статистичну залежність для прогнозування наслідків впливу зовнішніх чинників (наприклад, подальшого збільшення частки відновлюваних джерел електроенергії [9, 10]) на тривалий період не менше одного року. Для практичного рішення поставленої задачі, додатково до агрегованого графіка пропозиції з повними (номінальними) значеннями обсягами потужностей генераторів електростанцій, сформований графік пропозиції, в якому обсяги виробничих потужностей подані із врахуванням резервів, вилучених під потреби регулювання режиму.

Висновки. Чисельні значення впливу обсягів резервування виробничих потужностей ТЕС на потреби регулювання режимів ОЕС України на ринкову вартість електроенергії отримуються використанням ретроспективних даних ринку електроенергії України і зберігають адекватність протягом тривалого часу. Використання наведеної залежності дозволяє уникнути потреби деталізованого моделювання процесів ціноутворення на ринку допоміжних послуг, що суттєво спрощує методику оцінки впливу різних чинників на вартість електроенергії для кінцевого споживача.

- [1] Про ринок електричної енергії: Закон України № 2019-VIII від 13.04.2017 р.
- [2] Блінов І.В. Проблеми функціонування та розвитку ринку електричної енергії України. Вісник НАН України. 2021. № 3. С. 20-28
- [3] Кириленко О. В., Блінов І. В., Парус Є. В. Визначення результатів аукціону з купівлі- продажу електричної енергії. Проблеми загальної енергетики. - 2010. - Вип. 3. - С. 5-12.
- [4] Іванов Г.А., Блінов І.В., Парус Є.В. Комплексна розрахункова модель ринку на добу наперед та балансуючого ринку електроенергії України. Промелектро. 2016. № 4-5. С. 8–12.
- [5] Ivanov H., Blinov I., Parus Y. Simulation Model of New Electricity Market in Ukraine. IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems. 2019. DOI:<https://doi.org/10.1109/ESS.2019.8764184>
- [6] Блінов І.В., Парус Є.В, Іванов Г.А. Імітаційне моделювання функціонування балансуючого ринку електроенергії з урахування системних обмежень на параметри ОЕС України // Технічна електродинаміка. 2017. № 6. С. 72 – 79.
- [7] Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В. Оцінка роботи електростанцій при наданні допоміжних послуг з первинного та вторинного регулювання частоти в ОЕС України. Технічна електродинаміка. 2013. № 5. С. 55 – 60.
- [8] Blinov I.V., Parus Y.V. Approach of reactive power pricing for ancillary service of voltage control in Ukraine// 2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). DOI: 10.1109/IEPS.2014.6874167
- [9] Іванов Г.А., Блінов І.В., Парус Є.В., Мірошник В.О., Складові моделі для аналізу впливу відновлюваних джерел енергії на ринкову вартість електроенергії в Україні// Технічна електродинаміка. 2020. № 4. с. 72-75
- [10] DOI:<https://doi.org/10.15407/techned2020.04.072>
- [11] Блінов І.В., Мірошник В.О., Шиманюк П.В. Короткостроковий інтервальний прогноз сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлювальних джерел енергії. Праці Інституту електродинаміки НАН України 2019. Вип. 54: С. 5-12.

СИНТЕЗ АМПЛІТУДНО-ФАЗОВОЇ АКУСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Актуальність даної тематика показана в [1, 2, 3]. Здійснення вирішення цього завдання передбачається на основі аналізу фазових співвідношень, що відповідають побудованим за певними елементарними одновимірними голограмами (записів фазових спектрів акустичного поля), отриманим методом з синтезованої одновимірної апертурою. Мова йде про синтез (відновлення) зображень на основі безлічі одновимірних елементарних голограм на площину, перпендикулярну площині запису елементарної голограми та визначається сукупністю акустичних осей зондуючого простору при русі суміщеного випромінювача – приймача уздовж лінії синтезованої апертури. Фіксується амплітудно-фазове поле вторинної хвилі.

Такий підхід повинен дати можливість розв'язувати сумарний по амплітуді ехосигнал, що отримується в точці зондування з різних точок глибини за рахунок різниці початкових фаз комплексних амплітуд окремих гідробіонтів, які мають свої координати в площині зондування і свої значення інтенсивності з урахуванням місця розташування. Слід зазначити, що методи отримання зображень за сукупністю одновимірних елементарних голограм можуть бути використані і в інших положеннях по розробці техніки діагностування по перетинах в медицині, будівництві і т. п.

Хвильове поле в довільній точці простору X, Y, Z і в довільний момент часу t описується рівнянням, отриманим з рівнянь Максвелла, що встановлюють зв'язок між похідними по координатах і часу від величин, що характеризують хвильове поле

$$\nabla^2 U(x, y, z, t) - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 U(x, y, z, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

де $U(x, y, z, t)$ - миттєве значення амплітуди хвилі в точці x, y, z в момент t .

Надалі ми будемо оперувати з деякими наближеннями хвильового поля плоскою і сферичною типами хвиль, що реєструються плоскою (лінійною) апертурою вимірювань.

В цілому модуляція амплітуди і модуляція фази-це операція множення комплексної амплітуди вихідної хвилі на множники $t(x, y), l^{i\Delta\varphi(x, y)}$ відповідно.

Модуляція вектора поляризації – це поворот вектора, що вказує напрямок руху хвилі.

Дія хвилі на приймач характеризується усередненням за деякий інтервал часу значенням щільності потоку енергії. Щільність потоку в точці X, Y, Z пропорційна квадрату напруженості поля; квадрат напруженості поля можна визначити наступним чином:

$$\begin{aligned}
 E_{\varphi}^2(x, y, z) &= \frac{1}{\tau_0} \int_{-\tau_0/2}^{+\tau_0/2} \alpha^2(x, y, z) \text{Cos}^2[\omega t + \varphi(x, y, z)] dt = \frac{\alpha^2(x, y, z)}{2\tau_0} \int_{-\tau_0/2}^{+\tau_0/2} \{1 + \text{Cos}^2[\omega t + \varphi(x, y, z)]\} dt = \\
 &= \frac{\alpha^2(x, y, z)}{2\tau_0} + \frac{\alpha^2(x, y, z)}{2\tau_0} \int_{-\tau_0/2}^{+\tau_0/2} \{\text{Cos}^2[\omega t + \varphi(x, y, z)]\} dt = 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

Якщо вектори напруженості (акустичного тиску) двох хвиль (вектори поляризації) паралельні один одному, то у площині реєстрації відбувається підсумовування напруженостей (акустичного тиску) в кожній точці площини.

Результуюча комплексна амплітуда, одержувана в результаті інтерференції хвиль, дорівнює

$$A_p(x, y) = A(x, y) + R(x, y) \tag{3}$$

Інтенсивність сумарної хвилі $A_p(x, y)$ визначається як квадрат її модуля:

$$I_p(x, y) = a^2(x, y) + a_0^2(x, y) + 2a(x, y) \cdot a_0(x, y) \text{Cos}[\varphi(x, y) - \varphi_0(x, y)] \tag{4}$$

Вираз (4) є основоположним при проведенні операцій запису голограм хвильового поля.

При цьому аналого-цифрове перетворення повинно здійснюватися відповідно до реперних часових точок початку перетворення, відповідними затримками часу, розрахованими для голографічних вузлів зсуву, що визначаються квадратичним множником Френеля для кожного приймача на лінійній апертурі.

В результаті здійснюється вирівнювання фронту відбитої звукової хвилі на акустичній осі звукового променя, що має забезпечувати квазістаціонарність процесу вимірювання, аналого-цифрового перетворення ехосигналів і формування фазових голограм одновимірного типу. Вибір базису спектральних частот, на яких формуються амплітудно-фазові (фазові) голограми залежить від стабільності їх даних при поширенні ехосигналу в середовищі у всьому діапазоні досліджуваних глибин. Просторові спектри цих сигналів мають загальні зони, що перекриваються між собою, при цьому значення амплітуд відновлюваних ехосигналів на акустичній осі звукового променя мають великі відмінності від амплітуди точеного сигналу, відновлюваного в умовах, коли перешкоди відсутні.

- [1] Дискретные математические модели и алгоритмы формирования акустических изображений в системах ультразвуковой дефектоскопии / [В.В.Тарапата, Е.А.Огір] - XXVI Науково-технічна конференція „Моделювання”. – Київ, ПІМЕ, 2007. – С. 45.
- [2] Цифровая обработка сигналов / [А.В. Оппенгейм, Р. Шафер.] – М.: Техносфера, 2009. – 856 с.
- [3] Дослідження характеристик якості УЗ зображень та алгоритмів їх обробки / [В. Ф. Євдокимов, О.С. Огір, О.О. Огір] // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. – К. : ПІМЕ ім. Г. Є. Пухова НАНУ, 2017. – Вип. 80. – С. 3 – 11.

А.О. Запорожець

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ НА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Як відомо, Україна належить до країн, що тільки частково забезпечені власними енергоресурсами. При цьому, загальний економічний спад з період з 1990-2018 рр. скоротив використання енергоносіїв країною на 68,2%. Попри значні скорочення обсягів використання енергетичних ресурсів, Україна продовжує їх імпортувати. За даними Державної служби статистики України, імпорт природних енергоносіїв в Україну в період 1990-2018 рр. складав від 30,5% до 55,6% від загальних обсягів спожитої первинної енергії. На 2018 р. імпорт енергоносіїв складав 36% від загального спожитого обсягу.

Хоч рівень енергозалежності України має тенденцію до зниження, він характеризується диверсифікацією джерел постачання енергетичних носіїв, зокрема нафти та природного газу [1]. На рис. 1 наведено графік зміни виробництва та імпорту енергетичних ресурсів відповідно за типами енергій у 2007-2018 рр.

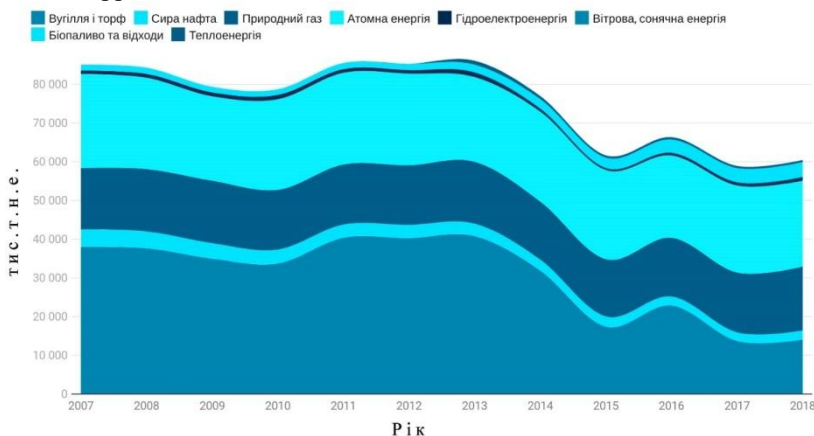


Рис. 1. Виробництво енергетичних ресурсів в Україні за типами енергій за період 2007-2018 рр.

В 2018 р. обсяг викидів забруднюючих речовин склав 3866,7 тис. т (для порівняння, в 2017 р. – 3974,1 тис. т, в 2016 р. – 4498,1 тис. т), при цьому викиди від стаціонарних джерел в 2018 р. становили 2508,3 тис. т (для порівняння, в 2017 р. – 2584,9 тис. т, в 2016 р. – 3078,1 тис. т). Обсяг викидів діоксиду вуглецю, що має найбільший вплив на парниковий ефект, в 2018 р. склав 126,4 млн. т., що на 2% більше, ніж в минулому році. При цьому з 2008 р. в Україні спостерігається чітка тенденція до зменшення викидів забруднюючих речовин (рис. 2).

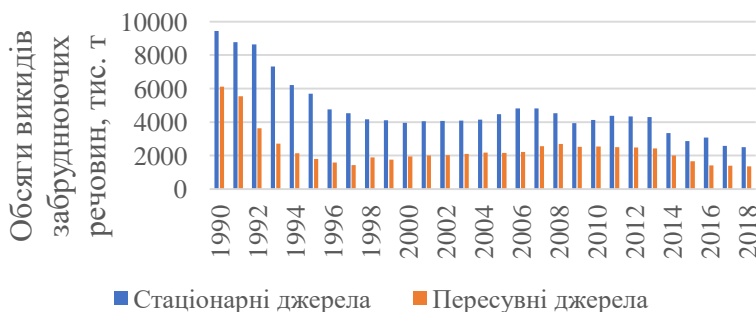


Рис. 2. Обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря в період 1990-2018 рр.

Для дослідження взаємозв'язку між складовими енергетичного балансу (типами спожитих енергоносіїв, галузями, що їх споживають, і сектором перетворення) та викидами забруднюючих речовин в повітрі (CO_2 , SO_2 , NO_2 , CO , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}) був застосований кореляційний аналіз.

Коефіцієнт кореляції характеризує щільність стохастичного лінійного зв'язку між двома випадковими величинами X та Y із нормальним законом розподілу:

$$r = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma(X) \cdot \sigma(Y)} = \frac{\mathbf{M}\{(X - \mathbf{M}\{X\}) \cdot (Y - \mathbf{M}\{Y\})\}}{\sqrt{\mathbf{D}(X) \cdot \mathbf{D}(Y)}}, \quad (1)$$

де $\text{cov}(X, Y)$ – оператор коваріації випадкових величин X та Y ; $\sigma(X)$ та $\sigma(Y)$ – дисперсії величин X та Y відповідно.

Так як об'єми розглянутих вибірок n відносно малі, то оцінка \hat{r} буде зміщеною відносно основного параметра r . Тому для усунення цього недоліку використовується скоригований коефіцієнт кореляції, що визначається за формулою:

$$\hat{r}' = \hat{r} \left[1 + \frac{1 - \hat{r}^2}{2(n-3)} \right]. \quad (2)$$

При аналізі наборів величин враховано, що дані щодо викидів забруднюючих речовин доступні лише за наступні періоди: CO_2 – 2007-2018 рр., SO_2 , NO_2 , CO – 2000-2018 рр., PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ – 2004-2018 рр. При аналізі також враховано дані щодо викидів забруднюючих речовин тільки від стаціонарних джерел.

Аналіз [2] показав, що найбільший кореляційний зв'язок, близький до функціонального, в розглянутих сукупностей спостерігається між кількістю спожитого вугілля/ торфу та викидами NO_2 , SO_2 та PM_{10} ($\hat{r}' > 0,95$).

66 розглянутих сукупностей володіють додатною кореляцією з високим скоригованим коефіцієнтом кореляції. Серед них найбільше виділяються наступні складові енергетичного балансу: природний газ, сира нафта,

виробництво брикетів, коксові підприємства, електростанції, транспортне устаткування, машинобудування, чорна металургія.

38 розглянутих сукупностей володіють низькою додатною кореляцією (текстильна і шкіряна галузь, будівництво, виробництво неметалічних мінеральних продуктів).

У 9 розглянутих сукупностей скоригований коефіцієнт кореляцію близький до 0, що свідчить про відсутність зв'язку між величинами X та Y .

16 розглянутих сукупностей володіють низькою від'ємною кореляцією (целюлозно-паперова і поліграфічна галузь).

21 розглянута сукупність має від'ємну кореляцію (біопаливо і відходи, газові підприємства, інші перетворення).

На рис. 3 відображений набір величини та його апроксимація прямою, що відповідає найвищому розрахованому коефіцієнту кореляції із усіх розглянутих сукупностей.

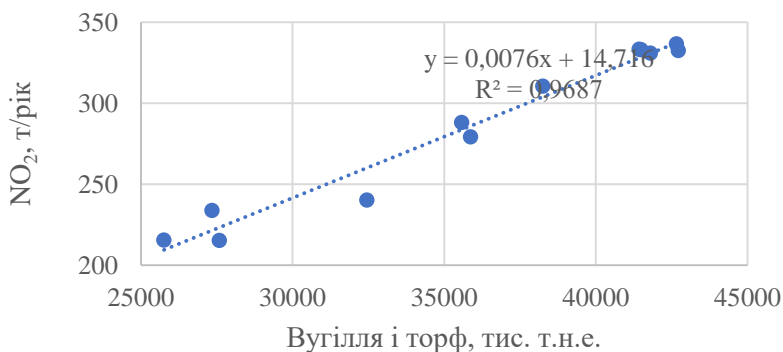


Рис. 3. Найвище значення скоригованої оцінки коефіцієнта кореляції (0,986) серед розглянутих сукупностей

В цілому, 70% розглянутих сукупностей мають додатній кореляційний зв'язок, що характеризує негативний вплив сучасної енергетичної галузі на екологічну ситуацію в країні. Це свідчить про необхідність постійного моніторингу повітря довкола стаціонарних джерел забруднення, зокрема тих, що споживають викопні енергетичні ресурси.

