

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ



ВІСНИК

**Східноукраїнського
національного університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 1 (277)
2023**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Київ 2023

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-5-19>

УДК 004.77:004.031

АНАЛІЗ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ З ВІДДАЛЕНИМ ДОСТУПОМ ДО НАВЧАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ЛАБОРАТОРІЙ ЗАКЛАДІВ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

Могильний Г.А.

ANALYSIS OF SOFTWARE AND HARDWARE FOR CREATING SYSTEMS WITH REMOTE ACCESS TO EDUCATIONAL COMPUTER LABORATORIES IN SECONDARY EDUCATION INSTITUTIONS

Mohylnyi H.A.

В умовах військових дій з російською федерацією та активним впровадженням методів дистанційного навчання організація роботи навчальних комп'ютерних лабораторій повинна бути спрямована на підтримку дистанційного навчання за рахунок впровадження сучасних інформаційних технологій.

За таких умов більшість інформаційних ресурсів цих лабораторій не задіяно у навчальному процесі. Основна проблема пов'язана зокрема з розробкою та впровадженням системи віддаленого доступу користувачів до локальних ресурсів навчальних лабораторій. Крім того, слід враховувати, відсутність у багатьох здобувачів освіти, що стали вимушеними переселенцями, можливостей навчатися за певним розкладом та необхідного комп'ютерного обладнання при організації он-лайн навчання. Значною необхідністю є створення умов для доступу здобувачів освіти до комп'ютерної мережі навчальної лабораторії – надання доступу до навчального обладнання за допомогою віддаленому доступу через мережу Інтернет. В цей час велика кількість праць, присвячено різним аспектам організації он-лайн навчання, але проблема створення віддалених навчальних комп'ютерних лабораторій у закладах середньої освіти та невеликих вищих навчальних закладах досліджена не достатньо.

У роботі наведено аналіз існуючої інформаційної системи, яка використовується у багатьох навча-

льних комп'ютерних лабораторіях закладів середньої освіти. Наведено її переваги та недоліки. Основною особливістю діяльності такої лабораторії є значна обмеженість у фінансових ресурсах та кадровому забезпеченні. Накопичений досвід використання та модернізації такої системи дозволяє запропонувати ряд технічних рішень спрямованих на організацію віддаленого доступу до внутрішніх інформаційних ресурсів навчальної комп'ютерної лабораторії. У роботі окреслено найпростіші та швидкі варіанти створення інформаційної системи з віддаленим доступом, наведено особливості їх реалізації, які не потребують значної модернізації та можуть бути впроваджені у навчальний процес. Проаналізовано ряд варіантів організації віддаленого доступу до навчальної комп'ютерної лабораторії, яка побудована за допомогою технології перенаправлення окремих портів.

Розроблено рекомендації по модернізації обладнання навчальної комп'ютерної лабораторії, наведено основні етапи переналагодження системи віддаленого доступу на засадах використання віддаленого робочого стола.

Ключові слова: навчальна комп'ютерна лабораторія, дистанційне навчання, Windows 10, інформаційна структура, роутер, віддалений доступ, VPN, порт, протокол, PPTP.

Вступ. В умовах військового стану велика кількість навчальних закладів було переміщено. Крім того, слід враховувати, що значна частка здобувачів освіти вимушена була переміститися в більш безпечні регіони країни і, в більшості, не має можливості навчатися у оф-лайн режимі. Такі особливості організації навчання стосуються більшості східних регіонів, а особливо – небезпечних регіонів Луганської, Донецької, Сумської, Херсонської та інших областей нашої країни [1]. Така складна ситуація, сприяла підвищенню значимості дистанційної освіти в Україні в цілому, велика кількість навчальних закладів переведена на дистанційний режим роботи і, таким чином, особливого значення набули різноманітні засоби інформаційних комп'ютерних технологій та методики їх впровадження у навчальний процес з урахуванням різноманітних факторів перебування всіх учасників освітнього процесу [2,5].

За таких умов, питання підвищення ефективності дистанційного навчання, організації та використання наявного інформаційного середовища у навчальних комп'ютерних лабораторіях (НКЛ) та комп'ютерних класах вимагають розробки нових підходів до їх використання, а особливо, до організації виконання лабораторних завдань для студентів та учнів, які вимушені навчатися у он-лайн режимі, за межами навчальних закладів. За дистанційною формою навчальний процес може виконуватися поза робочим приміщенням, територією власника або уповноваженого ним органу, у будь-якому місці та з використанням інформаційно-комунікаційних технологій [3,4]

Існує багато кількість НКЛ, однак, з точки зору організаційної інформаційної та мережевої структури можна виділити найбільш поширену типову інформаційну структуру НКЛ, яка застосовується у більшості закладів середньої освіти та вишів і, в багатьох випадках, зовсім не пристосована до вирішення проблеми підтримки он-лайн освіти та надання віддаленого доступу здобувачам освіти, які навчається дистанційно.

Під інформаційною структурою НКЛ будемо розуміти — комплекс програмно-технічних засобів, організаційних систем та нормативних документів, який забезпечує організацію взаємодії інформаційних потоків, функціонування та розвиток програмно-технічних засобів інформаційної взаємодії в межах НКЛ. В межах цієї роботи основний аналіз будемо проводити з урахуванням тільки програмно-технічних засобів існуючих НКЛ закладів середньої освіти та її мережевої структури.

Мета роботи – розробка комплексу програмно-технічних рішень та рекомендацій спрямованих на організацію віддаленого доступу до ресурсів НКЛ у закладах середньої освіти з урахування обмежень на фінансові та кадрові ресурси.

Об'єкт дослідження – програмно-апаратні засоби організації віддаленого доступу.

Предмет дослідження – програмно-апаратні засоби та методи організації віддаленого доступу для виконання лабораторних робіт у закладах середньої освіти.

Викладення основних матеріалів. На засадах попереднього аналізу та досвіду можна виділити найбільш поширену найпростішу типову структуру НКЛ, яка використовується у багатьох закладах середньої освіти та значній кількості вишів (рис. 1) [7].

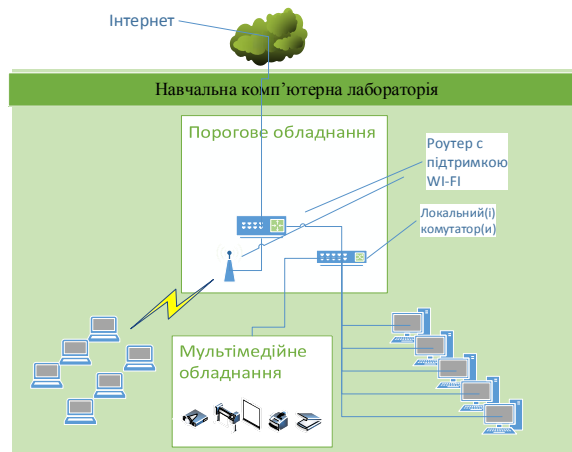


Рис. 1. Найпростіша інформаційна структура НКЛ закладів середньої освіти

Безумовно, значною перевагою цієї інформаційної системи є мала вартість, незначні вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу та можливість забезпечити виконання основних завдань навчального процесу при роботі у стаціонарному (денному, очному) режимі.

Основним недоліком її є те, що для переходу на режим використання в дистанційних умовах потрібно провести значне переналагодження порогових пристроїв та кожного комп'ютеру з урахуванням складності контролю за використовуємими засобами [7].

Попередніми умовами впровадження системи з віддаленим доступом є реальна IP адреса та допоміжний персонал необхідної кваліфікації. В такому випадку з багатьох можливих рішень по створенню інформаційної системи НКЛ з віддаленим доступом в межах цієї роботи окреслимо тільки декілька швидких та поширених випадків:

1. Всі основні ресурси розташовані на одному вузлу локальної мережі НКЛ та необхідно надати до нього доступ здобувачам освіти зовні.
2. Ресурси різного типу (в кількості одного кожного типу) розташовані на різних вузлах НКЛ, які використовують різні порти TCP/IP. Іншими словами – один ВЕБ сервер, один принтер, один сервер RDP (віддаленого робочого стола) і так далі.
3. Ресурси одного типу, що використовують один і той же порт але розташовані на різних вузлах НКЛ та за рахунок організаційних заходів цей порт може бути змінено.
4. Повний доступ до всіх ресурсів та вузлів НКЛ за рахунок використання певної VPN.

Слід зауважити, що перших два випадки можуть бути створені на багатьох типах порогових приладів. У третьому та четвертому випадках треба проводити ґрунтовний попередній аналіз щодо можливостей наявного програмно-технічного забезпечення та необхідної кваліфікації навчально-допоміжного персоналу. Слід враховувати, що в більшості закладів середньої освіти всі завдання з інформаційного супроводу навчального процесу виконує викладач інформатики, який не має певного досвіду та часу на впровадження складних програмно-технічних рішень.

Результати досліджень. Одним з важливіших етапів створення НКЛ з віддаленим доступом є вибір засобу приєднання локальної мережі до мережі Інтернет. Існує декілька методів, однак всі вони поєднуються у два поширені підходи:

1. Створення порогового приладу на засадах виділеної обчислювальної машини з декількома мережевими адаптерами та налаштування системи доступу за рахунок можливостей певної операційної системи.

2. Використання в якості порогового приладу окремого роутера та налаштування його.

В межах цієї роботи розглянемо другий варіант.