- [1] Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики / [ред. А. О. Запорожця, Т. Р. Білан]. – Київ, 2017. – 312 с.
- [2] Zaporozhets A.O. Correlation Analysis Between the Components of Energy Balance and Pollutant Emissions / A.O. Zaporozhets // Water, Air, & Soil Pollution. - 2021. - Vol. 232. - №3. - 114. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05048-9>

ЗАСТОСУВАННЯ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ГРАФІКІВ СУМАРНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ЇХ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

Для ефективного вирішення задач по управлінню та плануванню режимів об'єднаної енергосистеми необхідно використовувати гнучкі та точні методи прогнозування. Так як в Україні почав функціонувати новий ринок електроенергії [1, 2], учасники ринку мають дотримуватись вимог точності та надійності короткострокових прогнозів обсягів електричного навантаження [3]. Тому розробка нових підходів для задач короткострокового прогнозування такого навантаження є важливим напрямком дослідження. Відомо, що дані сумарного електричного навантаження (СЕН) є нестационарним часовим процесом, що обумовлено впливом різних факторів: технологічних (режим роботи підприємств, вихід з ладу обладнання або плановий ремонт); астрономічних (час сходу та заходу сонця); метеорологічних (температура повітря, вологість, хмарність, напрямок та сила вітру, опади); чергування днів тижня, святкових та робочих днів. Для визначення складової електричного навантаження, яка чутлива до зміни температури повітря запропоновано провести декомпозицію графіків електричного навантаження для подальшого прогнозування. Даний підхід також використовувався в [4].

Декомпозиція графіків СЕН відбувалась на дві складові: базову складову P_b – умовно постійне значення СЕН яке змінюється під впливом факторів які не враховані в моделі, та температурну складову P_t яка залежить від зміни температури повітря. Після декомпозиції графіків СЕН за допомогою методу Гільберта-Хуанга [5] із внесеними змінами, отримуємо температурну складову, що має тісний кореляційний зв'язок із температурою повітря, і базову складову що має однорідний характер.

Прогнозування температурної складової СЕН відбувається за допомогою методу поліноміальної регресії з підбором оптимального степені та моделі. Алгоритм прогнозування має наступний вигляд:

$$P_t = \sum_{i=0}^m a_i t^i \quad (1)$$

де: a – коефіцієнт поліноміального рівняння;

t – температура повітря.

Аналіз попередніх розрахунків показав, що достатнім є підбір степені від 2 до 10. При цьому для кожної степені відбувається вибір оптимальної моделі. В якості цільової функції, тобто вибору оптимальної моделі, прийнято критерій мінімум середньої відносної похибки (МАРЕ).

При прогнозуванні температурної складової використовується прогнозне значення температури. Дані вибірки температурної складової та температури перевіряються на відповідність гіпотезі щодо прямого кореляційного зв'язку для літнього сезону й обернений – для зимового. Якщо

прогнозне значення температури повітря є нижчим за мінімальне у вибірці літнього сезону або більшим за максимальне у вибірці зимового сезону, то прогнозне значення температурної складової СЕН приймається рівним нулю.

В якості оператора прогнозування базової складової СЕН використано метод канонічного розкладання випадкових процесів Пугачова [6]. Метод канонічного розкладання має наступний вигляд:

$$x(t) = m_x(t) + \sum_v V_v \varphi_v(t) \quad (2)$$

де: $m_x(t)$ – математичне очікування;

V_v – випадкові величини, математичне очікування яких рівне 0.

$$\varphi_v(t) = \frac{1}{D_v} M(x(t)V_v) \quad (3)$$

де: $\varphi_v(t)$ – координатна функція;

D_v – дисперсія масиву випадкових чисел;

$x(t)$ – значення вихідної функції центровані за середнім значенням;

M – масив випадкових чисел, який отримується за допомогою генератора білого шуму.

Прогнозування добового графіка виконується за формулою:

$$X_{(t+1)} = m_x(t) + \varphi_v(t)V_v \quad (4)$$

Синтез прогнозного графіка СЕН – сума його складових.

Для порівняння ефективності моделі було використано нейронну мережу глибинного навчання типу LSTM [7]. Архітектура нейронної складається з 5 шарів. Вхідний шар являється модулем LSTM після якого ідуть два прихованих шари. В якості активаційної функції прихованого шару використовувалась функція selu (scaled exponential linear unit). Для навчання даної нейронної мережі використано алгоритм оптимізації ADAM.

Ще один метод який використовувався для порівняння ефективності прогнозу є метод векторної авторегресії. Векторна авторегресія (VAR, Vector AutoRegression) [8] являє собою сукупність часових рядів в яких поточні значення залежать від значень за попередній період. Векторні моделі авторегресії будуються за стаціонарними часовими рядами.

Таблиця 1

Похибки результатів прогнозування

Прогнозні дні		Канонічний розклад	LSTM	VAR
Літній період	1	1,95	6,26	9,73
	2	1,46	3,59	8,72
	3	1,65	5,26	7,92
	4	1,89	3,37	4,46
Зимовий період	1	1,98	15,32	6,81
	2	1,88	4,06	4,99
	3	3,15	1,65	2,74

В якості даних для прогнозування використовувались дві вибірки даних Київенерго за зимовий період з 01.11.2015 по 31.03.2016 та за літній період з 01.06.2015 по 31.08.2015. Обидві вибірки з погодинною дискретністю та містять суто робочі дні з вівторка по четвер. Дані по температурі були отримані з відкритих джерел для міста Київ з дискретністю 3 години тому

для отримання погодинних значень було проведено інтерполяцію цих даних. Прогнозування проводилось для декількох днів, для літнього періоду на чотири дні, для зимового на три дні. В таблиці 1 наведено результати прогнозування усіх трьох методів. В якості оцінки похибки прогнозу використовується MARE.

Удосконалення методу декомпозиції Гільберта-Хуанга відповідно поставленій задачі призводить до більшої узгодженості результатів розрахунку із реальним процесом електроспоживання. Описаний підхід виділення та прогнозування температурної складової СЕН дозволяє значно підвищити точність короткострокового прогнозування добових графіків СЕН. Навіть при малих обсягах вибірки даних. Наведені результати демонструють, що використання декомпозиції графіків СЕН дозволяє отримати точні прогнози з похибкою в межах 1.5-3.2% у порівнянні з іншими методами. Також варто відмітити, що для нейронних мереж та методу векторної авторегресії дані набори даних є недостатніми для отримання задовільних результатів прогнозу.

- [1] Блінов І.В., Попович В.І. Гармонізована рольова модель європейського ринку електроенергії. Проблеми загальної енергетики. 2011. № 3(26). С. 5 – 11.
- [2] Блінов І.В., Мірошник В.О. Шиманюк П.В. Короткостроковий інтервальний прогноз сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлюваних джерел енергії. Праці ІЕД НАНУ. – 2019. – Вип. 54 – С. 5-12.
- [3] Блінов І.В., Мірошник В.О., Шиманюк П.В. Оцінка вартості похибки прогнозу «на добу наперед» технологічних втрат в електричних мережах України. Технічна електродинаміка. 2020. №5. С. 70-73.
- [4] Черненко П.О., Мартинюк О.В. Декомпозиція добового графіка електричного навантаження енергосистеми та моделювання його складових під час короткострокового прогнозування. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017. № 6.
- [5] Huang N.E., Shen Z., Long S.R., Wu M.C., Shih H.H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.C., and Liu H.H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proc. R. Soc. Lond. A. 1998. T. 454. pp. 903—995.
- [6] Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического уравнения. - Изд. 3-е, испр. - М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962.
- [7] Черненко П.О., Мірошник В.О. Шиманюк П.В. Однофакторне короткострокове прогнозування вузлових електричних навантажень енергосистеми Технічна електродинаміка, № 2, 2020р. – С. 67–73.
- [8] Черненко П.О., Мартинюк О.В. Мірошник В.О. Моделювання та короткострокове прогнозування технологічної складової електричного навантаження обласної енергосистеми Технічна електродинаміка, № 4, 2016р. – С.68 – 70.

Ю.О. Фуртат

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПОЛІВ, ЩО ОПИСУЮТЬСЯ РІВНЯННЯМИ ПАРАБОЛІЧНОГО ТИПУ

Динаміка об'єктів з розподіленими параметрами описується диференціальними рівняннями в частинних похідних параболічного типу, які із крайовими умовами є математичними моделями багатьох нестационарних нелінійних процесів.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\chi(x, y, z, \Phi) \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\chi(x, y, z, \Phi) \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\chi(x, y, z, \Phi) \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right] - \\ - \nu(x, y, z, \Phi) \frac{\partial \Phi}{\partial \tau} \pm \omega_0 = 0,$$

де Φ - шукана функція, χ і ν - фізичні параметри середовища, τ - час, ω_0 - функція збурення, x, y, z - просторові координати.

Початкові умови

$$\Phi(x, y, z) = \Phi_0(x, y, z) \text{ при } \tau = 0.$$

Граничні умови першого роду

$$\Phi_\Gamma = \Phi_\Gamma(x_\Gamma, y_\Gamma, z_\Gamma, \tau).$$

Граничні умови другого роду

$$-\chi(x, y, z, \Phi) \frac{\partial \Phi}{\partial n} \Big|_\Gamma = q(x, y, z, \tau, \Phi_\Gamma).$$

Граничні умови третього роду

$$-\chi(x, y, z, \Phi) \frac{\partial \Phi}{\partial n} \Big|_\Gamma = \alpha(\Phi_\Gamma - \Phi_C).$$

Граничні умови четвертого роду

$$\Phi_\Gamma = \Phi_C; -\chi_C \frac{\partial \Phi_C}{\partial n} \Big|_\Gamma = -\chi(x, y, z, \Phi) \frac{\partial \Phi_C}{\partial n} \Big|_\Gamma,$$

при неідеальному контакті

$$\Phi_\Gamma = \Phi_C + \Delta\Phi_K; -\chi_C \frac{\partial \Phi_C}{\partial n} \Big|_\Gamma = -\chi(x, y, z, \Phi) \frac{\partial \Phi_C}{\partial n} \Big|_\Gamma,$$

при внутрішніх джерелах на границі

$$\Phi_\Gamma = \Phi_C + \Delta\Phi_K; -\chi_C \frac{\partial \Phi_C}{\partial n} \Big|_\Gamma = -\chi(x, y, z, \Phi) \frac{\partial \Phi_C}{\partial n} \Big|_\Gamma + q(x, y, z, \tau, \Phi).$$

Математичними моделями тепломасопереносу є системи рівнянь параболічного типу з такими ж граничними умовами.

Усі реальні процеси, як правило, є нелінійними. Нелінійності можуть бути трьох типів [1;2]. Нелінійності першого роду зумовлені залежністю від

шуканої функції фізичних характеристик матеріалу. Нелінійності другого роду - залежністю від шуканої функції щільності джерел на поверхні і обмінних коефіцієнтів. Нелінійності третього роду – залежністю від шуканої функції потужностей внутрішніх джерел, координат границь тіла. Така класифікація дозволяє вибрати оптимальну модель, використовуючи прийоми, що дозволяють переходити від одного типу нелінійності до іншого.

Розв'язок задач, описуваних цими рівняннями, може бути отриманий трьома шляхами: 1) експериментально на натурному об'єкті; 2) шляхом фізичного моделювання (на моделі об'єкта тієї ж фізичної природи); 3) математичним моделюванням.

Вибір оптимального методу розв'язання тієї або іншої задачі теорії поля і технічного засобу для його реалізації є складним питанням. Найбільш важливими показниками для відносно об'єктивного вибору є: 1. можливість реалізації розв'язання даним методом або засобом; 2. точність розв'язку; 3. час розв'язування; 4. вартість розв'язку; 5. ціна еквівалентної швидкодії; 6. ефективність; 7. продуктивність; 8. діапазон завдань, який може бути охоплений даним методом, засобом; 9. простота пристрою і експлуатації.

Експериментальні дослідження, проведені на натурних зразках і фізичних моделях, у багатьох випадках не можуть дати необхідної інформації, не говорячи вже про високу вартість і трудомісткості експерименту, тому все більше застосування знаходить математичне моделювання.

В наш час найбільше поширення при математичному моделюванні складних об'єктів з розподіленими параметрами одержали методи дискретизації математичної моделі шляхом просторово-часового квантування. Представлення математичної моделі об'єктів з розподіленими параметрами системами звичайних диференціальних або алгебраїчних рівнянь дозволяє моделювати їх за допомогою комп'ютерних засобів.

Але розв'язання таких систем рівнянь для неоднорідної області довільної форми може бути пов'язане зі значними складностями через обмеження диференціальних рівнянь на області визначення та вимог до неперервності функцій, що описують моделі. Тому для задач цього типу розглядається можливість переходу від диференціальних рівнянь до інтегродиференціальних або інтегральних. Ці рівняння позбавлені ряду обмежень суто диференціальних рівнянь, а також мають додаткові властивості, що позитивно впливають на точність моделювання при наявності, наприклад завад у вихідних сигналах.

- [1] Коздоба Л.А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. М.: Наука, 1975. 228 с.
- [2] Коздоба Л.А. Решения нелинейных задач теплопроводности. К.: Наукова думка, 1975, 135 с.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНОВОЇ ПОЗИЦІЇ СУБ'ЄКТІВ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА РИНКУ «НА ДОБУ НАПЕРЕД»

Одним із основних сегментів для суб'єктів ринку електричної енергії для її купівлі-продажу є ринок «на добу наперед» (далі – РДН). Торгівля на РДН проходить за принципом маржинального ціноутворення – продавці подають заявки за мінімальною ціною, за якою вони готові здійснити продаж, покупці – за максимальною ціною, за якою готові здійснити купівлю. За результатами торгів на РДН продавці здійснюють продаж за ціною не дешевше своєї заявки, а покупці – купівлю не дорожче своєї заявки [1].

Актуальність даної задачі дослідження обумовлена необхідністю для учасників ринку визначати ціну, за якою подавати свої заявки. Наразі відсутній універсальний алгоритм визначення економічно вигідної цінової пропозиції для торгів на РДН.

Авторами запропоновано алгоритм для систем підтримки прийняття рішень по формуванню торгових заявок генеруючих компаній, а також для комп'ютерного моделювання процесів визначення цінової пропозиції.

З використанням зазначеного алгоритма проведено моделювання декількох варіантів результатів торгів для учасника ринку, які найбільш часто зустрічаються, в залежності від його цінової пропозиції:

- 1) занижка ціна у заявці представлено на рис. 1;
- 2) завищена ціна у заявці представлено на рис. 2;
- 3) найбільш економічна доцільна ціна у заявці представлено на рис. 3.

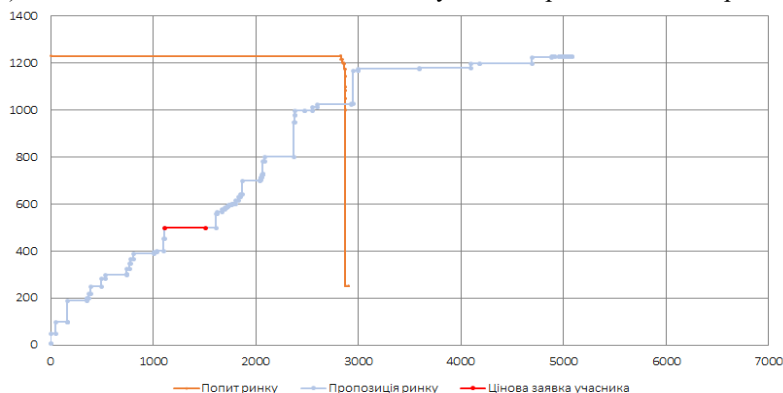


Рис. 1. «Дешева» цінова заявка учасника (100% реалізація)

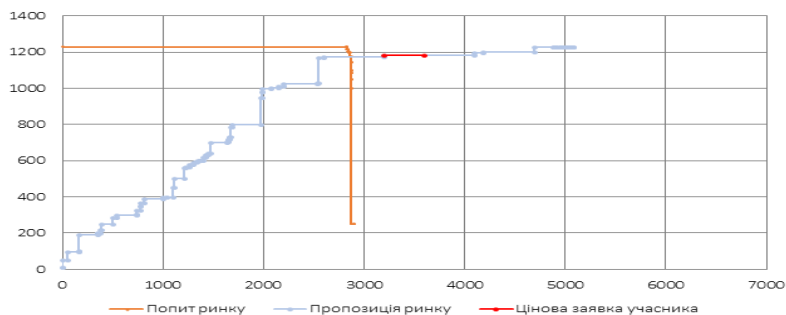


Рис. 2. Не продана цінова заявка учасника
(поза ранжиром)

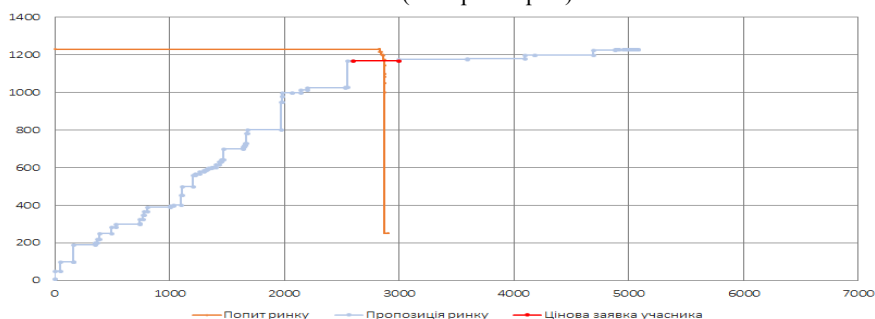


Рис. 3. Економічно доцільна заявка
Отримані результати зведено у таблиці 1.