Безумовно, існує велика кількість роутерів, які можуть бути використані в якості порогового обладнання НКЛ. В межах цієї роботи розглянемо тільки деякі приклади:

- WI-FI роутер Tp_link TL-WR840N [8]. Це недорогий роутер швидкістю до 300 МБ/с, який має 4 LAN порти зі швидкістю 100МБ/с та 1 WAN порт та від-

носно не дорогий – 700 грн, кількість антен – 2;

- WI-FI роутер Mercusys AC12g[9]. Це більш сучасний роутер має загальну швидкість до 1200 Мбіт/с у двох діапазонах, який має 3 LAN порти зі швидкістю 1ГБ/с та 1 WAN порт та відносно не дорогий – 1500грн.;
- WI-FI роутер Tp_link AX1500 Wi-Fi 6[10]. Це сучасний роутер має загальну швидкість до 1500 Мбіт/с у двох діапазонах, який має чотири LAN порти зі швидкістю 1ГБ/с та 1 WAN порт та відносно не дорогий – 2500грн.

Всі початкові налаштування робляться аналогічно на всіх роутерах. Використовується браузер, адреса за замовчанням 192.168.0.1 – слід задати параметри зовнішнього підключення, локальної мережі та параметри DHCP серверу.

Розглянемо деякі можливі варіанти організації віддаленого доступу з використанням цих роутерів.

Як що всі основні інформаційні ресурси розташовані на одному вузлу локальної мережі НКЛ – наприклад, на внутрішній адресі – 192.168.100.2 . Це самий простий засіб організації віддаленого доступу до НКЛ та не потребує суттєвої переробки інформаційної структури.

В цьому випадку на багатьох роутерах є можливість скористатися параметром DMZ [6]. Слід зауважити, що адреса локального інформаційного ресурсу повинна бути статичною, тобто без використання DHCP.

DMZ (від англ. demilitarized zone) – це сегмент мережі, що містить загальнодоступні сервери та відокремлює їх від приватних. Як загальнодоступний може виступати, наприклад, вебсервіс: сервер, що його забезпечує, який фізично розміщений у локальній мережі (Інтранет), повинен відповідати на будь-які запити із зовнішньої мережі (Інтернет), при цьому інші локальні ресурси (наприклад, файлові сервери, робочі станції) необхідно ізолювати від зовнішнього доступу.

На рисунках 2 - 4 показано як це зробити на роутерах:

- Tp_link TL-WR840N – адреса ще не вказано – треба замінити 0.0.0.0 на необхідну адресу вузла локальної мережі, перекинути «стан» в положення «включити» та натиснути кнопку «зберегти» (рис. 2);

- Mercusys AC12g – показано для вузла локальної мережі з адресом 192.168.113.100 та потім перекинути «DMZ Server» в положення «ON» (рис. 3);
- Tp_link AX1500 – показано для вузла локальної мережі з адресом 192.168.0.100 та потім встановити «DMZ» в положення «увімкнуті» (рис. 4).

У випадку, коли ресурси різного типу розташовані на різних вузлах НКЛ для задачі організації віддалено доступу треба ґрунтовно врахувати особливості протоколів (портів), що використовує кожний ресурс.

Треба врахувати три особливості:

1. З технічної документації встановити номери портів, що використовує кожна служба (ресурс), яка розташована на окремому вузлу локальної мережі.
2. Порти служб (ресурсів), що розташовані на різних вузлах локальної мережі не мають однакових номерів. Не може

бути задіяно однакові порти на різних вузлах локальної мережі.

3. За рахунок організаційних заходів є можливість перевизначення співпадаючих портів на інші номери. Однак потрібно провести аналіз можливостей клієнтського програмного забезпечення для цих служб.

Наприклад, є ВЕБ сервер – 192.168.0.7 (порти 80 та 443), поштовий сервер – 192.168.0.8 (порти 25 та 110), FTP сервер – 192.168.0.9 (21,20 та 1024-1240).

Слід відзначити, що для багатьох роутерів ця задача вирішується приблизно однаково – за рахунок використання переадресування портів (меню – «віртуальний сервер» або «port forwarding»).

На рисунках 5-7 наведено меню роутерів Tp_link TL-WR840N, Mercusys AC12g та AX1500 Wi-Fi 6. Детальне вирішення наведеного прикладу наведено тільки для роутеру AX1500 Wi-Fi 6 на рисунках 8-9, а для інших роутерів виконується аналогічно.