Таблиця 1.

Порівняння доходу учасника за умови різних сценаріїв

Сценарій	Маржинальна ціна, грн/МВт*год	Обсяг реалізації, МВт*год	Дохід з РДН, грн	Дохід як небаланси, грн	Загальний дохід, Грн.
100% реалізація	1 025	400	410 000	0	410 000
Поза ранжиром	1 175	0	0	366 600	366 600
Базовий	1 170	250	292 500	136 890	429 390

Проведені дослідження показали, що, учасникам ринку необхідна система підтримки прийняття рішень для досягнення економічної збалансованості цінових пропозицій та формування стратегії поведінки на ринку. Окрім цього, оптимальне вирішення зазначеної задачі є необхідним як для генеруючих компаній, так і для розвитку ринку електроенергії України в цілому.

- [1] Мельник М.Л. Механізми функціонування енергокомпаній на локальних енергетичних ринках: магістерська дис.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. І. Сікорського, Київ, 2020. 97 с.

В.В. Новодворський, А.М. Ковба, М.П. Швед, Д.М. Швед

КЕРОВАНІЙ ПРОЦЕС ЕКСТРУЗІЇ ПОЛІМЕРІВ

Аналіз стандартів на полімерні вироби показав, що допуски на геометричні розміри виробів часто на 10–15% перевищують номінально необхідні, а заощадити ресурси та енергію можна зменшивши ці допуски [1]. Застосування в каскадних схемах екструзії дозуючого шестеренного насоса дозволяє стабілізувати коливання тиску, а відповідно, і продуктивності, які здебільшого не перевищують 1% проти 5–8 % в черв'ячному екструдері без шестеренного насоса. Це дозволяє встановлювати менші допуски на геометричні розміри виробів і, за рахунок цього, економити сировину та енергію, яка затрачається на переробку перевитраченої сировини, що і є головною економічною підставою використання таких насосів в процесах екструзії полімерів [2].

В зв'язку з цим в НТУУ КПІ був створений якісно новий ресурсо-енергоощадний процес каскадної дисково-шестеренної екструзії, при якій забезпечується регульований рівень термомеханічного навантаження на розплав та його гомогенізацію при постійній продуктивності, достатній для забезпечення заданих властивостей полімерних виробів з економією енергії та сировини та з меншим навантаженням на екологію.

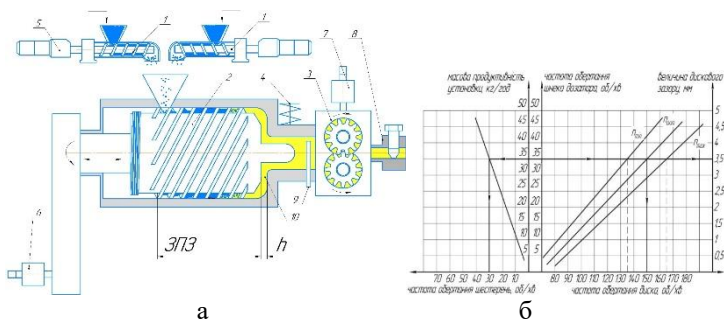
Визначено, що можливо змінювати частоту обертання або величину робочих зазорів дискового екструдера в межах ± 30 % від номінального значення, що дозволяє зменшити витрати електроенергії або покращити гомогенність розплаву відповідно до попередньо визначеної номограми рис.1.6 [2].

На рисунку 1 представлено схему каскадного дисково-шестеренного екструдера. Дозатор 1 подає сировину в дисковий екструдер 2 де вона плавиться в завантажувально-пластикувальній зоні (ЗПЗ) екструдера та змішується в робочому дисковому зазорі. Далі гомогенний розплав перекачується шестеренним насосом 3 на виході якого встановлена гребінчаста термopара 9 за допомогою якої контролюється і регулюється, безпосередньо в процесі роботи, температурна неоднорідність розплаву.

Як видно на рис.3.а спочатку витки поступово заповнюються, коли виток повністю заповнений гранулами під дією сили тертя починають плавитися з утворенням тонкої плівки (виносний елемент Г) за рахунок дисипації енергії. Регулювати і контролювати якість розплаву, та енерговитрати можна на працюючій машині не змінюючи продуктивність змінюючи величину дискового зазору та оберти диска.

На початку ЗПЗ біля завантажувальної воронки тиск та температура майже не змінюються тобто дорівнюють параметрам зовнішнього середовища. Далі тиск та температура по довжині гвинтової нарізки поступово зростають і приблизно на середині ЗПЗ починають стрімко зростати створюючи необхідний тиск на вході в шестеренний насос.

Коли закінчуються витки нарізки починається зона гомогенізації, яка розглядається як 3 окремих зони рис. 2.



а
 1 - дозатори; 2 - диск; 3 – шестеренний насос; 4 – компенсатор;
 5,6,7 - двигуни; 8 - дроселюючий пристрій; 9 – гребінчаста термопара;
 10-дисківий зазор;

Рисунок 1 – а) Схема каскадного дисково-шестеренного екструдера; б) Номограма для визначення режимів роботи каскадного екструдера для ПЕНТ марки 15803-020

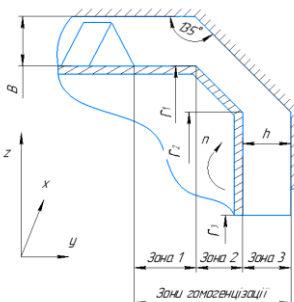


Рисунок 2 – Зона гомогенізації

Температурна та механічна однорідності взаємозв'язані. При досягненні температурної однорідності можна стверджувати про досягнення механічної і відповідної якості розплаву [3, 4].

Експериментально було показано, що температура розплаву в процесі суттєво змінювалася в поперечному перерізі потоку розплаву. Тому термопари, які вимірюють значення температури в одній точці не здатні визначати коливання температури. В такому випадку для визначення температурної неоднорідності пропонується використовувати багато точкові сіткові термопари [5].

Використовуючи такі термопари, що встановлені на виході дискового екструдера з дозованим живленням, можливо, безпосередньо в процесі роботи, гнучко керувати процесом гомогенізації розплаву досягаючи заданої неоднорідності. Це досягається за рахунок можливості зміни величини

робочого дискового зазору або частоти обертання диска при незмінній продуктивності.

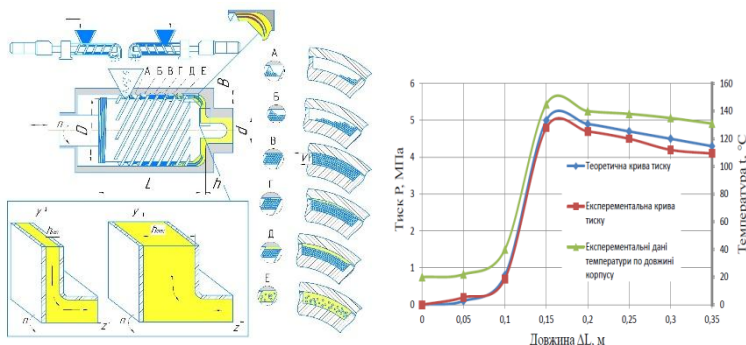


Рисунок 3 –а) Процес екструзії в дисковому екструдері; б) зміна тиску і температури в дисковому екструдері

У роботах [6-7] розглянуто споживання електроенергії одночерв'ячним екструдером. Моніторинг якої для кожного компонента бажаний для оптимізації загальної енергоефективності [6].

Швидкість обертання шнека є найвпливовішим параметром на споживання потужності електродвигуном екструдера [7]. Енерговитрати при екструзії полімерів можна зменшити використовуючи дисковий екструдер [2].

- [1] ГОСТ 10354-82 Плівка поліетиленова. Технічні умови.
- [2] Швед М.П., Швед Д. М., Новодворський В. В., Ковба А.М., (2019), Процес каскадної дисково-шестеренної екструзії та його аналіз. Екологічні науки, №27 с. 28-32.
- [3] Wood A.K., (2003), Determination of melt temperature and velocity profiles in flowing polymer melts
- [4] Abeykoon, C., Martin, P. J., Kelley, A. L., Li, K., Brown, E. C., & Coates, P. D. (2014). Investigation of the Temperature Homogeneity of Die Melt Flows in Polymer Extrusion. *Polymer Engineering and Science*, 54(10), 2430-2440.
- [5] Abeykoon, (2014), A novel model-based controller for polymer extrusion
- [6] Jing Deng та інші, (2013), Energy consumption analysis for a single screw extruder, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 533-540
- [7] Chamil Abeykoon et al., (2010), Modelling the effects of operating conditions on motor power consumption in single screw extrusion, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 9-20

НОРМАТИВНИЙ АСПЕКТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРЗАХИСТУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Сьогодні питання забезпечення кіберзахисту автоматизованих систем управління технологічними процесами (далі – АСУ ТП), які відповідно до [1], [2] є потенційними об'єктами критичної інформаційної інфраструктури, стає все більш актуальним. Якщо кілька років тому ця тема в основному піднімалася серед фахівців, то зараз вона стала цікава всім: власникам систем управління, фахівцям, які займаються їх експлуатацією, розробкою і впровадженням, зловмисникам та законодавцям.

Всі експерти в області інформаційної безпеки погоджуються, що забезпечення безпеки АСУ ТП відрізняється від забезпечення безпеки звичайних (корпоративних) інформаційних систем (далі – ІС). Навіть сам термін «інформаційна безпека», настільки звичний ІТ-фахівцям, як правило, не застосовується до АСУ ТП. В першу чергу, це пов'язано з тим, що при забезпеченні інформаційної безпеки АСУ ТП необхідно приділяти увагу не тільки і не стільки забезпеченню конфіденційності, скільки забезпеченню безперервності і цілісності самого технологічного процесу. Більш того, безпека технологічного процесу в загальному сенсі – це, перш за все, безпека життя і здоров'я людей та навколишнього середовища.

Одним з основних наборів міжнародних методичних документів щодо забезпечення кіберзахисту АСУ ТП є стандарт NIST SP 800-82 «Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security» американського національного інституту стандартизації (NIST), а також сімейство стандартів IEC 62443 «Security for Industrial Automation and Control Systems» (раніше відоме як ISA 99), яке було розроблено Міжнародною електротехнічною комісією (IEC) у 2018 році.

Мета розробки серії стандартів IEC 62443 полягає у впровадженні уніфікованого термінологічного апарату, який застосовується при описанні процесів впровадження та підтримання функціонування систем управління технологічними процесами, а також полягає у дотриманні правил та вимог забезпечення кібербезпеки та захисту від кібератак зазначених систем.

Серія стандартів IEC 62443 – це міжгалузева ініціатива, що застосовується до всіх ключових галузей промисловості критичної інфраструктури. Розроблені на основі знань та досвіду міжнародних експертів з питань кібербезпеки в промисловості, уряду та наукових шкіл стандарти являють собою комплексний підхід до кібербезпеки та розглядають це поняття як постійний процес [2].

Всі стандарти та технічні звіти IEC 62443 сформовані за чотирьома категоріями, а саме: Загальні, Політика та Процедури, Система, Компонент [3].

Основними стандартами серії IEC 62443 є такі [3]:

IEC 62443-2-4, охоплює політику та практику інтеграції системи;

IEC 62443-3-3, охоплює вимоги та рівні безпеки;

IEC 62443-4-1, охоплює вимоги безпечного життєвого циклу розвитку;

IEC 62443-4-2, охоплює технічні характеристики безпеки компонентів АСУ ТП.

Варто зазначити, що Україна є членом та партнером міжнародної електротехнічної комісії (IEC), але в Україні перекладений та прийнятий лише один стандарт із серії ISA/IEC 62443 – ДСТУ EN IEC 62443-4-1:2019 «Безпечність систем промислової автоматизації та керування. Частина 4-1». Вимоги до життєвого циклу розроблення безпечної продукції, затверджений наказом ДП «УкрНДНЦ» від 13.08.2019 № 249 «Про прийняття національних стандартів та прийняття поправки до національного стандарту».

Важливим кроком, який дозволить Україні не відставати від провідних країн світу у вирішенні питання кіберзахисту критичної інфраструктури, є прискорення процесів імплементації міжнародних стандартів та розробка власних стандартів, нормативно правових документів з урахуванням вимог міжнародних, передусім – стандартів з кібербезпеки технологічних систем зважаючи на їх вплив на кіберстійкість критичної інфраструктури.

Для гармонізації термінів необхідно, насамперед, розглянути та прийняти стандарт IEC 62443-1-1, де описуються основні поняття та моделі, пов'язані з кібербезпекою технологічних систем, а також інші три основні стандарти серії IEC 62443-2-4, IEC 62443-3-3, IEC 62443-4-2.

Варто також зазначити, що актуальним залишається завдання розробки формальних моделей для різних ієрархічних рівнів їх подання, які описують безпечне функціонування АСУ ТП, а також розробки методів забезпечення їх кібербезпеки.

- [1] Верховна Рада України. 7 сесія. (2017, жовт. 5). Закон № 2163-VIII, Про основні засади забезпечення кібербезпеки України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-viii>.
- [2] Кабінет Міністрів України. (2020, жовт. 9). Постанова № 943 «Деякі питання об'єктів критичної інформаційної інфраструктури» // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/943-2020-%D0%BF#Text>
- [3] ISA/IEC 62443 Cybersecurity Certificate Programs [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.isa.org/training-and-certification/isa-certification/isa99iec-62443/isa99iec-62443-cybersecurity-certificate-programs>.
- [4] DesRuisseaux D. Cybersecurity Assessment – The Most Critical Step to Secure an Industrial Control System [Електронний ресурс] / Daniel DesRuisseaux // Version 1.0. – 7. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.se.com/us/en/download/document/998-20298472/>.

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ТА ЇХ ОЦІНКА У ПРОЕКТАХ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Невід'ємною частиною процесу управління інформаційною безпекою є оцінка ризиків, для чого використовуються різні методи та засоби. Незалежно від сфери діяльності, оцінка ризиків кібербезпеки представляє собою впорядкований процес, що складається з етапів, на кожному з яких можуть застосовуватись свої методи та засоби. При виборі методів та засобів слід приділяти увагу не результативності методів в цілому, а їх ефективності на певному етапі, можливості поєднання, засобам переходу від одного методу до іншого для досягнення якомога коректнішого результату.

Ризик проекту розробки програмного забезпечення – це можливість:

- зниження якості кінцевого продукту;
- збільшення вартості розробки;
- затримка терміну завершення проекту або відмова від нього.

У технічному стандарті NASA-GB-8719.13 “NASA Software Safety Guidebook” [1] ризик визначається, як поєднання:

- 1) ймовірної (кількісної або якісної) того, що у програмі чи системі виникне небажана подія, така як порушення безпеки, компрометація безпеки чи відмова системного компоненту;
- 2) наслідку, впливу чи серйозності небажаної події, якби вона настала.

Іншими словами, поєднання наведених факторів являє собою величину ризику, де наслідки втрат розглядаються в контексті впливу небажаної події на характеристики кінцевого продукту, на складність його подальшого супроводу а також ефективність, вартість та терміни реалізації проекту.

Ефективне керування ризиками полягає у прийнятті рішень по кожному ризику щодо наступних питань:

- облік ризиків та аналізу попередніх проектів;
- оцінка витрат на уникнення певного ризику;
- величина потенційно негативного впливу певного ризику на проект;
- коректна оцінка пов'язаності ризиків та можливого впливу прийнятих у певний момент рішень на стан проекту у майбутньому;
- закладання проектного часу на боротьбу з ризиками.

Базовими складовими концепції управління ризиком є функції управління ризиком, класифікація ризиків та методологія оцінки і управління ризиком.

Функції управління ризиками:

- ідентифікація – процес, в ході якого невизначеності та проблеми проекту витікають у реальні ризики, які можна описати та виміряти;
- аналіз – визначаються деталі ризиків – величини та джерела ризиків, їх взаємозв'язок та рівні важливості, серйозність наслідків, ймовірність та час можливого прояву;
- планування – процес прийняття рішень щодо заходів по усуненню ризиків;
- облік та контроль – збір, узагальнення та фіксація даних про стан ризиків та дій щодо їх усунення;
- регулювання – процес, в ході якого аналізуються звітні дані та приймаються рішення про подальші дії по ризику;
- комунікація – організація взаємодії по управлінню ризиком сприяє виконанню решти функцій та гарантує однозначність інтерпретації ризиків та планів їх усунення, доступність інформації про ризик для усіх членів проекту, існування ефективного діалогу між менеджментом та командою проекту, тощо.

Класифікація ризиків забезпечує базу для організації даних та вивчення різних аспектів ризику проекту програмного забезпечення, зокрема систематизацію ризиків за вказаними в ній аспектами програмної інженерії.

Методи для вирішення задачі оцінки можна розділити на кількісні та якісні, які відрізняються за вибором шкали вимірювання – числової та лінгвістичної. Кожна група методів має свої переваги та недоліки, які наведено у таблиці 1 [2].

Таблиця 1

Переваги та недоліки кількісних та якісних методів

Методи оцінки	Переваги	Недоліки
Кількісні методи	1) Дозволяють чисельно оцінити необхідні параметри. 2) Реалізують аналіз витрат та прибутку при виборі захисту. 3) Надають більш точне відображення шуканих значень.	1) Кількісні міри залежать від об'єму та точності шкали виміру. 2) Результати оцінки можуть бути неточними. 3) Повинні доповнюватись якісними характеристиками. 4) Оцінка з застосуванням цих методів зазвичай потребує більше досвіду та сучасного інструментарію.
Якісні методи	1) Дозволяють визначити області критичних рівнів в короткий проміжок часу без значних витрат. 2) Дозволяють оцінювати відносно легко та дешево.	1) Не дозволяють визначити ймовірності та результати з використанням числових коефіцієнтів. 2) Аналіз витрат та користі при виборі захисту важчий. 3) Отримані результати мають загальний, наближений характер.

Мінімізувати перераховані недоліки дозволяє поєднання кількісних та якісних методів – використання шкали числових коефіцієнтів разом з лінгвістичним описом її окремих інтервалів (рівнів). Поєднані методи слід використовувати як на даному, так і на наступному етапі – оцінці існуючих заходів безпеки.

Ще одним важливим компонентом процесу управління ризиками є стан ризику. У ході реалізації проекту стан ризику може змінюватись. Загалом можна виділити п'ять можливих станів життєвого циклу:

- ідентифікований – новий ризик додано до переліку можливих ризиків для проектної групи;
- виник – до проекту додано ризик зі списку можливих ризиків;
- усувається – проводяться заходи по управлінню даним ризиком;
- усунуто – заходи по управлінню даним ризиком вжито;
- неактуальний[3].

- [1] NASA-GB-9719.13: NASA Software Safety Guidebook. NASA Technical Standard. – Washington D.C. National Aeronautics and Space Administration, 2004.
- [2] Д.В. Савельєв. (2019). Методи оцінки ризиків кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури. Моделювання та інформаційні технології. зб. наук. пр. ПІМЕ ім. Г.Є. пухова НАН України, (89), 136–149.
- [3] Авилов С.А. Модель проектного риска, возникающего при разработке программного обеспечения. // НАУКОВЕДЕНИЕ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ №5 (24) 2014. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/138TVN514.pdf>

І.П. Криворучко

ВУЗОЛ ОБЕРТАННЯ ІСКРОУТВОРЮВАЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ УСТАНОВКИ “ІСКРА” З ЦИФРОВИМ УПРАВЛІННЯМ

Робота виконується групою “Технічна діагностика” ІПМЕ ім. Г.С. Пухова спільно з ТОВ «ТЕСКО» (м. Київ) в рамках договору на розробку і виготовлення стенду для проведення випробувань іскробезпечних електричних кіл. Вимоги до стенду “ІСКРА” визначає ДСТУ [1]. Цей стандарт призначено для оцінювання можливості застосування електричних кіл, що можуть знаходитися у вибухонебезпечному середовищі.

Основним елементом стенду є вибухова камера з іскроутворювальним механізмом. Для створення вибухонебезпечної суміші передбачена система газопроводів, керовані газові клапани, датчик розрідження типу «САРФИР» [2], контрольне коло для перевірки якості вибухонебезпечної суміші, контролер - мікроєвм, яка управляє ресурсами основного конструктивного модуля. Одним з важливих блоків стенду є іскроутворювальний механізм у якому при проведенні випробування досліджуваного електричного кола у замкненому об'ємі з вибухонебезпечною сумішшю газів створюють спрацювання контактної системи з заданою частотою та кількістю. Наприклад, для випробувань електричних кіл зі змінним струмом вимагається забезпечити неперервне обертання до 1000 об., а для виконання калібровки іскроутворювального механізму – 20000 об.

Тримач електродів, які періодично розривають електричне коло, має обертатися згідно ДСТУ і залежно від виду випробувань з частотами 10, 20, 40 та 80 об/хв. Для забезпечення цих вимог пропонується використовувати кроковий двигун (КД), драйвер якого керується мікроконтролером через цифрові канали. Методика створення вибухонебезпечної суміші передбачає попереднє утворення вакууму порядку 100 мПа. Це вимагає використання вакуумних ущільнювачів вала КД, що призводить до утворення додаткового тормозного моменту. Цим умовам роботи відповідає КД типу 17HS8401, який серед представників цього класу КД має найбільший момент утримання. У якості драйвера КД використовується ТВ67S109AFTG 42В 4А, який за необхідності може працювати в режимі мікрокроку до 1/32 і забезпечувати максимальний постійний струм двигуна до 3А. Для забезпечення роботи іскроутворювального механізму використовується плата мікроконтролера на чіпі ATmega328 з відповідним програмним блоком.

- [1] ДСТУ EN 60079-11:2017 Вибухонебезпечні середовища. Частина 11. Вид вибухозахисту іскробезпечне електричне коло «і», Офіційне видання, Київ, ДП «УкрНДНЦ» 2019 р.
- [2] Датчики Сапфир общее описание. [Електронний ресурс]. URL: <https://pribortrade.com.ua/news/sapfir-obshhee-opisanie/>

МОДЕЛІ ТА КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Верстат з ЧПК є складним та вартісним пристроєм обробки металів. При його роботі виникають навантаження на вузли, які можуть призводити до поломок. Для запобігання поломок під час виникнення великих навантажень використовують декілька систем захисту, де найбільш дієвою є електрична система, в якій відслідковується величина струму, що подається на двигун, де при перевищенні граничного значення живлення відключається. Існуючі системи захисту є відносно грубими та не можуть забезпечити більш точної та швидкої реакції органів керування на виникаюче навантаження.

Існуючі на даний час п'єзоелектричні датчики дозволяють вимірювати виникаючі навантаження під час роботи верстатів з ЧПК, що може дозволити більш вкрито контролювати процес виникнення перевантажень на агрегати верстату. Тому актуальним є завдання з вибору таких датчиків, визначення місць установок, формування системи обробки даних, розробка математичної моделі роботи верстата, з урахуванням можливих критичних ситуацій та розробка системи управління роботою верстата на цій основі.

Для вирішення таких завдань слід визначити системи вимірювання, які зможуть забезпечити потрібну швидкість реакції та точність даних під час процесу обробки або переміщення основних вузлів верстатів з ЧПК. Потрібно реалізувати модель управління у вигляді програмного коду, де алгоритм повинен враховувати задані критичні значення при роботі в режимі реального часу та визначити поведінку верстату під час виникнення великих навантажень: змінити режими різання, зупинитися, відвести інструмент або аварійно зупинитися.

На основі розробленого програмного коду, який слід реалізувати в кодах, прийнятних для системи ЧПК, можна буде задавати критичні значення для сил різання, при яких буде виконуватися зміна режимів різання або завершення обробки на основі гнучкої системи зміни режимів різання та завчасного повідомляти оператора про знос інструмента. Дана система дозволить зменшити кількість критичних поломок основних вузлів верстатів з ЧПК та допоможе збільшити «тривалість життя» інструмента.

- [1] Динамометры для измерения силы резания Kistler <https://www.kistler.com/ru/solutions/research-and-development-testing/dynamometers-for-cutting-force-measurement> (дата звернення 29.04.2021)
- [2] SANDVIK Формулы и определения для фрезерования <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx> (дата звернення 29.04.2021)

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МАГНІТНИМ МІКРОРОБОТОМ ДЛЯ ДОПРАВЛЕННЯ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ ВСЕРЕДИНІ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

Вступ. Магнітні мікророботи є перспективним напрямком у розвитку медицини. Їх невеликий розмір і достатньо висока мобільність дозволяє потрапляти до найбільш важкодоступних частин людського організму. Інтерес до такого підходу призвів до значного прогресу у цій галузі та забезпечив велику кількість робототехнічних конструкцій, що поєднують різноманітні види рухів, матеріали та технології виготовлення, які засновані на вимогах для конкретної прикладної задачі. Приведення робота у рух за допомогою магнітного поля має багато переваг порівняно з електричними, акустичними та тепловими підходами, завдяки простоті використання, малому часу відгуку та безпечному проникненню у біологічне середовище [2]. Але керування такими пристроями вимагає особливого підходу, оскільки, як вже зазначалося, такі роботи невеликі за розмірами та мають іншу природу ніж більш звичні механічні пристрої. Фізика поведінки та динаміка загальнозживаних механізмів не може бути цілком застосована для мікромасштабу. Тому необхідно розробляти нові підходи для точної взаємодії системи всередині організму.

Опис математичної моделі системи керування магнітним мікророботом

Для опису моделі системи керування магнітним мікророботом необхідно сформулювати з яких елементів складається система та як вони взаємодіють між собою. У більш абстрактному розумінні система складається з двох основних елементів: магнітного робота та магнітного тунелю. Робот знаходиться всередині тіла людини та за допомогою зовнішнього магнітного поля, створеного магнітним тунелем переміщується та деформується для того щоб доставити лікарські перепрати до певного органу людини. Магнітний тунель складається з певної кількості рухомих електромагнітів, які мають змогу рухатись трьома ступенями свободи. Така конструкція дозволяє отримати усі конфігурації магнітного поля, необхідні для переміщення робота [1-3]. Загально, сам мікроробот являє собою матерію, що складається з магнітних мікрочастинок. Полюси цих частинок направлені у просторі таким чином, щоб при потраплянні робота під дію зовнішнього магнітного поля робот деформувався певним чином. Форму робота та направлення магнітних часточок зображено на рис. 1.

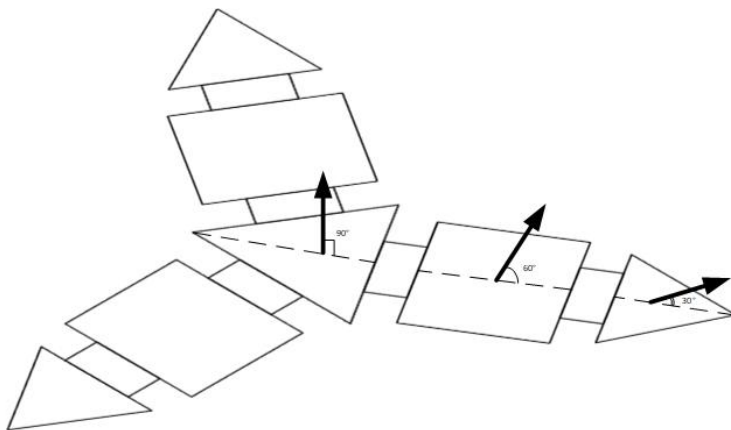


Рис. 1. Зовнішній вигляд магнітного мікроробота

Як можна побачити, мікрочастинки в базисній частині корпусу робота напрямлені під кутом у 90° до нормалі, у середній частині під кутом у 60° та у кінцевих частинах – у 30° . Також кожна частина має різну кількість магнітних часточок. Базисна частина містить близько однієї тисячі, кожна з середніх частин по три тисячі і кожна кінцева – по дві тисячі часток. Така конфігурація матерії дозволяє належним чином деформувати та переміщувати робота.

Описавши загальну структуру системи та маючи конкретну прикладну задачу, потрібно більш детально описати що саме та яким чином має виконувати система для взаємодії з роботом. У рамках задачі транспортування медичних препаратів робот мусить виконувати дві базові дії [4]. Перша дія – переміщення (перекочування) самого мікроробота в біологічному середовищі. Для цієї базової дії необхідно застосувати до робота обертове магнітне поле, яке, взаємодіючи з магнітним полем робота буде створювати момент, перекочуючи його, оскільки у закритому стані він матиме форму близьку до сферичної. Другою базовою дією є закривання та розкривання корпусу робота, що дозволяє захоплювати лікарський препарат для подальшого переміщення. Під закриванням та розкриванням розуміється, що мікроробот буде змінювати кут нахилу його середніх та кінцевих частин (сукупність цих частин називається руками робота) відносно базисної. Для того щоб коректно керувати таким рухом необхідно виявити залежність характеристик зовнішнього магнітного поля та відповідної деформації корпусу робота. Отже, для виведення необхідної залежності знайдемо потік магнітного поля, який має виникати у підсистемі магнітного тунелю. Магнітний потік визначається співвідношенням

$$\Phi = B_{ext} S_{ext}, \quad (1)$$

де: B_{ext} – магнітна індукція котушки зовнішнього магнітного поля, S_{ext} – площа зовнішнього магнітного поля.

Для того щоб знайти магнітний потік необхідно обчислити магнітну індукцію зовнішнього поля. Для цього проаналізуємо які сили прикладені до робота під час його деформації. Перш за все прикладена сила взаємодії магнітних часточок у корпусі робота та зовнішнього магніта. Також прикладена сила опору. Оскільки робот знаходиться у рідинному середовищі такий вид опору буде більшим ніж у повітряному, але він все одно залишається не дуже великим через те що площа поверхні корпусу робота відносно невелика. Також прикладена сила тяжіння, але вона також є доволі незначною зважаючи на те, що маса робота незначна. Таким чином взаємодію усіх сил можна описати наступним виразом

$$F = \frac{B_{ext} B_t S}{2\mu} - \frac{\rho S v^2}{2} - mg, \quad (2)$$

де: B_{ext} – магнітна індукція котушки зовнішнього магнітного поля, B_t – загальна магнітна індукція робота, S – площа поверхні робота, μ – магнітна проникність тіла людини, ρ – густина крові, v – середня швидкість переміщення робота, m – маса робота, g – постійна гравітаційна стала.

З формули (2) магнітна індукція зовнішнього магнітного поля визначається як

$$B_{ext} = \frac{\left(\frac{\rho S v^2}{2} + mg + ma \right) 2\mu}{S B_t}. \quad (3)$$

Для знаходження магнітної індукції зовнішнього поля необхідно знайти магнітну індукцію поля корпусу робота. Її можна обчислити як сумарну магнітну індукцію усіх часточок у корпусі робота:

$$B_t = \sum_i^{x_n} \sum_j^{y_n} \sum_k^{z_n} B_{ijk}. \quad (4)$$

Але такий вираз не є вірним у повній мірі, оскільки тут не враховується декілька факторів. Перш за все, як вже було зазначено, усі часточки, в залежності від положення у корпусі робота, напрямлені під різними кутами до нормалі. Наступним фактором є те, що концентрація часточок у різних частинах корпусу робота відрізняється. Також необхідно врахувати, що часточки, які знаходяться у базисній його частині не впливають на даний вид

руху. З урахуванням наведених міркувань загальна магнітна індукція усіх часточок у корпусі робота визначається співвідношенням

$$B_t = 0,6N_t B_1 \cos 60^\circ + 0,4N_t B_1 \cos 30^\circ. \quad (5)$$

Цей вираз враховує усі вищеперераховані фактори. У ньому 0,6 та 0,4 відображають відсоткове відношення частинок у різних частинах робота, окрім базисного модуля. Ця сукупність позначена N_t . З виразу (5) видно, що невідомою залишається змінна B_1 . Вона позначає магнітну індукцію однієї часточки у корпусі робота та описується наступним виразом.

$$B_1 = \frac{\mu}{4\pi r^3} \left(\frac{3R^2 M}{r^2} - M \right), \quad (6)$$

де: μ – магнітна проникність тіла людини, r – радіус однієї магнітної частинки, R – відстань від магнітного мікроробота до зовнішнього магнітного поля, M – магнітний момент однієї магнітної мікрочастинки.