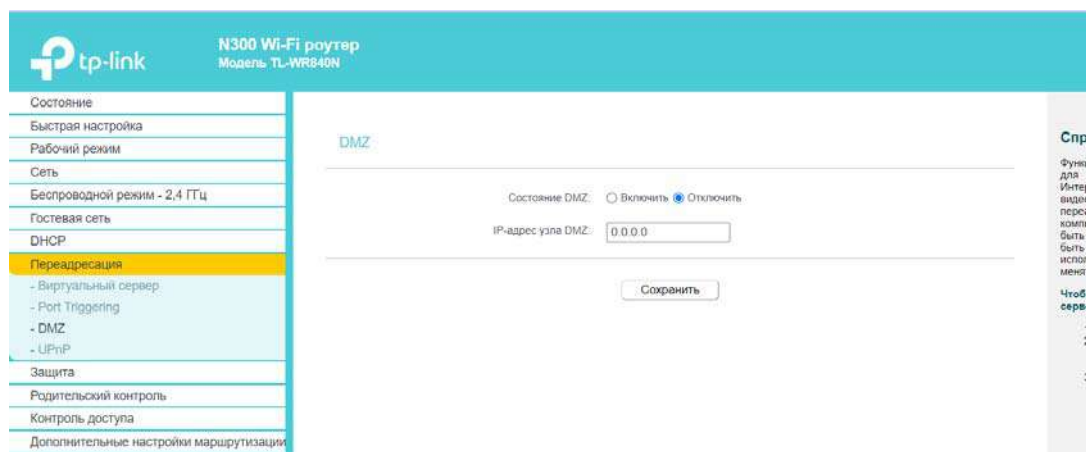


Рис. 2. Налаштування DMZ для Tp_link TL-WR840N

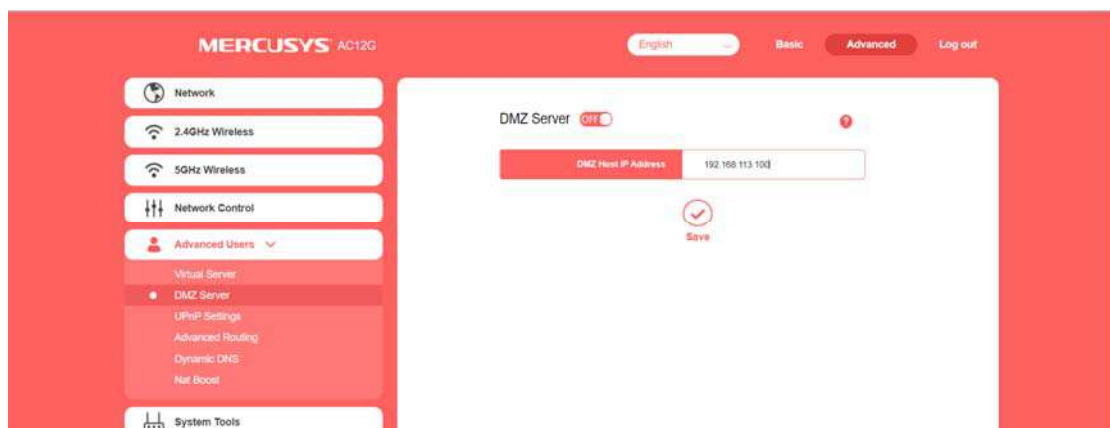


Рис. 3. Налаштування DMZ для Mercusys AC12g

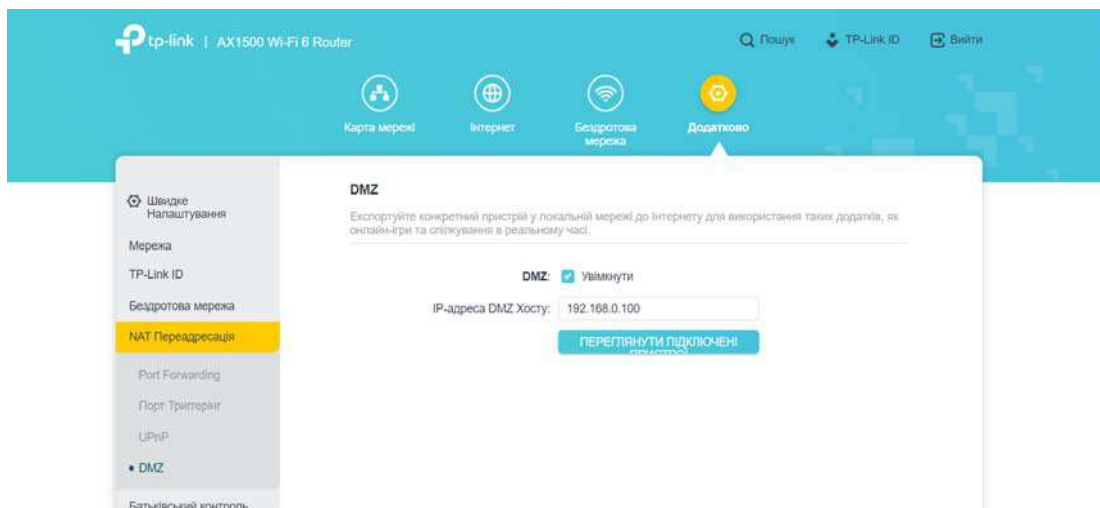


Рис. 4. Налаштування DMZ для Tr_link AX1500

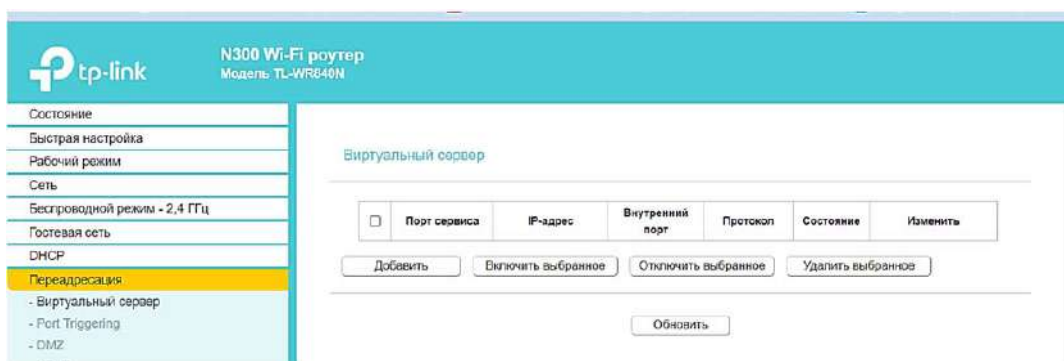


Рис. 5. Переадресування у роутері Tr_link TL-WR840N

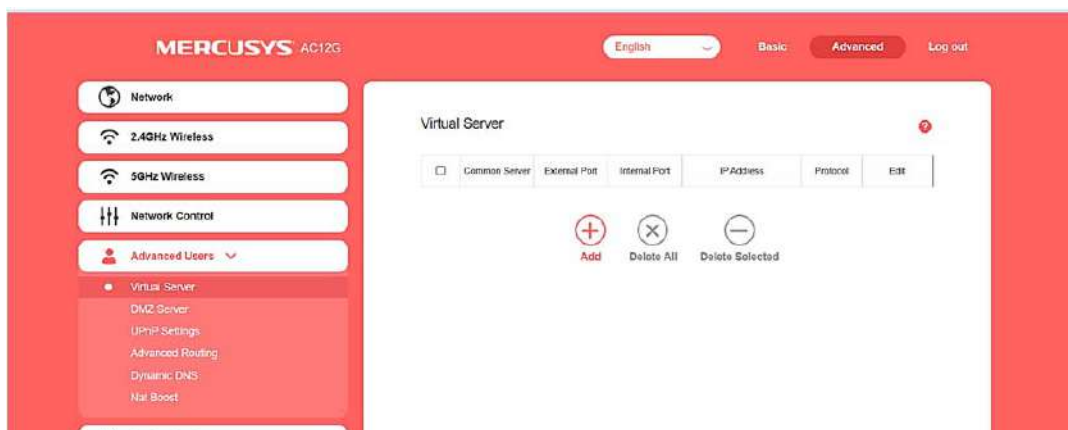


Рис. 6. Переадресування у роутері Mercusys AC12g

Таким чином можна продовжувати створювати правила для всіх ресурсів НКЛ та слідкувати за всіма використаними портами. Такий варіант можливий для простих ресурсів НКЛ, у яких відомо перелік портів та їх можна перенаправити.

Таким чином, в результаті подібних дій, за рахунок організаційних заходів та принципу перепризначення портів є можливість створити віддалений доступ до всіх комп'ютерів НКЛ.

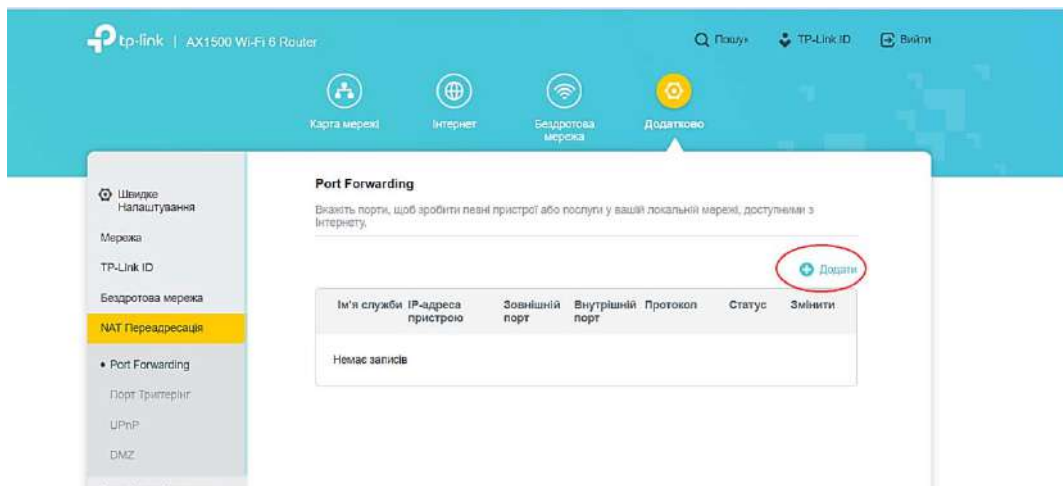


Рис. 7. Переадресація у сервері AX1500 Wi-Fi 6

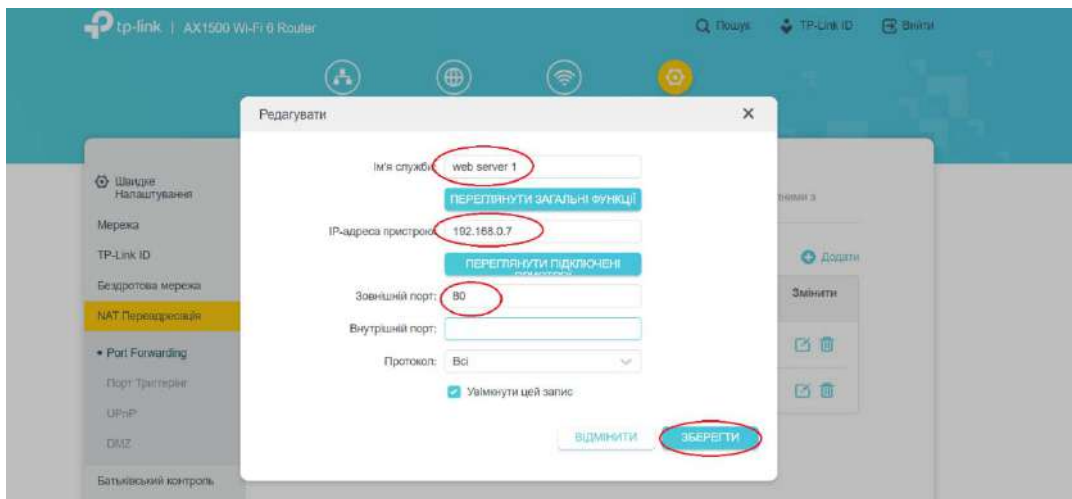


Рис. 8. Додавання ВЕБ – порт 80

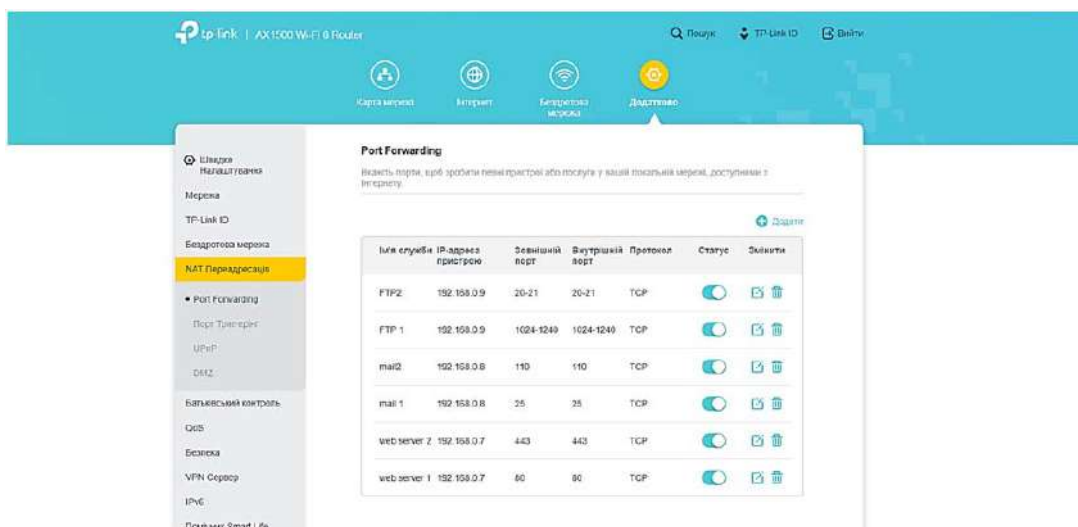


Рис. 9. Загальна таблиця налаштувань переадресування

З іншого боку, більш ґрунтовний аналіз процесу створення віддаленого доступу до НКЛ дозволяє стверджувати, що за рахунок впровадження додаткових організаційних заходів є можливість надати доступ до віддалених робочих столів всіх комп'ютерів НКЛ.

Наприклад, у НКЛ використовується мережа 192.168.0.0/24, шлюз – 192.168.0.1, DNS – 192.168.0.1. Загальна методика впровадження цього процесу зводиться до наступних кроків:

1. Переглянути систему адресації локальної мережі та відмовитись від використання DHCP.

а. Призначити статичні адреси всім комп'ютерам. Бажано ввести номери комп'ютерам та призначити подібні адреса (наприклад починаючи з 21). Комп'ютеру № 1 – 192.168.0.21, № 2 – 192.168.0.22 і так далі № 3 – 192.168.0.23 Наприклад, для комп'ютеру № 1 – 192.168.0.21 (з ОС Windows 10) необхідно зробити наступні кроки . Програма «Налаштування» – «мережа та Інтернет» (Рис.10).

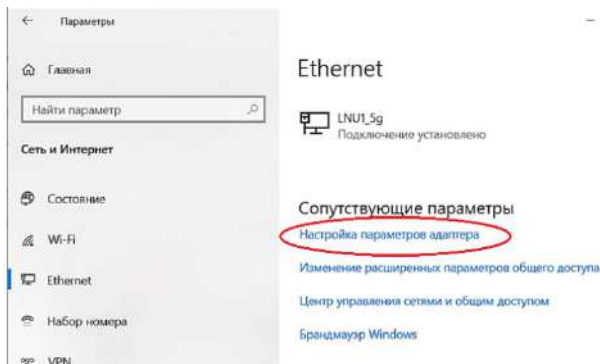


Рис. 10. Налаштування мережі – ОС Windows 10

Обрати «Ethernet» «Налаштування параметрів адаптеру» (рис.11).

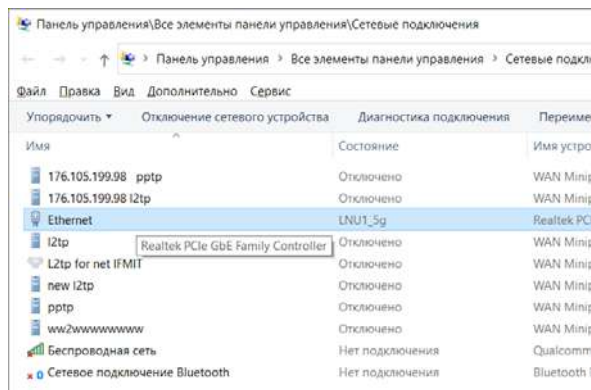


Рис. 11. Тип мереженого адаптеру – ОС Windows 10

Потім, права кнопка на адаптері – та обрати «властивості», потім обрати «IP версії 4 (TCP/IPv4) та натиснути «Властивості» (рис.12).

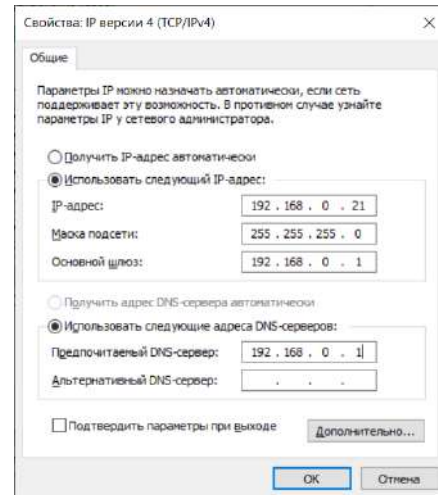


Рис. 12. Призначення статичної адреси

б. Перевірити (або призначити) імена всіх комп'ютерів НКЛ. Наприклад, комп'ютеру № 1 з адресом 192.168.0.21 надати ім'я – comp1 комп'ютеру № 7 – 192.168.0.27 – comp7 і так далі (рис.13).

2. Створити необхідну кількість користувачів на кожному комп'ютері та додати до користувачів віддаленого робочого столу

а. Створення користувача .Права кнопка миші на програмі «Мій комп'ютер». Обрати меню «Керування», а потім «Локальні користувачі та групи» – «Користувачі» (Рис. 14).

Клацнути на пустому місці правою кнопкою та обрати меню «Новий користувач», а потім задати параметри нового користувача (рис.15).

б. Призначити необхідних користувачів – користувачами віддаленого робочого столу [11]. Програма «Мій комп'ютер» – права кнопка миші на пустому місці (рис. 16).

Обрати «Налаштування віддаленого доступу» Вибрати «Вибрати користувачів» (рис.17).

Вибрати «Додати» (рис.17), а потім – «Додатково» та «Пошук» (рис. 18).

3. Обрати зовнішні порти та створити необхідні налаштування роутеру. Вибрати схему призначення зовнішніх портів. Наприклад:

- для комп'ютеру № 1 - 192.168.0.21 3389+21=3410 приймаємо 3401,
- для комп'ютеру № 2 – 3402,
- для комп'ютеру № 3 – 3403,
- і так далі.