У цій формулі виражено розподіл магнітної індукції поверхнею частинки через магнітний момент. Магнітний момент частинки відомий, оскільки надається виробником. Отже, маючи усі необхідні вирази, є можливість вивести кінцеву формулу для знаходження магнітного потоку зовнішнього магнітного поля.

$$\Phi = \frac{\rho S v^2 + 2mg + 2ma}{S_{ext} N_t \times (0,6 \cos 60^\circ + 0,4 \cos 30^\circ) \times \frac{1}{4\pi r^3} \left(\frac{3R^2 M}{r^2} - M \right)}. \quad (7)$$

Підставивши, усі відомі змінні маємо змогу розрахувати значення магнітного потоку для підйому рук робота. Маємо наступні значення: густина крові $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$; площа поверхні робота $S = 2,5 \times 10^{-6} \text{ м}^2$; швидкість руху руки робота $v = 10^{-3} \text{ м/с}$; маса робота $m = 2 \times 10^{-3} \text{ кг}$; постійна гравітаційна стала $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; прискорення руки робота при підйомі $a = 10^{-3} \text{ м/с}^2$; площа котушки зовнішнього електромагніту $S_{ext} = 0,2 \text{ м}$; загальна кількість магнітних часточок, які задіяні при підйомі руки робота $N_t = 15000$; $\pi = 3,14$; радіус однієї магнітної частинки $r = 2 \times 10^{-6} \text{ м}$; відстань від магнітного мікроробота до зовнішнього магнітного поля $R = 0,3 \text{ м}$; магнітний момент однієї магнітної

мікрочастинки $M = 2,1 \times 10^{-26} \text{ Ам}^2$. Отримане значення магнітного потоку зовнішнього магнітного поля становить $\Phi = 0,01 \text{ Вб}$. Таке значення необхідне для максимального підйому рук робота догори. У разі, якщо необхідно деформувати робота таким чином, щоб руки були відкриті не повністю, а на менший кут необхідно пропорційно зменшити значення магнітного потоку. Для більш точних відношень між кутом відхилення рук від базисної частини до зовнішнього магнітного потоку згенерованого магнітного поля необхідно провести експериментальне дослідження.

Моделювання роботи системи у пакеті MATLAB

Після формулювання фізичних законів за якими будуть взаємодіяти елементи системи необхідно виконати моделювання поведінки системи у віртуальному середовищі. Модель була побудована у пакеті MATLAB/Simscare. Перш за все необхідно зауважити, що даний пакет має певні обмеження. Вони пов'язані з тим, що основною задачею цього пакету є моделювання руху механічних приладів. Оскільки розроблюваний мікроробот виконує механічні рухи під впливом магнітної взаємодії, а не завдяки електродвигунам, пневматичним або гідравлічним приладам, які характерні для механічних систем, модель використовує весь наявний функціонал тулбоксу Simscare. Як зазначалося, розглянутий підхід лише нещодавно став активно досліджуватись, тому наразі немає спеціалізованих засобів моделювання які б надавали більше можливостей для моделювання подібних процесів.

Модель системи складається з двох частин: магнітного робота та магнітного тунелю та представлена на рис. 2.

Моделювання роботи системи у пакеті MATLAB

Після формулювання фізичних законів за якими будуть взаємодіяти елементи системи необхідно виконати моделювання поведінки системи у віртуальному середовищі. Модель була побудована у пакеті MATLAB/Simscare. Перш за все необхідно зауважити, що даний пакет має певні обмеження. Вони пов'язані з тим, що основною задачею цього пакету є моделювання руху механічних приладів. Оскільки розроблюваний мікроробот виконує механічні рухи під впливом магнітної взаємодії, а не завдяки електродвигунам, пневматичним або гідравлічним приладам, які характерні для механічних систем, модель використовує весь наявний функціонал тулбоксу Simscare. Як зазначалося, розглянутий підхід лише нещодавно став активно досліджуватись, тому наразі немає спеціалізованих засобів моделювання які б надавали більше можливостей для моделювання подібних процесів.

Модель системи складається з двох частин: магнітного робота та магнітного тунелю та представлена на рис. 2.

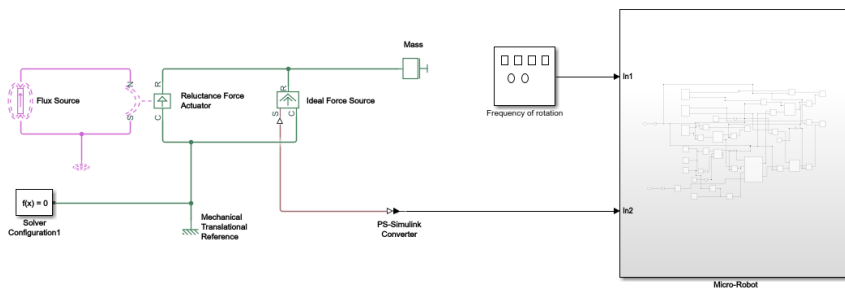


Рис. 2. Модель системи керування магнітним мікророботом

Для більшої абстракції магнітний тунель у моделі представляє собою електромагніт, який змінює магнітний потік та своє положення у просторі. На рис. 1 видно ці два базові параметри, які приходять до підсистемі Micro-Robot, яка безпосередньо моделює рух робота. Підсистема моделювання руху робота зображена на рис. 3.

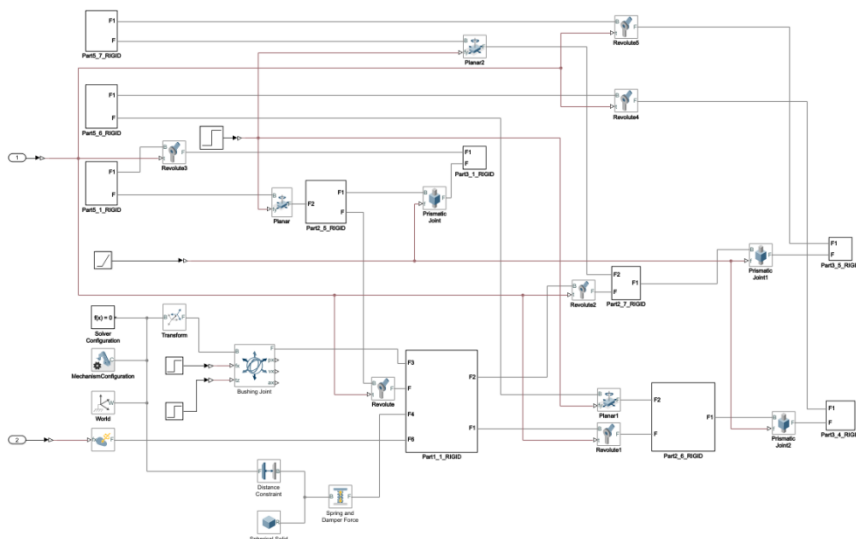


Рис. 3. Підсистема моделювання руху робота

Оскільки даний пакет призначено для моделювання механічних систем, тому розроблювана магнітна система представлена у вигляді механічних елементів, але керується за описаними вище фізичними законами.

Модель робота складається з тих самих семи частин, які були описані при побудові математичної моделі. Між собою ці частини пов'язані завдяки елементам, що називаються ступенями свободи. Дані елементи забезпечують необхідний рух усіх частин робота відносно одна одної та зовнішнього простору. Закони, за якими цей рух виконується залежать від того як налаштовані дані елементи та які сигнали вони отримують на вхід. Вхідні сигнали у свою чергу генеруються моделлю зовнішнього магнітного поля за формулами математичної моделі. Результат моделювання руху робота під дією зовнішнього магнітного поля у режимі реального часу зображено на рис. 4.

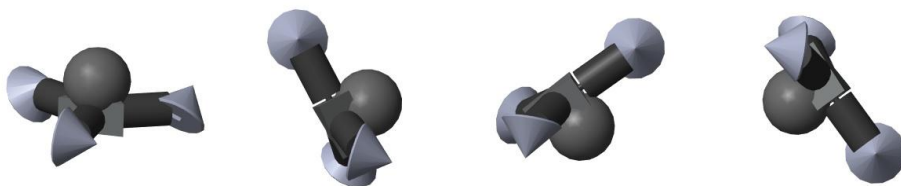


Рис. 4. Моделювання руху робота під дією зовнішнього магнітного поля

На рис.4 зображено переміщення робота із захопленою лікарською частинкою. На початку моделювання частинка поміщується до базисного модулю робота після чого руки робота закриваються та починається обертювий рух. У моделі через обмеження пакету Simscare руки візуально залишаються відкриті, лише кінцеві частинки вказують їх напрямок, але фактично при обчисленні траєкторії все працює згідно математичної моделі.

На рис. 5 та 6 відповідно зображено графіки залежності частоти обертів та пройденого шляху від часу.

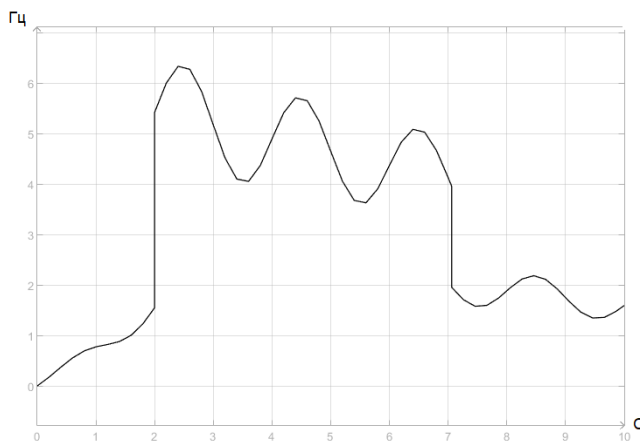


Рис. 5. Графік частоти обертів мікроробота під час переміщення

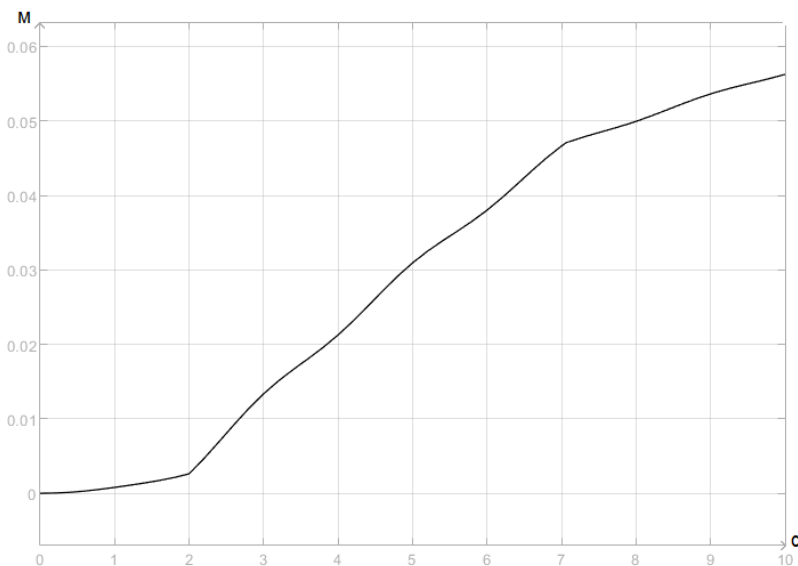


Рис. 6. Графік пройденого шляху мікроробота

Висновки. В роботі було розроблено математичну модель взаємодії системи керування магнітним мікророботом та побудовано модель руху робота всередині організму людини. Дані моделі були розроблені для вирішення прикладної медичної задачі – доправлення медичних препаратів до необхідного місця в організмі людини. Моделювання у пакеті MATLAB показало достовірність математичної моделі та надало змогу отримати більше інформації про роботу системи.

- [1] Anatomy of the cerebral ventricular system for endoscopic neurosurgery: a magnetic resonance study / F. Duffner, H. Schiffbauer, D. Glemser, M. Skalej, D. Freudenstein. // *Acta Neurochir.* – 2005. – С. 68.
- [2] Control of Magnetically-Driven Screws in a Viscoelastic Medium / Z. Zhang, A. Klingner, S. Misra, S. Khalil. // *Micromachines.* – 2020. – С. 15.
- [3] Dynamics modeling and analysis of a swimming microrobot for controlled drug delivery / H. Li, J. Tan, M. Zhang, S. Khalil. // *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* – 2009. – С. 9.
- [4] Hyperthermia in Cancer Treatment / G. Baronzio, E. Hager // New York: Springer. – 2006. – С. 19.

А.В. Яцишин, О.О. Попов, В.О. Артемчук, В.О. Ковач,
 Анна В. Яцишин, В.В. Коваленко

МАТЕМАТИЧНІ ПІДХОДИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ВПЛИВУ МІСЦЬ ЗБЕРІГАННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

На сьогоднішній день в Україні існує велика проблема поводження із золошлаками вугільних ТЕС та ТЕЦ. Це пов'язано з тим, що в нашій державі питома вага переробки золошлакових відходів знаходиться в межах лише 10-14%, що вкрай мало в порівнянні з США та країнами Європи. Це призводить до постійного накопичення цих відходів і на даний час більшість золошлаковідвалів українських ТЕС та ТЕЦ вже майже заповнені, і немає можливості їх розширювати. В свою чергу, зберігання золошлаку супроводжується низкою вкрай негативних наслідків для довкілля та здоров'я людини. Зокрема в суху погоду в результаті впливу вітру відбувається сильне пиління золошлаковідвалу, при цьому частинки пилу різних фракцій переносяться на значні території і можуть досягати населених пунктів, створюючи значний ризик для здоров'я населення [2].

Нажаль в Україні немає затвердженої методики, згідно якої можна було б оцінити вплив золошлаковідвалу на атмосферне повітря та населення прилеглих територій, що не дозволяє відповідним службам здійснювати ефективне управління екологічною безпекою в зонах впливу золошлаковідвалів. Така ситуація вкрай негативно позначається на іміджі нашої країни і потребує негайного виправлення.

Розглянемо ряд формул, використання яких дозволяє оцінити вплив золошлаковідвалу на атмосферне повітря.

Викид золових частинок в атмосферу за межі санітарно-захисної зони золошлаковідвалу визначають за формулою [3], т/рік:

$$M_B = M_E \cdot \left(\frac{1 - [\mu_0 - \mu_{ГР.СЗЗ}]}{\mu_0} \right), \quad (1)$$

де M_E - річний винос золових частинок по кожному напрямку вітру; μ_0 - початкова концентрація пилових частинок на сході з дамби; $\mu_{ГР.СЗЗ}$ - запиленість на зовнішньому кордоні санітарно-захисної зони, що визначається інструментальними вимірами або розраховується за формулою.

Інтенсивність вітрової ерозії поверхні залежить від способу формування шару. Для намитого шару золошлаковідвалу вона є на порядок нижчою, ніж для насипного та неущільненого шару. Це вказує на істотну відмінність умов запилення сухих свіжонамитих ділянок і зон вторинного запилення, поверхня яких утворюється відкладеними еродованими частинками.

Приземна концентрація частинок пилу на відстані X від дамби з урахуванням фонового забруднення визначається за формулою [4]:

$$\mu_X = \mu_0 \cdot e^{-\alpha \cdot X}, \quad (2)$$

де X - відстань від дамби по осі запилення, м (10, 50, 100, 250, 500, 1000).

Початкова концентрація пилових частинок на сході з дамби (мг/м^3), визначається за формулою:

$$\mu_0 = \frac{M_{EP}}{L_{\Pi} \cdot h_0 \cdot U_{E\Phi}}, \quad (3)$$

де L_{Π} - політ сальтованої частинки над золошлаковим полем (ширина пилової хмари), м; h_0 - висота пилової хмари на дамбі, м та знаходиться за формулою:

$$h_0 = 2 \cdot h, \quad (4)$$

де h - висота підйому еродованих частинок (не враховуючи можливого впливу висхідних повітряних потоків і турбулентних великомасштабних вихрових утворень).