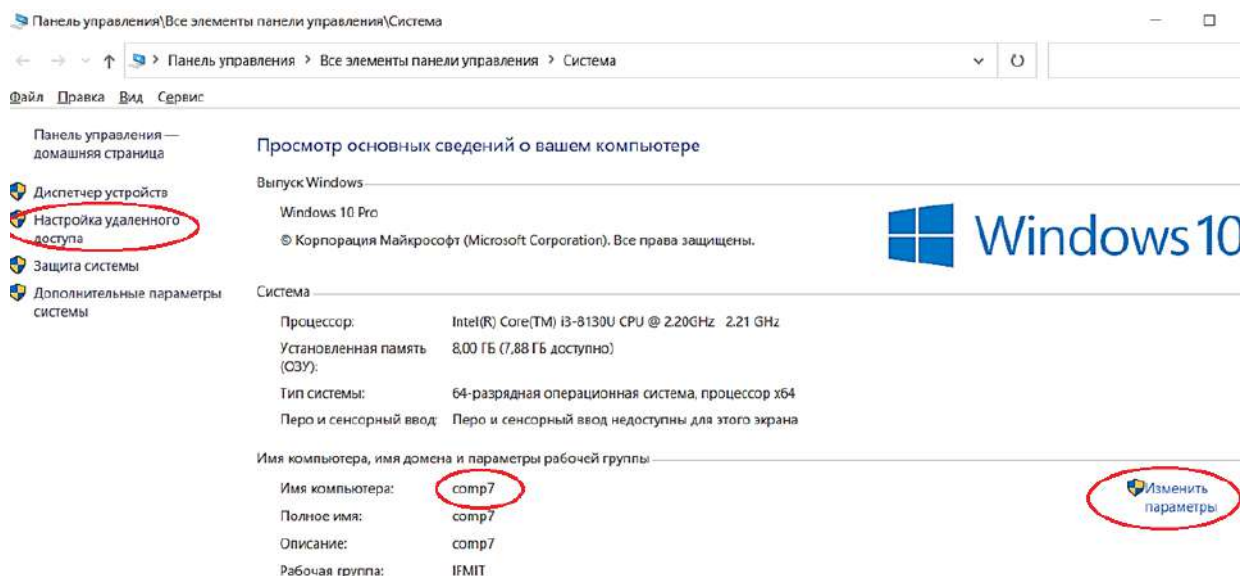


Рис. 13. Ім'я комп'ютера

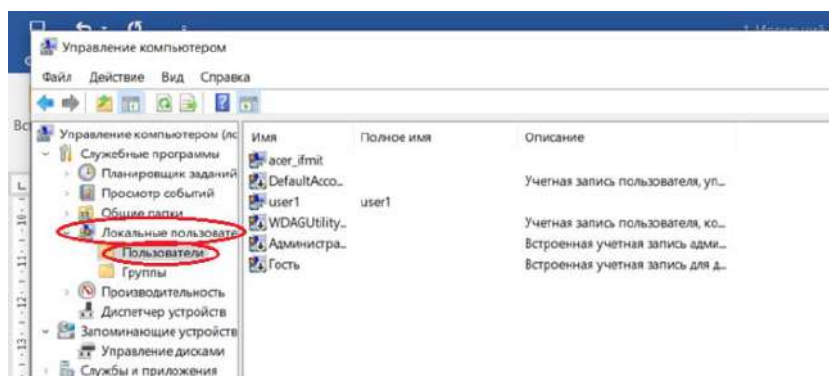


Рис. 14. Керування комп'ютером

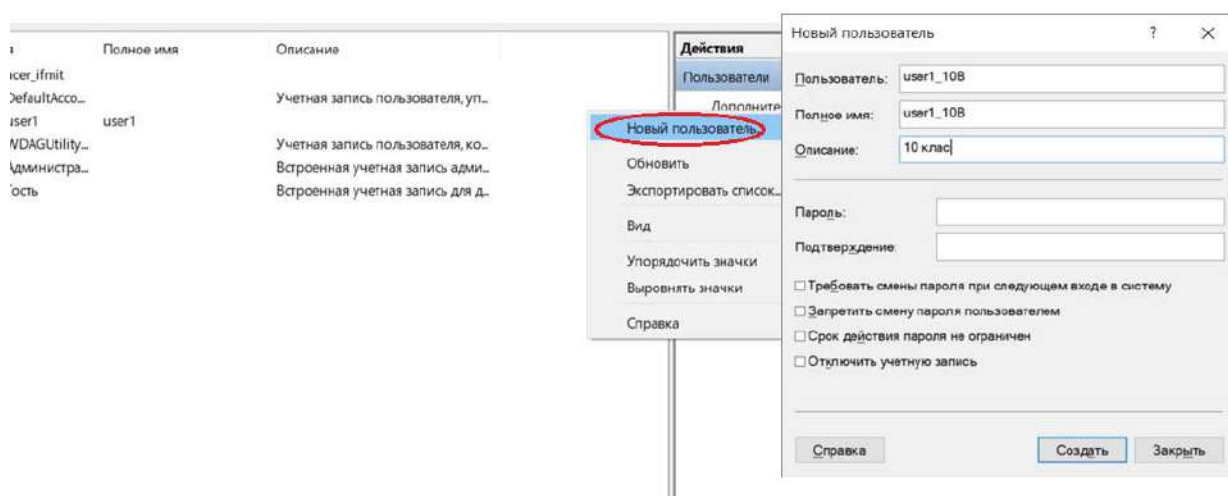


Рис. 15. Створення користувача у ОС Windows 10

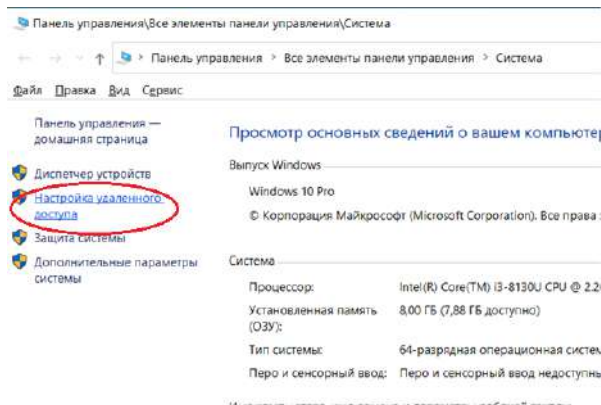


Рис.16. Перехід до налаштування віддаленого робочого столу

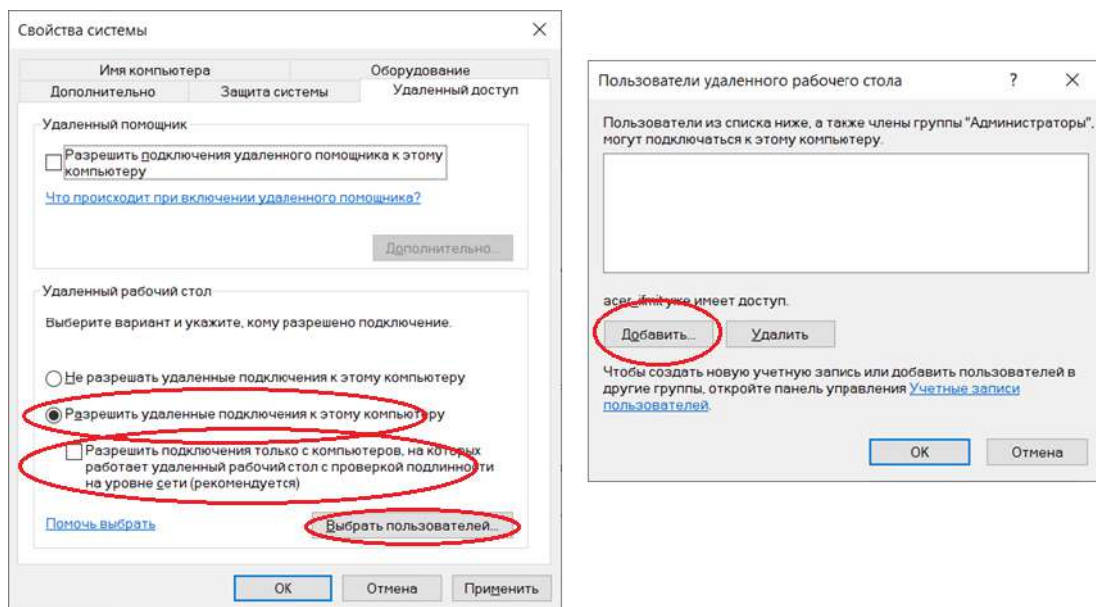


Рис. 17. Налаштування віддаленого робочого столу

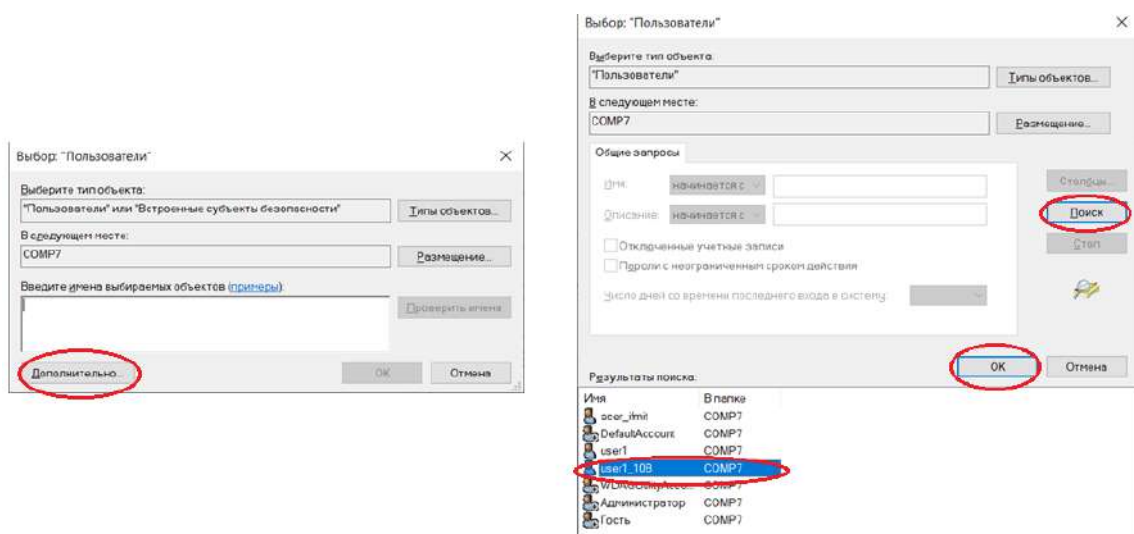


Рис. 18. Додавання користувача віддаленого робочого столу

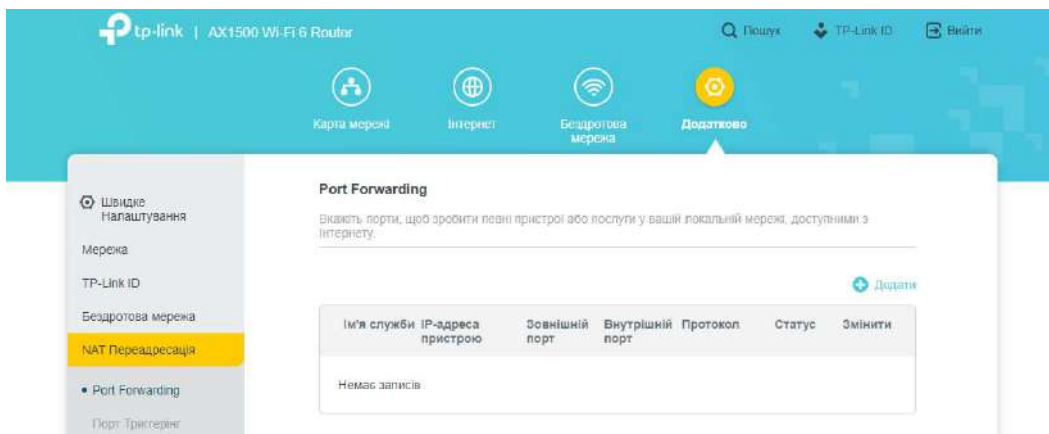
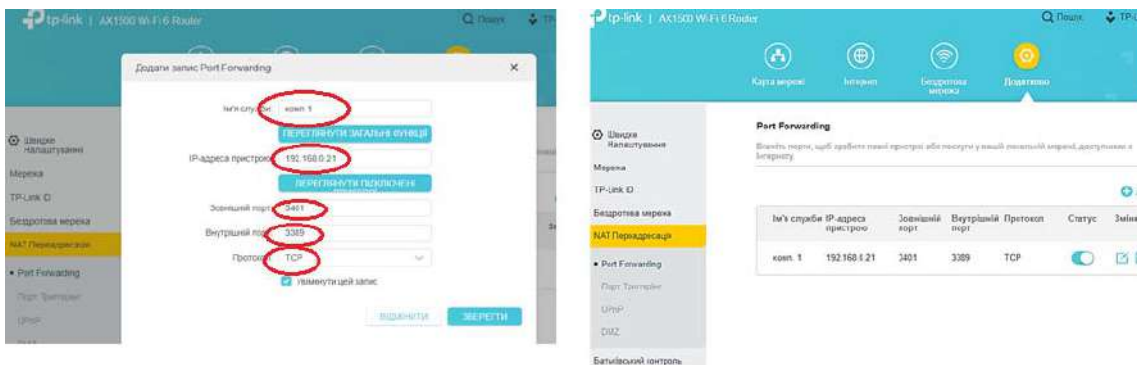


Рис. 19. Меню налаштувань роутера AX1500 Wi-Fi



а

б

Рис. 20. Додавання запису на роутері AX1500 Wi-Fi:
а – приклад додавання запису; б – результат додавання запису

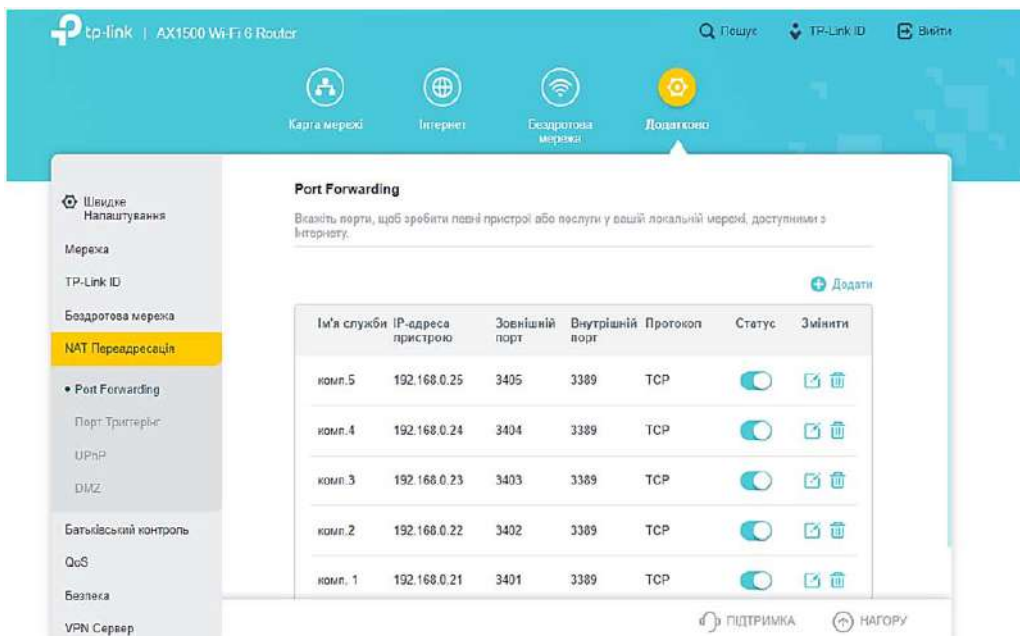


Рис. 21. Налаштування доступу до віддалених робочих столів у роутері AX1500 Wi-Fi

4. Створюємо необхідні відповідні записи на роутері. Для більшості офісних роутерів це завдання вирішується приблизно однаково. Розглянемо для роутеру AX1500 Wi-Fi, переходимо на сторінку налаштувань (<http://192.168.0.1>) – «Додатково» – «NAT переадресація» – «Port Forwarding» (рис.19).

Обираємо «Додати» та заповнюємо відповідні поля згідно прийнятої схеми пере направлення портів (рис. 20).

Створюємо інші записи та додаємо всі наявні комп'ютери (рис.21).

Однак, для отримання повного доступу до всіх мережевих ресурсів НКЛ найпростіше скористуватись VPN сервісом [12].

VPN буває декілька типів PPTP, L2TP, SSTP, OpenVPN та декілька типів тунелів. Це окреме питання, але в межах роботи розглянемо, як організувати найпростішу VPN типу PPTP. Ця VPN має безліч недоліків з питань безпеки, але її налаштування дуже швидке.

За рахунок використання цього сервісу вдається організувати доступ до всіх ресурсів НКЛ та досягти практично повної імітації присутності користувачів у НКЛ. Єдина різниця – здобувачі освіти не мають можливості використовувати консоль (клавіатура та миша) наявних комп'ютерів. Тому цей сервіс надає мож-

ливість використати саму мережу НКЛ (принтери, доступ до файлів та мережевих приладів) та надати доступ до всього програмного забезпечення, однак потребує переналаштування всіх комп'ютерів.

Отже, всіх перерахованих варіантів віддаленого підключення до НКЛ це найбільш ефективний.

Слід врахувати, що цей сервіс інтегровано у обжену кількість роутерів та їх вартість значно більша. Серед приладів-роутерів, які розглянуто в межах цієї роботи тільки WI-FI роутер Tr_link AX1500 Wi-Fi 6 підтримує цю можливість.

Безумовно, існують і інші засоби створення VPN, наприклад, на сервері Microsoft Windows. Для цього бажано мати сервер з двома мережевими платами та додатково інстальювати роль «Сервер політики мережі» (NPAS).

Для створення VPN PPTP на роутері Tr_link AX1500 необхідно перейти на веб сторінку керування приладом та обрати меню «Додатково» – «VPN Сервер» – «PPTP» (рис. 22). Включити «PPTP», налаштувати параметри підключення та призначити діапазон IPадрес користувачів.

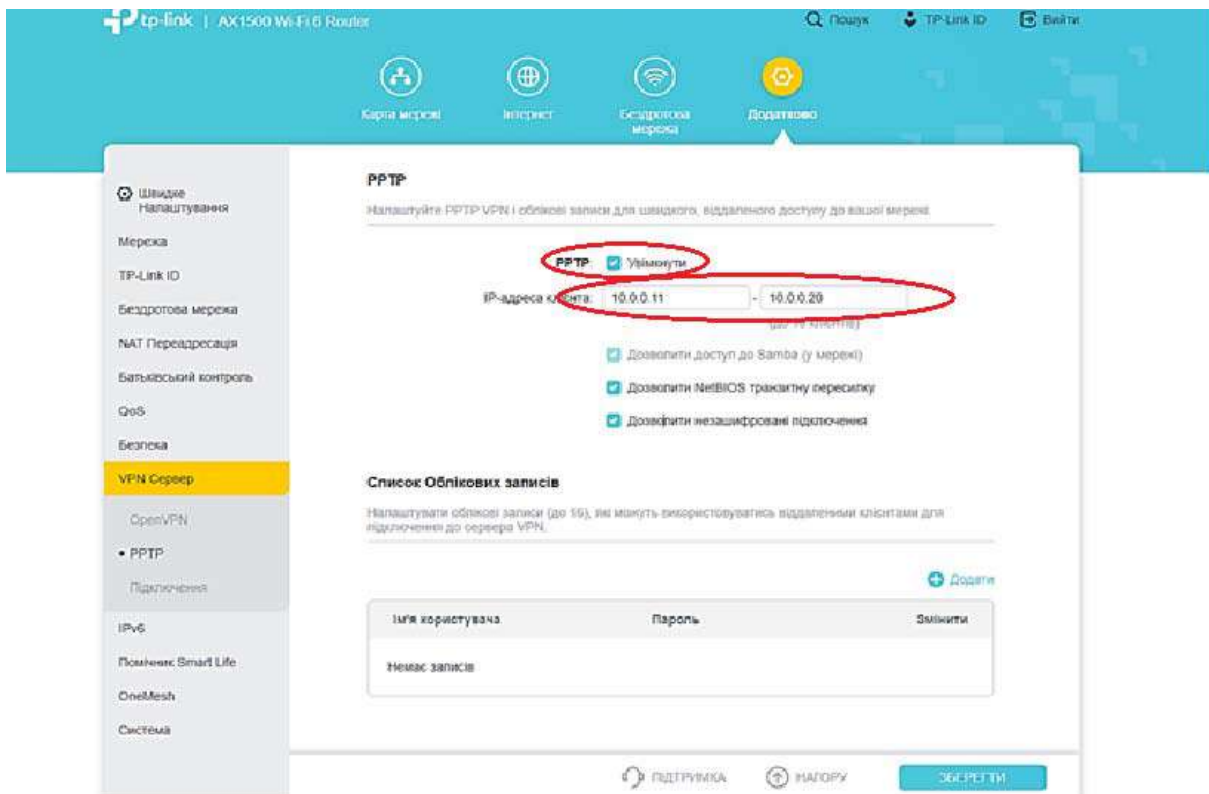


Рис. 22. Налаштування PPTP на роутері Tr_link AX1500

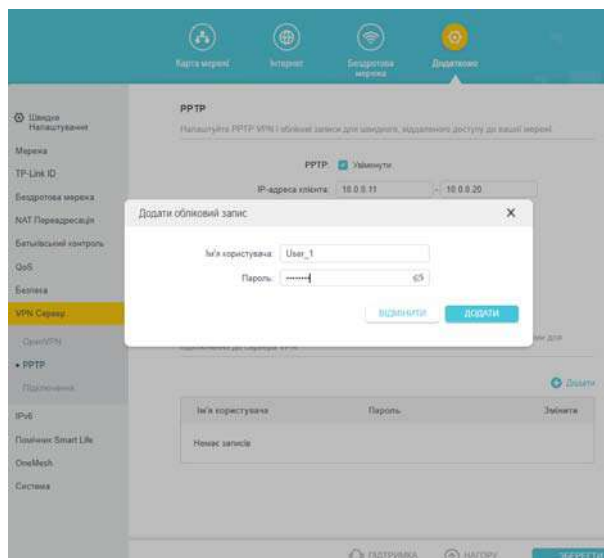


Рис. 23. Додавання користувача VPN PPTP

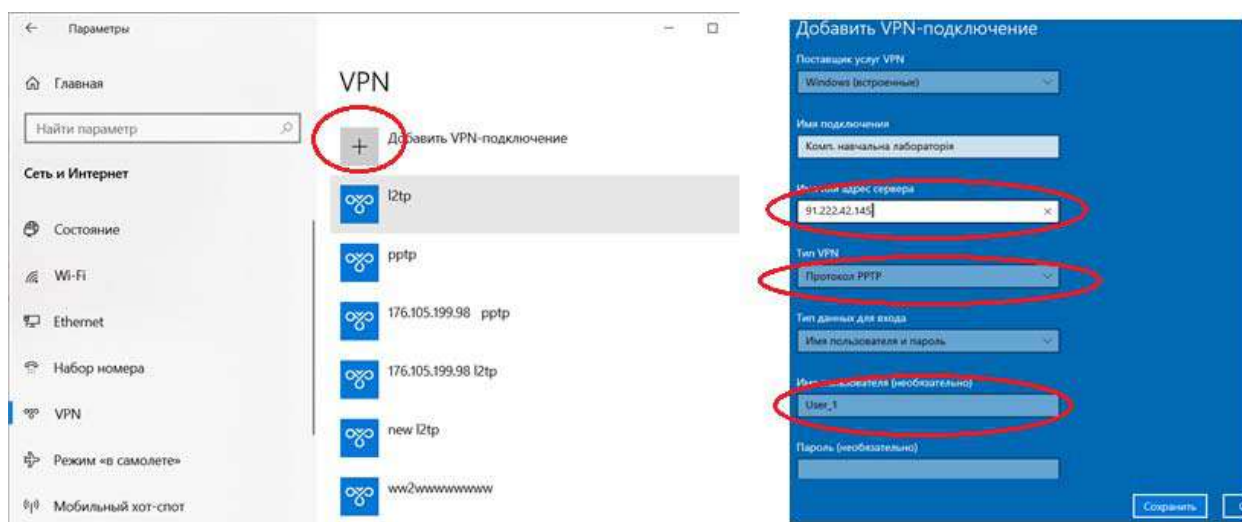


Рис. 24. Налаштування користувача:

Після цього необхідно створити користувачів. Для цього натиснути кнопку «+»Додати та вказати ім'я користувача та пароль (рис.23).

Слід відзначити, що для цього роутера є можливість створити до 16 користувачів, но одночасно можуть працювати тільки 10.

Всі створені користувачі будуть в змозі використовувати VPN клієнта на своїх персональних комп'ютерах після відповідного їх налаштування у додатку «Параметри» – «Мережа та Інтернет» – VPN – «+ Додати VPN підключення» (рис. 24, а) з параметрами, що вказані на рис. 24, б.

У процесі впровадження необхідно врахувати, що без додаткових налаштувань при використанні VPN з'єднання у даному випадку шлюз за замовчанням буде налаштовано на адресу VPN – 192.168.89.1. Таким чином, весь

трафік Інтернет та запити на інші ресурси буде спрямовано на ваш канал в незалежності використовуються зараз користувачем ресурси НКЛ. Для вирішення цієї особливості можна скористатися спеціальним додатковим пакетом СМАК – пакет адміністратору, який входить до ОС Windows Server 20216.