Ділянка безпосередньо перед огорожувальною дамбою, сама дамба, її низовий укіс, дренажні та нагрінні канали в межах відвалу і санітарно-захисна зона з природними і штучними пилоосаджувальними лісосмугами є зоною знепилювання вітрового потоку, в якій діють гравітаційні сили й турбулентна дифузія.

Швидкість повітряного потоку визначає не тільки інтенсивність здування золових частинок з поверхні золошлаковідвалу (питома здуваність з одиниці поверхні), але також протяжність фронту запилення (в результаті залучення в процес вітрової ерозії нових місць запилення, розосереджених по поверхні відвалу) та висоту пилової хмари, що формується над золошлаковим полем.

При швидкості вітру на рівні флюгера, близької до U_{KP} (швидкість вітру, при якій починається здув золових частинок) запилення носить локальний характер. При збільшенні швидкості вітру зберігається осередкований характер запилення, вузькі шлейфи запиленого вітроповітряного потоку переносяться через дамбу. При швидкості вітру, що досягає 6,8 м/с, що відповідає максимальній швидкості вітру U_{\max} з повторюваністю 5%, фронт запилення (ширина пилової хмари L_{Π}) зростає до 0,5 від протяжності дамби L_D . Орієнтовно ширина пилової хмари може бути визначена за формулою [3], [4]:

$$L_{\Pi} = 0,5 \cdot L_D \frac{(U_Z - U_{KP})}{(U_{\max} - U_{KP})}, \quad (5)$$

де L_D - довжина дамби, м.

У цьому ж діапазоні значень швидкостей вітру верхня межа пилової хмари, що переміщується над поверхнею золошлакового поля, змінюється від 0,2 до 3 м.

При $U_z > U_{KP}$ запилення може охопити поверхню всіх потенційно запилених ділянок сухого пляжу (до 20% площі сухого пляжу), а схід пилової хмари відбуватиметься по всій довжині греблі, виключаючи ділянку, що екранована відстійним ставком.

Викиди твердих частинок, що здуваються з поверхні золошлаковідвалу

Розрахунок викидів твердих частинок, що здуваються з поверхні золошлаковідвалу пропонується розраховувати за наступною формулою [3], [4], г/с:

$$M_{зд} = 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S \cdot W \cdot j \cdot (365 - T), \quad (6)$$

де K_0 - коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу 0,1 - 1,0;

K_1 - коефіцієнт, що враховує швидкість вітру 2 - 0,5;

K_2 - коефіцієнт, що враховує ефективність здування твердих частинок 0,1 - 1,0;

S - площа поверхні, на якій відбувається запилення, м²;

W - питома здуваемість твердих частинок з запиленої поверхні кг/м²;

j - коефіцієнт подрібнення гірської маси 0,1 - 1,0;

T - річна кількість днів з стійким сніговим покривом.

Річний винос золових частинок або еродованість об'єкта (т/рік) рекомендується визначати як суму виносу золових частинок по кожному напрямку вітру [2], [4]:

$$M_{EP} = \sum M_{EPi} \quad (7)$$

де: M_{EPi} - річний винос золових частинок по кожному напрямку вітру:

$$M_{EPi} = m_O^{CP} \cdot (n_{ВИГ} \cdot S + n_{САЛЬТ} \cdot S_{ЕФ} \cdot K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \tau_{ПІЛ} \cdot 3,6 \cdot 10^{-6}, \text{ т/рік} \quad (8)$$

де: m_O^{CP} - питома здуваемість в г/м²с, що відповідає середній швидкості вітру U_{CP} ;

$K_1; K_2; K_3; K_4$ - поправочні коефіцієнти;

$\tau_{ПІЛ}$ - тривалість періоду запилення, год.

Тобто, можна зробити висновок, що при відсутності спеціальної апаратури запропоновані вище формули, що засновані на певній фізичній моделі процесу вітрової ерозії, дають змогу оцінити вплив золошлаковідвалу на приземний шар повітря.

Перенесення золових частинок, що надходять в атмосферу з відкритої поверхні золошлаковідвалу та підстилаючої поверхні в прилеглий зоні здійснюється по іншому механізму, ніж процеси розсіювання в атмосфері від точкових і площадкових стаціонарних джерел забруднення. Тому всі програмні засоби, що дозволяють здійснювати оцінку техногенного навантаження на приземний шар атмосфери від таких джерел забруднення, а саме AirQUIS, AQMIS, AquisNet, AirWare, SAAQIS, УІАС НС, ЕОЛ-2000[h] тощо не можуть бути використані для оцінювання впливу золошлаковідвалу на стан атмосферного повітря. Авторами даної публікації створено відповідний модуль в програмі AISEEM [5], який враховує особливості

перенесення золових частинок та процес вітрової ерозії, що дає можливість оцінити вплив золошлаковідвалів на приземний шар повітря. Розроблені програмні засоби були використані при визначенні впливу місця зберігання золошлаків Дарницької ТЕЦ (ТЕЦ-4, ТОВ «Євро-Реконструкція», м. Київ) на забруднення атмосферного повітря прилеглих територій, про що є відповідний акт впровадження.

Проведені розрахунки приземної концентрації пилу (мг/м^3) на різних відстанях від золовідвалу не виявили надмірно шкідливого впливу золовідвалу ТОВ «Євро-Реконструкція» (ТЕЦ-4) на прилеглі житлові масиви, які розташовані на відстані понад 300 м, що є мінімально допустимим з точки зору п. 8.33 Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів [6].

- [1] Яцишин А.В., Матвєєва І.В., Ковач В.О., Артемчук В.О., Каменєва І.П. Особливості впливу золовідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2018. № 2 (28). С. 57-68. doi: 10.5281/zenodo.2594489
- [2] Iatsyshyn A., Artemchuk V., Zaporozhets A., Popov O., Kovach V. (2020) Mathematical Approaches for Determining the Level of Impact of Ash-Slag Dumps of Energy Facilities on the Environment. In: Babak V., Isaienko V., Zaporozhets A. (eds) Systems, Decision and Control in Energy I. Studies in Systems, Decision and Control, vol. 298, pp. 1-13. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_1
- [3] Комонов С.В., Комонова Е.Н. Ветровая эрозия и пылеподавление. Курс лекций. Красноярск: Изд. СФУ. 2008. 192 с.
- [4] РД 153-34.0-02.106-98 (СО 34.02.106-98) Методика расчетной оценки ветровой эрозии и пыления золошлакоотвала тепловых электростанций. Екатеринбург : ОАО «УралОРГРЭС», 1998.С. 20.
- [5] Artemchuk, V.O. and al. (2017). Theoretical and applied bases of economic, ecological and technological functioning of energy objects. Kyiv, Ukraine: TOV «Nash format».
- [6] Наказ МОЗ України «Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» від 19.06.1996 № 173. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text>

ВИВІД ЗНАЧЕНЬ СТРУМІВ І НАПРУГ НА МНМОСХЕМІ ПРИ АВТОМАТИЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ ДАНИХ МОДЕЛІ РЕЖИМУ

Актуальність і важливість тематики показана в [1] і [2]. При створенні мнемосхеми необхідно налаштувати структуру, котру необхідно розрахувати. При підготовці даних для розрахунку режиму зазвичай структурні параметри(номера компонентів, індекси гілок) вводяться вручну. На мнемосхемі необхідно виводити значення струмів у гілках і напруги у вузлах. Головним недоліком ручної підготовки даних є можливість помилки при вводі структурних даних. Ці помилки можуть виникнути, якщо скопіювати компонент у редакторі, вставити новий компонент, але забути змінити значення структурних параметрів. Відповідно декілька компонентів можуть мати ідентичний номер або індекс і через це розрахунок режимів некоректний. Пошук на якому саме компоненті невірно записані структурні параметри займає багато часу. Дана проблема вирішується за допомогою автоматичної підготовки даних моделі режиму. На відміну від ручної підготовки даних моделі режиму електричної мережі, в автоматичній підготовці даних структурні параметри вводиться автоматично(без участі розробника тренажерного заняття), тим самим нівелюється можливість помилки під час заповнення структурних параметрів.

Структурні параметри для виводів значень струмів і напруг вводяться за допомогою “передачі” номеру вузла або індексу гілки з використанням мови програмування ActionScript 3.0. Для початку потрібно створити локальну змінну котра буде запам’ятовувати значення номеру вузла або індексу гілки, для цього необхідно використати оператор, котрий визначає компоненти під точкою, котра знаходиться на об’єкті(getObjectsUnderPoint). Значення локальної змінної потрібно перенести у відповідний вивід. Функція переносу виконується за допомогою структурного компоненту “Зв’язок”. Компоненту “зв’язок” не було у ручній підготовці даних.

Один кінець лінії необхідно розмістити так, щоб точка прив’язки компонента накладався на вузол або гілку. Точка прив’язки на іншому кінці лінії повинна накладатись на екземпляр виводу значення напруги або струму. У разі не виконання цієї умови не відбувається передача індексу гілки або номеру вузла на вивід, і вивід буде показувати некоректні результати або взагалі не буде їх показувати. На рисунку 1 прямокутником показаний компонент “зв’язок” і точки прив’язки даного екземпляру, в графічному редакторі Flash.

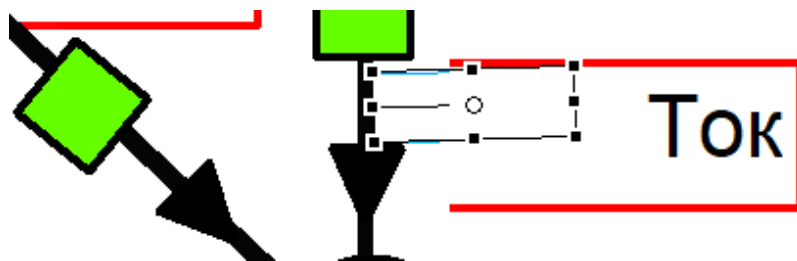


Рисунок 1. Візуальний вигляд компоненту “зв’язок”

Один кінець лінії розміщено так, що точка прив’язки компонента накладається на гілку. Точка прив’язки на іншому кінці лінії накладається на екземпляр виводу значення струму.

Автоматизація присвоєння номерів або індексів для виводів напруг або струмів працює на моделях режиму електричної мережі. Автоматизація зменшує час вводу структурних параметрів виводів та нівелює помилку під час заповнення структурних даних.

- [1] Комп’ютерні технології розробки тренажерних систем для енергетичної галузі/[В.Д. Самойлов, Р.П. Абрамович, А.О. Лепатьєв] – Київ, 2020. – 10 с.
- [2] Методи та засоби конструювання комп’ютерних систем підготовки оперативно-диспетчерського персоналу нижчих рівнів в енергетиці/ [Р.П. Абрамович]– Київ, 2020. – 136 с.

Ю.О. Кириленко, І.П. Каменева, В.О. Артемчук, О.О. Попов,
А.В. Яцишин, В.О. Ковач

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИПАРОВУВАННЯ РАДІОАКТИВНОЇ РІДИНИ В РЕЗУЛЬТАТІ АВАРІЙНОГО РОЗЛИВУ В ПРИМІЩЕННІ РАДІАЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНОГО ОБ'ЄКТУ

Модель випаровування радіоактивних рідин (РР) визначає транспорт радіонуклідів в межах аварійного приміщення радіаційно-небезпечного об'єкту (РНО) та визначає динаміку атмосферного викиду. Вона описує наступні фізичні явища [1]:

- збільшення маси рідини у розливі у початковий момент витoku радіоактивної рідини з ємності зберігання;
- стратифікація за двома термодинамічними шарами;
- зменшення внутрішньої енергії рідини розливу за рахунок випаровування, конвекції, тепловіддачі конструкційним елементам;
- зміна концентрацій радіонуклідів у всіх фазах за рахунок радіоактивного розпаду;
- зміна концентрацій радіоактивних речовин у повітряній фазі відбувається за рахунок випаровування з вільної поверхні розливу, роботи системи вентиляції, осадження на будівельні конструкції та елементи обладнання, радіоактивного розпаду;
- зменшення маси рідкої фази за рахунок масовіддачі випаровуванням та дренажу РР (примусового або неконтрольованих протічок РР за межі технологічного приміщення);
- атмосферний викид паро-аерозольної радіоактивної суміші (ПАРС) за рахунок роботи припливно витяжної вентиляції за межі технологічного приміщення (неконтрольовані потоки ПАРС крізь нещільності будівельних конструкцій);
- часткове очищення ПАРС від радіоактивних аерозолів та сполук йоду на фільтруючих матеріалах вентсистеми.

На рис. 1 схематично показано процеси, що відбуваються в результаті інциденту із розливом РР в приміщенні РНО.

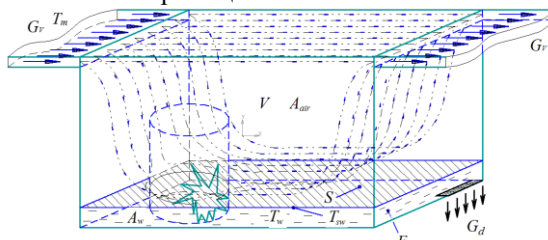


Рис. 1. Концептуальна схема забруднення повітря в приміщенні РНО в результаті аварійної ситуації із розливом РР

Для розв'язання задачі нестационарного випаровування РР була складена система чотирьох балансових диференціальних рівнянь (1), що пов'язує масові та енергетичні параметри РР проливу та повітря аварійного приміщення в часі [2].

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dm_w}{dt} = -\beta_{sw} (p_{sw} - p_m) S - G_d \\ \frac{dm_a}{dt} = \beta_{sw} (p_{sw} - p_m) S - G_V \cdot \frac{m_a}{V} \\ \frac{dm_q}{dt} = G_V \frac{m_a}{V} (1 - \psi) \\ \frac{dT_w}{dt} = - \frac{r_w \beta_{sw} (p_{sw} - p_m) S + kF (T_w - T_f)}{c_p m_w} \end{array} \right. \quad (1)$$

де m_w – маса пролітої радіоактивної рідини, кг; $\beta_{sw}(T_{sw}, w)$ – коефіцієнт масовіддачі (нормований для атмосферного тиску) при швидкості набігаючого потоку повітря w , $\text{кг} \cdot \text{Па}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$; $p_{sw}(T_{sw})$, $p_m(T_m)$ – тиски насичення РР при температурі приповерхневого шару випаровування T_{sw} та температурі припливного повітря T_m відповідно, Па; $T_{sw}(T_w, w)$ – температура приповерхневого шару рідини, К; S – площа відкритої поверхні випаровування рідини, м^2 ; F – площа контактної поверхні «рідина – облицювання з температурою T_f », м^2 ; m_a – маса пароаерозольної складової у повітрі приміщення (за умови ненасичення), кг; G_d – масова витрата дренажу пролітої рідини, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$; V – повітряний об'єм приміщення, м^3 ; G_V – об'ємна витрата вентиляційної системи $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; k – коефіцієнт тепловіддачі (рідина – облицювання з температурою T_f), $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$; $r_w(T_w)$ – питома теплота пароутворення, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$; $c_p(T_w)$ – питома ізобарна теплоємність рідкої фази, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; ψ – коефіцієнт фільтрації на фільтрах; m_q – маса аерозолів, що надійшла до атмосфери, кг; t – час, с.

Дана система нелінійних диференціальних рівнянь включає в себе функції поліноміального виду. Оперуючи середовищем MathCad при розв'язанні системи (1) чисельним методом Рунге-Куты, можливо отримати необхідні функції в матричному вигляді (значення шуканих параметрів в конкретні моменти часу).

Кінцевою задачею моделі випаровування РР є визначення динаміки значень активності ПАРС у повітрі аварійного приміщення та інтегрального викиду радіоактивних речовин в атмосферу для конкретного радіонукліду.

Динаміка активності ПАРС у повітрі аварійного приміщення знаходиться за виразом (2).

$$A_{air}(t) = \frac{A_w}{V} H \cdot m_a(t) \quad (2)$$

де $A_w(t)$ – масова концентрація радіонукліду у РР, *Бк/кг*;

На практиці для як параметр викиду використовують питому величину – масову долю виходу радіонукліда відносно його початкового вмісту в радіоактивній речовини:

$$q = \frac{A_w}{m_0} \cdot H \cdot m_q \cdot 100\% \quad (3)$$

m_0 – початкова маса пролітої радіоактивної рідини, *кг*.

Дана величина виступає в якості вхідного параметру для оцінки приземних концентрацій радіоактивних речовин.

Для розв'язання даної системи чисельними методами адаптовано засоби середовища MathCad, які надають можливості для отримання в матричному вигляді значень миттєвої об'ємної концентрації радіонукліду в повітрі технологічного приміщення та потужності атмосферного викиду для певного ізотопного складу і хімічних характеристик радіоактивного розчину. Таким способом можна одержати вихідні дані, що характеризують джерело викиду для досліджуваних інцидентів.

За допомогою запропонованої та реалізованої математичної моделі формування радіоактивного викиду при подібних аваріях можна обчислити миттєву об'ємну концентрацію радіонуклідів у повітрі технологічного приміщення та потужності атмосферного викиду, що характеризують аварійні ситуації з розливом РР.

- [1] Кириленко Ю.О. Математична модель формування викиду при подіях із розливом радіоактивних середовищ / Ю.О. Кириленко // Моделювання та інформаційні технології. – 2019. – № 87. – с. 49-60. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3612242>
- [2] Кириленко Ю.О. Аналіз засобів моделювання наслідків радіаційних аварій та інцидентів з розливом рідких радіоактивних середовищ / Ю.О. Кириленко, І.П. Каменева, А.В. Яцишин, О.О. Попов, В.О. Артемчук, В.О. Ковач // Електронне моделювання. 2020. № 4. с. 31-48.

СЕРЕДНЬОЗВАЖЕНА СОБІВАРТІСТЬ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ВІД ГРУНТОВИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

В Україні розвинуті системи централізованого та децентралізованого теплопостачання, основою яких є опалювальні котельні та ТЕЦ. Серед технологій, які є перспективними для впровадження в системах теплопостачання, є теплові насоси (ТН) та прогнозується суттєве збільшення їх встановленої потужності до 2035 р. [1]. Як показує досвід європейських країн, ТН можуть забезпечити побутове опалення за конкурентоспроможною ціною. В Україні, хоч і не масово, але впроваджуються системи теплопостачання та гарячого водопостачання (ГВП) з використанням ТН.

Система опалення з тепловим насосом зазвичай реалізується на базі радіаторної розводки і/або системи з теплими підлогами, стінами або з системою фанкойлів. При цьому температура нагріву теплоносія від 35-45°C для теплих підлог до 65-75°C і вище - для системи радіаторів, що позначається на величині потужності ТН. Чим нижче температура теплоносія в системі опалення, тим менше витрата електроенергії, менше теплова потужність, дешевше обладнання [2].

В порівнянні з повітрям, як джерелом теплоти для ТН, ґрунт має вищу температуру в січні, коли є великий попит на теплову енергію для потреб опалення. Температура ґрунту на глибині 1 м в північній Україні в жовтні-листопаді складає близько 10–13°C, а в січні – близько 0–5°C. Теплові насоси типу «ґрунт–вода» більш широко використовуються в кліматичних умовах України, оскільки температура ґрунту відносно постійна протягом усього року. Основні переваги та недоліки ТН типу «ґрунт–вода»: високі початкові капіталовкладення на встановлення обладнання вертикальних свердловин (буріння свердловин, погодження цих робіт з відповідними організаціями і т.д.) або горизонтального ґрунтового теплообмінника; висока ефективність роботи (COP) завдяки майже постійній досить високій температурі джерела теплоти; невисокі експлуатаційні затрати; простота обслуговування горизонтальних геотермальних теплообмінників; для установки вертикальних геотермальних теплообмінників необхідна невелика площа ділянки [3].

На ринку України є теплові насоси різного типу, потужності, країни виробництва, в країні є виробники теплових насосів, в основному невеликої потужності. Аналіз вартості малопотужних ТН, представлених на ринку України, показав, що зі зростанням потужності ТН суттєво зменшується вартість 1 кВт встановленої потужності, а також суттєво більшу вартість ТН виробництва країн ЄС, вартість українських ТН вдвічі менша ніж європейських виробників. Також на ринку представлені ТН китайського виробництва вартістю, співставною з українськими ТН.

Будь-який геотермальний тепловий насос для реалізації конкретної

гідравлічної схеми комплектується додатковими компонентами, як і будь-який інший електричний, твердопаливний або газовий котел. Сюди відносяться сполучна арматура, трубопроводи, насосні групи, 3-ходові клапани, крани, колектори, теплообмінники, групи безпеки та ін. Вартість об'язки для теплового насоса може коливатися від 700 до 4000 євро, залежно від потужності агрегату і додаткових вимог споживача [4].

Для порівняння вартості теплової енергії від різних ґрунтових ТН використано показник середньозваженої собівартості теплоенергії за життєвий цикл – LCON [5-7]. Дослідження проведено для 3-х варіантів системи опалення та ГВС – з українськими ТН Softenerqi SE4,5 тепловою потужністю 4,7 кВт для будинку площею 60 м² та ТН VDE310 тепловою потужністю 331 кВт (В0/W35) для споруди площею 4200 м² і з німецьким ТН Classic 004BW потужністю 4,05 кВт для будинку площею 50 м².

Розрахунки LCON проведено для наступних цін та тарифів: тарифи на електроенергію - 0,90 грн/кВт·год та 1,95 грн/кВт·год; курс євро - 33 грн; заробітна плата обслуговуючого персоналу – 6500 грн/міс (для більш потужного ТН), ставка дисконту 0%; амортизація не врахована. Результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Середньозважена собівартість теплоенергії за життєвий цикл системи тепlopостачання з тепловими насосами типу «ґрунт-вода» (опалення та ГВП)

Тепловий насос, об'єкт	Тариф на електроенергію, грн/кВт·год	LCON, грн/Гкал	Дисконт 0%, складові LCON, грн/Гкал		
			умовно-змінні витрати	умовно-постійні витрати	інвестиційна складова
Softenerqi SE 4,5 (Україна) для будинку 60 м ²	0,90	941,26	267,24	155,54	518,48
	1,95	1253,04	579,03	155,54	518,48
Classic 004 BW (Німеччина) для будинку 50 м ²	0,90	1 536,57	255,86	295,55	985,17
	1,95	1 835,08	554,36	295,55	985,17
VDE 310 (Україна) для будинку 4200 м ²	0,90	574,97	245,13	107,22	222,62
	1,95	860,95	531,11	107,22	222,62

Результати розрахунків показали, що найбільшою складовою в структурі LCON для малопотужних ТН (4 кВт) є інвестиційна складова, для українського ТН, розрахованого для опалення великих споруд – умовно-змінна (паливна). Збільшення тарифу на електроенергію призводить до зростання LCON від 20% (для Classic 004 BW) до 50% (VDE 310).

Оскільки інвестиційна складова LCON складає 26-64%, то зростання величини ставки дисконту матиме найбільший вплив на собівартість теплової енергії серед усіх факторів, як і величина відсоткової ставки за кредит (якщо залучаються кредитні кошти).

Таким чином, найдешевшою є тепла енергія від систем з більш

потужними ТН вітчизняного виробництва, найменш економічно вигідним є використання імпортних малопотужних ТН, розрахованих на невеликий приватний будинок.

Окрім значної економії паливно-енергетичних ресурсів, теплові насоси сприяють зниженню викидів парникових газів в сфері теплопостачання. Виробництво обладнання для цих систем забезпечить створення нових робочих місць та сприятиме економічному розвитку населених пунктів за рахунок збільшення податкових надходжень.

Широкому впровадженню теплових насосів заважає велика вартість обладнання і без підтримки з боку держави виробників теплонасосного обладнання та споживачів, впроваджені проекти будуть і надалі будуть поодинокими.

- [1] Куц Г.О., Маляренко О.Є., Станиціна В.В., Богославська О.Ю. Оцінка стану та прогноз структури палива та енергії для систем теплопостачання України з урахуванням регіональних особливостей. Проблеми загальної енергетики. 2017. Вип. 4 (51). С. 23-32. URL: <https://doi.org/10.15407/page2017.04.023>
- [2] Тепловой насос: тепловая мощность для обогрева и ГВС. Сайт компанії Hitachi. URL: <https://hitachi-ukraine.com.ua/raschyot-teplovogo-nasosa-vozdukh-voda.html#%E2%84%967>
- [3] Ословський С.О. Аналіз комбінованих теплонасосних систем опалення та вентиляції з використанням низькотемпературних джерел енергії URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27744/1/Oslovskiy_magistr.pdf
- [4] Цена теплового насоса под ключ. Сайт компанії Hitachi. URL: <https://hitachi-ukraine.com.ua/cena-teplovogo-nasosa-pod-klyuch.html>
- [5] Baez, M.J., Larriba Martínez, T., 2015. Technical Report on the Elaboration of a Cost Estimation Methodology. No. D.3.1. Creara, Madrid, Spain.
- [6] Projected Costs of Generating Electricity. International Energy Agency (IEA). 2010. 218 p.
- [7] Куц Г.О., Станиціна В.В., Коберник В.С. Порівняльна оцінка вартості теплової енергії від діючих та прогнозованих теплогенеруючих джерел для систем теплозабезпечення країни. Проблеми загальної енергетики. 2016. №3 (46). С.12-18

ВЕБ-ОРІЄНТОВАНІ ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛУ В ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ

Енергетика є базовою для розвитку всіх, без винятку, галузей економіки України і тому дуже важливо забезпечити її безпечну і надійну роботу.

Але, як будь-яка складна людино-машинна система, енергетика з часом має тенденцію до руйнування. Найбільш вразливими її елементами сьогодні є наявне енергетичне обладнання та кваліфікований персонал, який його експлуатує [1].

Важливим є те, що надійність роботи електроенергетичної галузі безпосередньо залежить від рівня кваліфікації та ключових компетентностей обслуговуючого персоналу. У разі аварії, устаткування достатньо швидко замінюється або ремонтується, в той же час підготовка кваліфікованого диспетчера сьогодні, в залежності від рівня ієрархії управління, займає від 3 до 5 років. Крім цього, рівень кваліфікації і компетентність персоналу необхідно підтримувати і контролювати постійно.

Наведені аргументи обумовлені критичним старінням і деградацією електроенергетичного обладнання, ускладненням режимів роботи у зв'язку з підключенням та інтенсивним використанням потужних поновлюваних джерел енергії з невизначеним графіком генерації і відсутністю сучасних тренажерних систем для підтримки кваліфікації та ключових компетентностей оперативно-диспетчерського персоналу.

На жаль, існуюча система роботи з персоналом в енергетиці, яка була кращою у світі ще кілька десятиліть тому, вже не відповідає сучасним викликам, сильно застаріла і потребує негайної модернізації [2].

Недооцінка цього важливого факту призводить до того, що ймовірність виникнення катастрофічної глобальної системної аварії в Об'єднаній електроенергетичній системі (ОЕС) України з кожним роком постійно зростає.

Сьогодні найбільшими проблемами у галузі тренажеробудування для оперативно-диспетчерського персоналу енергетики України є вимоги забезпечення безперервного використання комп'ютерних тренажерів (КТ) оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП) на всіх рівнях ієрархічної системи управління ОЕС України та можливості швидко і зручно розробляти різноманітні сценарії аварійних ситуацій для протиаварійних тренувань.

Вирішення цих проблем можливе за умови використання новітніх результатів досліджень у галузі веб-орієнтованих технологій.

У відповідності до плану науково-технічних досліджень ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України за темою «Персонал» було розроблено веб-орієнтований (ВО) КТ для ОДП магістральних електромереж (МЕМ) ОЕС України.

ВО КТ ОДП дозволяє моделювати різні режими паралельної роботи

електроенергетичних систем (ЕЕС), обленерго і МЕМ. До складу розподіленої моделі ОЕС України включені моделі, що враховують роботу атомних, теплових і гідравлічних електростанцій, а також підстанцій електричних мереж обленерго в реальному часі.

ВО ДКТ забезпечує створення, проведення і подальший аналіз результатів комплексних протиаварійних тренувань (ПТ) за тематикою аварій, що сталися або прогнозованих, включаючи спільну командну роботу оперативно-диспетчерського персоналу ЕК, МЕМ і ЕЕС.

За допомогою ВО КТ ОДП вирішуються наступні завдання: проведення навчання і тренажерної підготовки оперативно-диспетчерського персоналу за тематикою оперативних перемикачів в електричних мережах та ліквідації аварій з урахуванням існуючої ієрархії управління; створення і проведення учбових і контрольних ПТ оперативно-диспетчерського персоналу ЕК, МЕМ і ЕЕС з автоматичним оформленням результатів у відповідних журналах і протоколах; формування та підтримка у оперативно-диспетчерського персоналу ЕК, МЕМ і ЕЕС стійких навиків швидкої ліквідації умов виникнення та розвитку різноманітних аварій і порушень на підстанціях електричних мереж.

З метою зменшення витрат на обов'язкове підвищення кваліфікації персоналу ВО ДКТ може бути легко інтегрований в інноваційне середовище системи електронного (дистанційного) навчання та тренажу персоналу (СДНТП).

СДНТП дозволяє забезпечити сучасний рівень методичної, інформаційної і програмної підтримки процесів підготовки і проведення протиаварійних тренувань персоналу безпосередньо на його робочих місцях і в учбово-тренувальних центрах (УТЦ).

Розроблене технічне за програмне забезпечення ВО КТ ОДП орієнтовано на використання наявних локальних мереж (ЛМ) ЕК, МЕМ і ЕЕС. Технічні рішення, які використані при створенні ВО КТ ОДП, дозволяють забезпечити проведення комплексних ПТ без втрати продуктивності і швидкодії при одночасному підключенні до 50 користувачів на швидкість передачі даних в ЛМ 1000 Мбіт/сек.

Прикладне програмне забезпечення: ВО КТ ОДП з динамічною математичною моделлю електричних мереж, сформованою базою даних та додатковими розрахунковими функціями дозволяє легко і швидко інтегруватися з наявними інформаційними ресурсами електроенергетичних підприємств енергетичної галузі України.

- [1] Gurieiev V. Simulation and study of modes for full-scale mode simulator for Ukrainian energy systems / V. Gurieiev, O. Sanginova. // *Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) IEEE Xplore Digital Library.* – 2016. – С. 1–4.
- [2] Yulii Kutsan, Viktor Gurieiev, Andrii Iatsyshyn, Anna Iatsyshyn, Evgen Lysenko. Development of a virtual scientific and educational center for personnel advanced training in the energy sector of Ukraine. Collective monograph “Systems, Decision and Control in Energy I”. Springer. 2020.

О.О. Попов, В.О. Ковач, В.О. Артемчук, А.В. Яцишин,
Анна В. Яцишин, В.В. Коваленко, О.М. Коваленко

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПРИ АВАРІЙНОМУ ФОНТАНУВАННІ ГАЗОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Нині багато наукових публікацій спрямовані на розробку нових та удосконаленню існуючих підходів, методів та засобів оцінювання впливу на довкілля окремих етапів життєвого циклу газових свердловин. В ряді робіт пропонуються нові технологічні рішення для ефективного подолання фонтанування газової свердловини, а саме: в роботі авторів А. Litovitz, А. Curtright, S. Abramzon та ін. [4] представлений новий метод заводнення газового пласта, а в роботі авторів D. Soeder, S. Sharma, N. Pekney та ін. [10] подана технологія використання підземних спрямованих вибухів. У роботі авторів А. Garcia-Aristizabala, P. Capuanoab, R. Russoa, P. Gasparinia представлено ГІС-аналіз результатів вимірювання концентрацій метану, етану, пропану, діоксиду вуглецю та сірководню на територіях розміщення газових свердловин під час аварійного непалаючого фонтанування. Проте зазначені вище автори не підіймають питання побудови математичних засобів моделювання для визначення розподілу в просторі та часі концентрації забруднюючих речовин (ЗР), що викидаються під час такої аварії.

В роботі авторів Л. Шкіца, Т. Яцишин та ін. 0 представлено розроблені математичні моделі поширення небезпечних речовин від площинного та лінійного джерела. Запропоновані моделі дають змогу оцінити рівень впливу на приземний шар атмосфери лише при технологічних процесах промивання свердловини. Проте ці моделі не дозволяють визначати розподіл токсичних ЗР при аварійному фонтануванні газової свердловини.

В документі «Методика расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей» [14] наведено алгоритм розрахунку параметрів викидів і валових викидів шкідливих речовин від факельних установок спалювання вуглеводневих сумішей, проте цей алгоритм не дозволяє визначити кількість викидів при непалаючому фонтануванні.