Висновки. Загальний огляд існуючих інформаційних структур НКЛ показав, у більшості закладів середньої освіти використовується найпростіша інформаційна система, яка характеризується слабкою централізацією і керованістю інформаційними ресурсами. Така система, як правило, має програмно-технічні засоби, які потенційно можуть бути використані в режимі віддалено доступу. В цілому, можна вважати, що вона розрахована тільки на використання в

аудиторному навчанні. Для переходу на режим використання в дистанційних умовах потрібно провести перенастроювання порогових пристроїв та кожного комп'ютеру з урахуванням складності контролю за використаними ресурсами. У процесі вирішення питання організації віддаленого доступу до навчальних інформаційних ресурсів НКЛ можливо скористатись декількома шляхами, однак необхідно ретельно провести основні етапи планування всієї інформаційної системи та етапів переходу до впровадження віддаленого доступу.

Серед поширених роутерів далеко не всі мають можливості створення ефективної системи з віддаленим доступом. В роботі розглянуто 3 роутери.

У випадку, коли всі ресурси розташовані на одному вузлі НКЛ, задача організації віддаленого доступу до нього вирішується практично на всіх роутерах за рахунок використання DMZ.

У випадку коли ресурси різного типу розташовані на різних вузлах НКЛ задача організації віддаленого доступу вирішується шляхом прокидання портів. Цей варіант організації підтримують практично всі існуючі роутери, але треба ґрунтовно враховувати особливості протоколів (портів), що використовує кожний ресурс. Основний недолік цього засобу – це відсутність єдиного контрольованого доступу, створення умов використання тільки основних серверних машин та значні складності використання та контролювання локальних комп'ютерів НКЛ.

Всі комп'ютери, окрім серверів, будуть простоювати. Однак, за рахунок застосування додаткових організаційних заходів, можливо задіяння інших комп'ютерів шляхом переназначення портів до їх віддаленого робочого столу. Цей варіант підтримують практично всі роутери.

З іншого боку самий простий, але більш ефективний спосіб організації віддаленого доступу до основних ресурсів НКЛ – це скористатися системою VPN. Серед досліджених роутерів тільки один має таку можливість. VPN PPTP, яка швидко налаштовується, але має значний недолік з точки зору кібербезпеки. В цілому питання безпеки інформаційних ресурсів потребують окремого дослідження методів налаштування додаткових програмних засобів або технічних рішень та в межах цієї роботи не розглянуто.

Література

1. Освіта України в умовах воєнного стану. Інформаційно-аналітичний збірник URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/serpneva-konferencia/2022/Mizhn.serpn.ped.nauk-prakt.konferentsiya/Inform-analytzc.zbirn-Osvita.Ukrayiny.v.umovakh.voyennoho.stanu.22.08.2022.pdf> (дата звернення: 01.12.2022).
2. Особливості організації роботи вчителів в умовах воєнного стану. URL: <https://pon.org.ua/novyny/9391-zapytuvaly-vidpovidaemo-osoblyvosti-organizacii-roboty-vchyteliv-v-umovakh-voiennoho-stanu.html> (дата звернення: 01.12.2022).
3. Особливості організації 2022/23 навчального року. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/osoblyvosti-organizaciyi-202223-navchalnogo-roku> (дата звернення: 01.12.2022).
4. Новий навчальний рік під час дії правового режиму воєнного стану в Україні <https://pon.org.ua/novyny/9721-novyi-navchalnyy-rik-pid-chas-dii-pravovogo-rezhymu-voiennoho-stanu-v-ukraini.html> (дата звернення: 01.12.2022).
5. ПРО ЗАТВЕРДЖЕННЯ МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ОКРЕМИХ ПИТАНЬ ЗАВЕРШЕННЯ 2021/2022 НАВЧАЛЬНОГО РОКУ. URL: <https://mon.gov.ua/ua/npa/pro-zatverdzhennya-metodichnih-rekomendacij-shodo-okremih-pitan-zavershennya-20212022-navchalnogo-roku> (дата звернення: 01.12.2022).
6. Демілітаризована зона (комп'ютерні мережі) URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BC%D1%96%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B0_%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B0_\(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96_%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D1%96\)#cite_ref-FOOTNOTE%D0%A1%D0%BC%D1%96%D1%822006_2-0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BC%D1%96%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B0_%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B0_(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96_%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D1%96)#cite_ref-FOOTNOTE%D0%A1%D0%BC%D1%96%D1%822006_2-0) (дата звернення: 21.12.2022).
7. Могильний Г.А., Семенов М.А., Кірсєв В.Ю. Впровадження системи віддаленого доступу до інформаційних ресурсів комп'ютерних лабораторій. № 2 (272) (2022): Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-7-14> (дата звернення: 01.12.2022).
8. TL-WR840N V6.20 URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/home-networking/wifi-router/tl-wr840n/> (дата звернення: 21.12.2022).
9. AC1200 Двухдиапазонный гигабитный Wi-Fi роутер URL: <https://www.mercusys.com/ru/product/details/ac12g> (дата звернення: 21.12.2022).
10. AX1500 Wi-Fi 6 маршрутизатор URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/home->

networking/wifi-router/archer-ax10/ (дата звернення: 21.12.2022).

11. Использование удаленного рабочего стола URL: <https://support.microsoft.com/ru-ru/windows/%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D1%83%D0%B4%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%87%D0%B5%D0%B3%D0%BE-%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%B0-5fe128d5-8fb1-7a23-3b8a-41e636865e8c> (дата звернення: 01.12.2022).
12. Point-to-Point Tunneling Protocol (PPTP). URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc2637.txt> (дата звернення: 01.12.2022).

References

1. Osvita Ukrainy v umovakh voiennoho stanu. Informatsiino-analitychnyi zbirnyk. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/serpneva-konferencia/2022/Mizhn.serpn.ped.nauk-prakt.konferentsiya/Inform-analitic.zbirn-Osvita.Ukrayiny.v.umovakh.voyennoho.stanu.22.08.2022.pdf> (дата звернення: 01.12.2022).
2. Osoblyvosti orhanizatsii roboty vchyteliv v umovakh voiennoho stanu. URL: <https://pon.org.ua/novyny/9391-zapytuvaly-vidpovidaemo-osoblyvosti-organizacii-roboty-vchyteliv-v-umovakh-voiennoho-stanu.html>
3. OSOBLIVOSTI ORHANIZATsII 2022/23 NAVChALNOHO ROKU. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/osoblivosti-organizaciyi-202223-navchalnogo-roku>.
4. Novyi navchalnyi rik pid chas dii pravovoho rezhymu voiennoho stanu v Ukraini. <https://pon.org.ua/novyny/9721-novyi-navchalnyi-rik-pid-chas-dii-pravovogo-rezhymu-voiennoho-stanu-v-ukraini.html>.
5. PRO ZATVERDZhENNIa METODYChNYKh REKOMENDATsII ShchODO OKREMYKh PYTAN ZAVERSHENNIa 2021/2022 NAVChALNOHO ROKU. URL: <https://mon.gov.ua/ua/npa/pro-zatverdzhennya-metodichnih-rekomendacij-shodo-okremih-pitan-zavershennya-20212022-navchalnogo-roku>.
6. Demilitaryzovana zona (kompiuterni merezhi) URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BC%D1%96%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B0_%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B0_\(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96_%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D1%96\)#cite_ref-FOOTNOTE%D0%A1%D0%BC%D1%96%D1%822006_2-0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BC%D1%96%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B0_%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B0_(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96_%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D1%96)#cite_ref-FOOTNOTE%D0%A1%D0%BC%D1%96%D1%822006_2-0).

7. Mohylnyi H.A., Semenov M.A., Kirieiev V.Iu. Vprovadzhennia systemy viddalenooho dostupu do informatsiinykh resursiv kompiuternykh laboratorii. № 2 (272) (2022): Visnyk Skhidnoukrajnskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-7-14>.
8. TL-WR840N V6.20 URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/home-networking/wifi-router/tl-wr840n/> (дата звернення: 21.12.2022).
9. AC1200 Dvukhdyarazonnyi hyhabutnyi Wi-Fi router URL: <https://www.mercusys.com/ru/product/details/ac12g> (дата звернення: 21.12.2022).
10. AX1500 Wi-Fi 6 marshrutyzator URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/home-networking/wifi-router/archer-ax10/>.
11. Yspolzovanye udalennoho rabocheho stola URL: <https://support.microsoft.com/ru-ru/windows/%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D1%83%D0%B4%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%87%D0%B5%D0%B3%D0%BE-%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%B0-5fe128d5-8fb1-7a23-3b8a-41e636865e8c>.
12. Point-to-Point Tunneling Protocol (PPTP). URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc2637.txt>.

Mohylnyi H.A. Analysis of software and hardware for creating systems with remote access to educational computer laboratories in secondary education institutions

In the conditions of military operations with the Russian Federation and the active implementation of distance learning methods, the organization of the work of educational computer laboratories should be aimed at supporting distance learning through the introduction of modern information technologies.

Under such conditions, most of the information resources of these laboratories are not used in the educational process. The main problem is related, in particular, to the development and implementation of a system for remote user access to local resources of educational laboratories. In addition, it should be taken into account that many students who have become forced migrants do not have the opportunity to study according to a certain schedule and the necessary computer equipment when organizing online education. There is a significant need to create conditions for higher education students to access the computer network of the educational laboratory - providing access to educational equipment through remote access via the Internet. At this time, a large number of works are devoted to various aspects of the organization of online education, but the problem of creating remote educational computer laboratories in secondary

education institutions and small higher education institutions has not been sufficiently investigated.