Теоретичним дослідженням атмосферної турбулентності і поширення промислових викидів присвячені роботи таких авторів як: S. Cabaneros, J. Calautit, В. Hughes [2] вони розглядають турбулентний обмін в шарі припіднятої інверсії; в роботі N. Danaev, А. Temirbekov, E. Malgazhdarov [3] досліджено вплив аномальної стратифікації на початковий підйом домішок в результаті викидів техногенного джерела, а в роботі вчених D. Nikezić, В. Lončar, Z. Gršić [8] – вплив зміни швидкості вітру з висотою на розподіл техногенних домішок в приземному шарі атмосфери. Проте фізичні закономірності витікання, перенесення і розсіювання при аварійних викидах

природного газу характеризуються значною складністю та істотно відрізняються від класичних викидів, наприклад з димових труб. Перш за все це об'єктивно пов'язано з нестаціонарним характером і високою швидкістю (аж до звукової) витікання газу при аваріях на свердловинах, значним впливом підстилаючої поверхні, довільної в загальному випадку просторової орієнтації викиду і т.д. Тому отримані в цих роботах результати не можуть бути використані для побудови математичних моделей забруднення атмосферного повітря (АП) при викидах з газової свердловини під час непалаючого фонтанування.

Використання інтегральних методів в даній задачі знайшло своє відображення в роботах авторів Н. Kim та ін. [6], А. Alimissis та ін. О. Запропоновані цими авторами одномірні моделі струменя в ряді випадків добре відтворюють розподіл параметрів течії по осі вільних струменів. Проте вони не здатні в сукупності врахувати ряд важливих чинників, які при аварійних викидах з свердловин і газопроводів мають визначальне значення. До таких чинників можна віднести нестаціонарність, неізотермічність викиду, відмінну від повітря щільність, існування поблизу земної поверхні вираженої вертикальної неоднорідності швидкості вітру і характеристик турбулентності. Це істотним чином впливає на появу значних похибок у розрахункових значеннях приземної концентрації. Разом з тим в задачах промислової безпеки необхідною інформацією є саме поле приземних концентрацій.

«Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» [16] (розроблена в Головній геофізичній обсерваторії ім. О. Воєйкова у 1986 р.) має суттєве обмеження оскільки дозволяє визначити розподіл концентрації забруднюючих речовин від техногенних джерел лише за нестійкого стану атмосфери. Це не дозволяє використовувати дану методику для інших метеорологічних сценаріїв, що є неприйнятним для превентивного прогнозу важких аварій, пов'язаних з непалаючим фонтануванням газової свердловини.

Нормативні документи [12], [13], які використовують для оцінки ризиків для здоров'я населення від викидів токсичних речовин великими промисловими об'єктами в атмосферне повітря не враховують повною мірою специфіку досліджуваних аварійних викидів. Це пов'язано з тим, що її математичний апарат не враховує турбулентність струйної течії, що виникає, і процеси тепломасообміну при розповсюдженні домішок в повітрі. Тому даний математичний інструментарій не може бути використаний для підтримки прийняття ефективних рішень під час фонтанування газової свердловини.

Поширене використання математичних моделей гаусівського типу для вирішення задач охорони АП на територіях розміщення хімічно-небезпечних об'єктів. Проте дані моделі мають ряд значних недоліків: не враховують локальні особливості рельєфу і непостійність в просторі та часі метеопараметрів; не описують джерела, що працюють обмежений час; у них

використовуються дисперсійні характеристики, одержані для наземних, а не підведених джерел; не враховують вертикальну структуру прикордонного шару; використовуються лише для визначення концентрації ЗР, густина яких близька до густини повітря; використовуються лише для метеоситуацій, для яких швидкість вітру не менша за 1 м/с [5], [9], [10].

Зазначені недоліки значно обмежують можливості застосування цих моделей у вирішенні задач попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних із аварійним фонтануванням газових свердловин.

Таким чином, на сьогодні відсутні математичні засоби моделювання витікання суміші газів із непалаючої фонтануючої газової свердловини при різних режимах викиду. А розроблені математичні моделі та методики, що дозволяють описати розповсюдження ЗР в АП від викидів техногенних джерел забруднення, мають значні недоліки та обмеження. Тому, для вирішення актуальних задач, пов'язаних із попередженням надзвичайних ситуацій при фонтануванні газової свердловини, виникає необхідність розробки математичних засобів, які дозволять адекватно описати як рух газової суміші по стовбуру свердловини, так і міграцію ЗР в АП за різних режимів викидів та метеорологічних сценаріїв.

- [1] Alimissis, A., Philippopoulos, K., Tzani, C. G., & Deligiorgi, D. (2018). Spatial estimation of urban air pollution with the use of artificial neural network models. *Atmospheric Environment*, 191, 205-213. doi:10.1016/j.atmosenv.2018.07.058
- [2] Cabaneros, S. M., Calautit, J. K., & Hughes, B. R. (2019). A review of artificial neural network models for ambient air pollution prediction. *Environmental Modelling and Software*, 119, 285-304. doi:10.1016/j.envsoft.2019.06.014
- [3] Danaev, N. T., Temirbekov, A. N., & Malgazhdarov, E. A. (2014). Modeling of pollutants in the atmosphere based on photochemical reactions. *Eurasian Chemical-Technological Journal*, 16(1), 61-71. doi:10.18321/ectj170
- [4] Garcia-Aristizabala A., Capuano P., Russo R., Gasparinia P. Multi-Hazard. Risk Pathway Scenarios Associated with Unconventional Gas Development: Identification and Challenges for Their Assessment. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 125. pp. 116–125.
- [5] Iatsyshyn, A., Iatsyshyn, A., Artemchuk, V., Kameneva, I., Kovach, V., & Popov, O. (2020). Software tools for tasks of sustainable development of environmental problems: Peculiarities of programming and implementation in the specialists' preparation. Paper presented at the E3S Web of Conferences, 166. doi:10.1051/e3sconf/202016601001
- [6] Kim, H., & Lee, J. (2019). On inferences about lag effects using lag models in air pollution time-series studies. *Environmental Research*, 171, 134-144. doi:10.1016/j.envres.2018.12.032
- [7] Litovitz, A., Curtright, A., Abramzon, S., Burger, N., & Samaras, C. (2013). Estimation of regional air-quality damages from marcellus shale natural gas extraction in pennsylvania. *Environmental Research Letters*, 8(1) doi:10.1088/1748-9326/8/1/014017
- [8] Nikezic, D., Loncar, B., Grsic, Z., Dimovic, S. (2014). Mathematical modeling of environmental impacts of a reactor through the air. *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 29 (4), 268–273. doi:10.2298/ntrp1404268n

- [9] Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Kameneva, I., Taraduda, D., . . . Yatsyshyn, T. (2020). Risk assessment for the population of kyiv, ukraine as a result of atmospheric air pollution. *Journal of Health and Pollution*, 10(25), 1-11. doi:10.5696/2156-9614-10.25.200303
- [10] Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Taraduda, D., Sobyna, V., . . . Dimitrieva, D. (2019). Physical features of pollutants spread in the air during the emergency at NPPs. *Nuclear and Radiation Safety*, 4(84) doi:10.32918/NRS.2019.4(84).11
- [11] Soeder, D. J., Sharma, S., Pekney, N., Hopkinson, L., Dilmore, R., Kutchko, B., Capo, R. (2014). An approach for assessing engineering risk from shale gas wells in the united states. *International Journal of Coal Geology*, 126, 4-19. doi:10.1016/j.coal.2014.01.004
- [12] Supplementary guidance for conducting health risk assessment of chemical mixtures. Washington, DC: US Environmental Protection Agency; 2000 Aug. 209 p. Report No.: EPA/630/R-00/002.
- [13] Методичні рекомендації МР 2.2.12-142-2007. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. Затв. Наказом МОЗ України від 13.04.07 № 184. – Київ, 2007. – 40 с.
- [14] Нормативный документ «Методика расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей». Москва, 1996. <https://meganorm.ru/Data2/1/4293832/4293832676.pdf>
- [15] Общесоюзный нормативный документ «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий». Ленинград, 1987. <https://files.stroyinf.ru/Data1/2/2826/index.htm>
- [16] Шкица Л. Е., Яцишин Т. М., Попов А. А., Артемчук В. А. Прогнозирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере на территории буровой установки / Нефтяное хозяйство. № 11. 2013. http://www.oil-industry.ru/archive_detail.php

ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУЮВАННЯ ТРЕНУВАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Професійна діяльність оперативно-диспетчерського персоналу складається з певних дій, які відповідають якимось певним дискретним етапам спостереження за важливими параметрами режиму, аналізу умов їх можливого перевищення допустимих меж, формування плану відповідних ефективних дій для даних умов та реалізація плану.

Вся професійна діяльність персоналу регламентується відповідними нормативними документами енергетичної галузі у вигляді технологічних інструкцій. Але практичне використання цих інструкцій і правил, які забезпечують безпечну роботу персоналу, потребує їх вивчення і досконале знання в реальних умовах робочих місць [1].

Ефективне навчання персоналу за дотриманням правил безпечної експлуатації електроенергетичного обладнання можливе за умови широкого використання комп'ютерних тренажерів для підтримки ключових компетентностей оперативно-диспетчерського персоналу.

На перших двох етапах спостереження і аналізу умов персонал використовує всі свої наявні професійні знання з керування процесами генерації, розподілу і споживання електроенергії на своїх об'єктах і робочих місцях з експлуатації обладнання.

Важливо розуміти, що отримані персоналом одного разу професійні знання з часом втрачаються і тому потребують періодичного професійного навчання, тестування і перевірки. Знання є важливою складовою компетентності. Наприклад, Герман Еббінгауз у 1885 році провів ряд досліджень, за результатами яких розробив так звану «криву забування», яка показувала, наскільки швидко ми забуваємо нову інформацію (Рис. 1) [2,3].

Результати експериментів Г. Еббінгауза показують, що через перші двадцять хвилин у пам'яті залишається до 60 % того, що було заучено. Через годину, тільки 45 %, а після одного дня — тільки 34 % з того, що було заучено. Через шість днів після заучування в пам'яті залишається до 23 %; і лише 15 % того, що було вивчено, міцно зберігається. Тому, наведені результати обумовлюють необхідність постійного оновлення і контролю знань.

Другою складовою компетентності є навички формування плану ефективних дій та його реалізація.

Формування і підтримка навичок формування плану ефективних дій в залежності від умов можливі за наявності адекватних тренажерів-симуляторів технологічних процесів генерації, розподілу і споживання електроенергії за допомогою адекватної для певних умов математичної моделі об'єкту управління (ОУ). В якості загального ОУ у комп'ютерних тренажерах зазвичай використовується математична модель Об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України або її окремих частин в режимі реального часу.

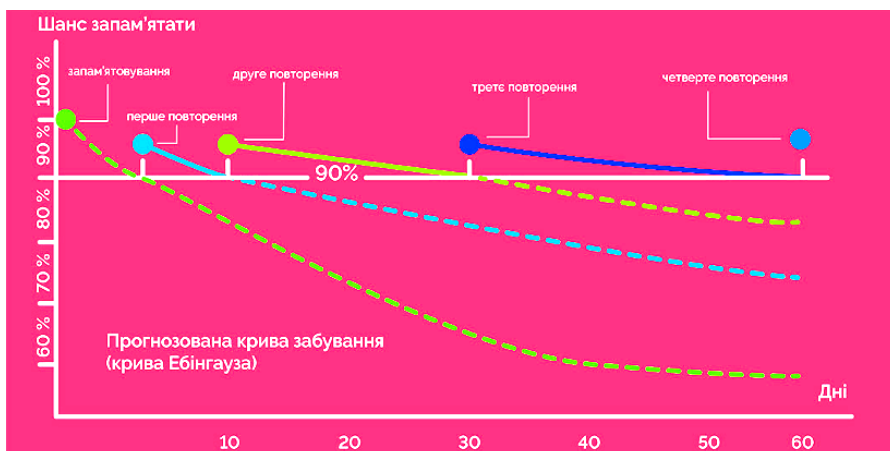


Рис. 1 . Інтервальне повторення за шкалою Г. Ебінгауза

Формування і підтримка навичок формування плану ефективних дій в залежності від умов можливі за наявності адекватних тренажерів-симуляторів технологічних процесів генерації, розподілу і споживання електроенергії за допомогою адекватної для певних умов математичної моделі об'єкту управління (ОУ). В якості загального ОУ у комп'ютерних тренажерах зазвичай використовується математична модель Об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України або її окремих частин в режимі реального часу.

Недоліками такого підходу є ризики несвоєчасного отримання результатів моделювання режимів роботи великих електроенергетичних систем. Це часто пов'язано з великою розмірністю моделюючих енергосистем.

Тому в роботі запропоновано використовувати комбінований підхід до моделювання режимів роботи енергосистем з метою отримання аналітичних залежностей контрольованих параметрів режиму від різноманітних збурень.

Враховуючи велику кількість наявного оперативно-диспетчерського персоналу в енергетичній галузі (за різними оцінками, до 70 тисяч), комп'ютерних тренажерів на різних рівнях наявної ієрархічної системи управління ОЕС України треба багато [4]. Найбільш доцільним методом їх використання є веб-орієнтований за допомогою глобального Інтернету. В цьому випадку потрібні також доступні веб-орієнтовані програмні інструментальні засоби для швидкого і зручного розроблення різноманітних тренувальних занять в залежності від умов їх застосування.

У [5] наведено, що всі етапи професійної діяльності персоналу дуже зручно моделювати за допомогою нотації BPMN. Графічне представлення професійної діяльності є дуже наочним у вигляді так званих сценаріїв протиправильних тренувань. Алгоритми є дуже компактними, прозорими і зрозумілими для подальшого використання у комп'ютерних тренажерах.

BPMN (англ. Business Process Model and Notation, модель та нотація бізнес-процесів) — система умовних позначень (нотація) для моделювання бізнес-процесів. Розроблена Business Process Management Initiative (BPMI) та підтримується Object Management Group.

Такий підхід дозволяє широко залучати кваліфікований персонал підприємств енергетики для створення тренувальних завдань за тематикою аварійних порушень в роботі, які вже сталися або прогноуються.

За допомогою нотації BPMN розроблено алгоритм генерації сценаріїв базових принципів професійної діяльності оперативно-диспетчерського персоналу електроенергетичних підприємств.

- [1] Гурєєв В.О., Лисенко Є.М. Модельне конструювання електронних ресурсів для навчання та тренажерної підготовки оперативно-диспетчерського персоналу енергосистем України // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформація, аналіз, прогноз – стратегічні важелі ефективного державного управління». – 7 листопада 2019 року. - м. Київ, С. 86-92.
- [2] Українська мова як іноземна у фокусі інновацій: від досвіду до впровадження: Збірник матеріалів циклу Міжнародних науково-практичних семінарів, Львів, 2019. – Львів, 2019. – 135 с. URL: <http://miok.lviv.ua/wp-content/uploads/2019/12/Збірник-тез.pdf>
- [3] Оксана Галайчук. Повторення як запорука ефективного навчання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitanova.com.ua/posts/1455-rovtorennia-ia-k-zaporuka-efektyvnoho-navchannia>.
- [4] Дрозач М.І. Інформаційно-методичне забезпечення підготовки кадрів на виробництві / М.І. Дрозач // Наука та інновації. – 2007. – Т.3. № 2. – С. 78-83.
- [5] Абрамович Р.П. Використання нотації BPMN для графічного представлення робочої діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних занять. Міжнародна науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки досліджень в науковій та освітній діяльності».05-06 грудня 2019р. –тези доп. –м. Львів – С.29-30.

**XXXVIII
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СПЕЦІАЛІСТІВ
ІНСТИТУТУ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В
ЕНЕРГЕТИЦІ ІМ. Г.Є. ПУХОВА НАН УКРАЇНИ**

*ПРИСВЯЧЕНА 40-РІЧЧЮ ІНСТИТУТУ, ДНЮ НАУКИ В УКРАЇНІ
ТА З НАГОДИ ВІДЗНАЧЕННЯ 30-Ї РІЧНИЦІ НЕЗАЛЕЖНОСТІ УКРАЇНИ*

Збірник тез конференції
12 травня 2021 р.

Зб. тез XXXVIII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 12 травня 2021 р. / ППМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2021. – 147 с.

Інформаційна підтримка:



[Сторінка конференції на
сайті Інституту](#)

[Telegram канал молодих
вчених НАН України](#)



[Telegram канал молодих
вчених ВФТПЕ НАН України](#)