The work provides an analysis of the existing information system, which is used in many educational computer laboratories of secondary education institutions. Its advantages and disadvantages are given. The main feature of the activity of such a laboratory is a significant limitation in financial resources and human resources. The accumulated experience of using and modernizing such a system allows us to offer a number of technical solutions aimed at organizing remote access to the internal information resources of the educational computer laboratory. The work outlines the simplest and fastest options for creating an information system with remote access, features of their implementation are given, which do not require significant modernization and can be implemented in the educational process. A number of options for the organization of remote access to the

educational computer laboratory, which is built using the technology of forwarding individual ports, have been analyzed.

Recommendations for modernizing the equipment of the educational computer laboratory have been developed, the main stages of reconfiguring the remote access system based on the use of a remote desktop are given.

Keywords: educational computer laboratory, distance learning, Windows 10, information structure, router, remote access, VPN, port, protocol, PPTP.

Могильний Геннадій Анатолійович – к. т. н., доцент, директор Навчально-наукового інституту фізики, математики та інформаційних технологій Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, g.mogilniy@gmail.com

Стаття подана 15.01.2023.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-277-1-20-25>

УДК 004.9

КОНЦЕПЦІЇ ТА ПАРАДИГМИ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ В ГАЛУЗІ ОПТИЧНОЇ МЕТРОЛОГІЇ.

Хорошун Г.М.

CONCEPTS AND PARADIGMS OF BUILDING INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF OPTICAL METROLOGY.

Khoroshun G.M.

В роботі проведені дослідження щодо створення методологічних основ побудови інформаційно-керуючих систем та інформаційних технологій у технічних галузях знань, які спираються на проведення вимірювань фізичних величин до якої відноситься і оптична метрологія. Визначені основні принципи побудови інформаційно-керуючих систем. Визначено парадигми, які дозволяють враховувати різні аспекти діяльності на прикладі галузі оптичної метрології. До парадигм технічного напрямку додано гнучку парадигму, що дозволяє швидко адаптуватися до змін та відмов, а в парадигмах управлінського напрямку додано модельовану парадигму з огляду на підвищення можливостей штучного інтелекту до аналізу великих обсягів даних та прогнозування. Концепція інформаційно-керуючої системи в технічній галузі, діяльність якої пов'язана з вимірюванням фізичних величин може включати чотири вимоги та принципи. Вимога забезпечення точності та надійності вимірювань параметрів зазначену у принципі використання високоточних датчиків та калібрування для забезпечення точності вимірювань; впровадження механізмів виявлення та усунення помилок для забезпечення надійності вимірювань. Вимога швидкості обробки та аналізу технічних та управлінських даних реалізується принципом використання ефективних алгоритмів обробки даних та оптимізація апаратного забезпечення для забезпечення швидкості обробки даних. Вимога зручність і простота використання та доступність для користувачів визначена у принципі розробки інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу та забезпечення зручного доступу до функціональності ІКС; навчання користувачів та підтримка документації для полегшення використання системи. Вимога захисту та безпеки даних забезпечується принципом використання механізмів шифрування, контролю доступу та резервного копіювання даних для забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності да-

них. Ці вимоги та принципи допомагають забезпечити ефективну та надійну роботу інформаційно-керуючої системи в метрології, сприяють покращенню якості вимірювань, аналізу даних та управління процесами в цій галузі. Також розроблено загальну концепцію побудови інформаційної технології підтримки прийняття рішень у технічних галузях знань, які спираються на проведення вимірювань фізичних величин.

Ключові слова: концепція, парадигма, інформаційно-керуюча система, інформаційна технологія підтримки прийняття рішень, оптична метрологія.

Постановка та аналіз проблеми. Для розуміння, організації та розв'язання проблем у певній галузі знань або діяльності є корисним створення концепції та використання парадигм у вигляді моделей, підходів або шаблонів. Концепція дозволяє визначити основні принципи, правила, методи та засоби, за допомогою яких вирішуються завдання та розвиваються нові ідеї. Парадигми надають рамки для мислення, проектування та впровадження рішень. Кожна парадигма має свої характеристики, підходи та принципи, які визначаються контекстом і завданнями, що вирішуються. Для забезпечення ефективної діяльності в галузі оптичної метрології необхідно визначити парадигми в рамках яких вона функціонує та розробити концепції побудови інформаційно-керуючої системи (ІКС) та інформаційної технології підтримки прийняття рішень в галузі оптичної метрології.

В попередніх дослідженнях спираючись на стандарти та вимоги до проведення вимірювань в оптичних лабораторіях в Україні розроблено

методологію підтримки прийняття рішення щодо оцінки відповідності оптичної лабораторії технічним вимогам за допомогою FMEA-аналізу [1], системи підтримки прийняття рішень з [2] та [3], а також управління Гантт [4] під час пандемії Covid-19 [5], а також під час фінансової нестабільності [6]. Зараз є необхідність презентувати загальні концепції побудови ІКС для метрології, які дозволяють системно та в повній мірі забезпечити розробку ІТ підтримки прийняття рішень в галузі оптичної метрології.

Принципи побудови інформаційних систем. В контексті розробки інформаційних систем згідно до стандартів ISO з системної та програмної інженерії [7-9] можна виділити за основу такий набір принципів: *архітектурні, управління процесом розробки, взаємодію з користувачем.*

Основні архітектурні принципи для побудови ІТ-систем, що допомагають забезпечити їхню ефективність та надійність такі: модульність, розширюваність, гнучкість, масштабованість, відкритість, безпека, простота, повторне використання.

Загально визнані *принципи управління процесом розробки*, які використовуються в багатьох процесах розробки для забезпечення успішності проекту: цілісність, ітераційність, гнучкість, залучення зацікавлених сторін, якість, керуваність, систематичність.

Основні принципи взаємодії з користувачем, які сприяють ефективному та задовільному використанню продукту або послуги, наступні: виконання завдань, простота та зрозумілість, контекстна адаптація, забезпечення зручності інтерфейсу, зручність навігації та вводу, забезпечення зрозумілості та зворотного зв'язку, наявність документації та підтримки. Ці принципи допомагають створити орієнтовані на користувача інтерфейси та забезпечити зручну, ефективну та задовільнену взаємодію з продуктом або послугою.

Парадигми технічного напрямку. У прикладних галузях техніки зазвичай використовують наступні парадигми для побудови концепції діяльності: *апаратна, вбудована, модельована та розподілена парадигма.* В існуючих умовах нестабільності у світі з військових причин, епідемій та фінансових коливань ринку необхідно додати *гнучку* парадигму, яка забезпечить швидку адаптацію до ситуації навколо за допомогою відповідних інформаційних керуючих систем.

Визначемо застосування цих парадигм для ІКС та ІТ в галузі оптичної метрології.

Так основні елементи *апаратної парадигми* для оптичної метрології включатимуть інформаційні системи з повним описом наявного, вільного та необхідного обладнання, включаючи характеристики оптичних датчиків та пристроїв, оптичних систем зображення, інтерференційних приладів, фотометричних та спектральних вимірювачів, лазерних та оптичних джерел.

Оптичні датчики та пристрої використовуються для збору інформації про об'єкти. Ці датчики можуть бути засновані на різних оптичних принципах, таких як засвічування, розсіювання, інтерференція, флуоресценція та інші, тому і дані можуть мати різний тип: текстовий, числовий та графічний, а також формат, що має враховуватися в ІС.

В оптичних системах змінюється розмір зображення, додаються абераційні ефекти. Для отримання достовірної та детальної інформації ці зображення проходять певні стадії аналізу, розпізнання та обробки програмними засобами.

Вбудована парадигма для оптичної метрології включає такі основні принципи: розробка спеціалізованого програмного забезпечення, оптимізація обчислювальних ресурсів, реальний час, взаємодія з апаратними компонентами, калібрування та компенсація.

Розробка спеціалізованого програмного забезпечення використовується для керування та обробки даних вимірювань. Це програмне забезпечення розробляється та налаштовується спеціально для конкретних пристроїв чи систем оптичної метрології.

Оптимізація обчислювальних ресурсів дозволяє враховувати обмежені обчислювальні ресурси, які є характерними для вбудованих систем. Програмне забезпечення оптимізується з урахуванням часових характеристик оновлення сигналу та наявності шуму.

Вимірювання в оптичній метрології зазвичай відбуваються у *режимі реального часу*, оскільки вимірювання можуть відбуватись для рухомих об'єктів або потребують негайної обробки та відображення результатів.

Взаємодія з апаратними компонентами такими як оптичні датчики, оптичні системи зображення має забезпечувати збір даних з цих компонентів, контроль їх роботи та обробку отриманих результатів.

Калібрування та компенсація вимагають контроль за допомогою ПЗ центрування та синхронізації систем оптичної метрології належ-

ним чином для забезпечення високої точності та надійності вимірювань.

Основні принципи модельованої парадигми в ІКС для оптичної метрології включають: моделювання системи, аналіз та валідацію моделей, оптимізацію параметрів, симуляцію та експерименти, інтеграцію з іншими системами.

Моделювання системи полягає у створенні моделей оптичної системи, включаючи її компоненти, взаємодію та поведінку. Моделі можуть бути створені з використанням спеціальних мов програмування або інструментів моделювання.

Аналіз та валідація моделей оптичної системи проводиться перед їх фактичною розробкою за допомогою систем підтримки прийняття рішення щодо оцінки характеристик системи, виявленні можливих проблем, їх усуненню та оптимізації ефективності.

Оптимізація параметрів оптичної системи в моделі дозволяє досягти заданих характеристик та зробити систему стабільною, ефективною та з більшою точністю вимірювань.

Симуляція та експерименти з оптичною системою дозволяють проводити дослідження її поведінки в різних умовах та прогнозувати результати експериментів з визначенням оптимальних налаштувань системи.

Основні принципи розподіленої парадигми в ІКС для оптичної метрології включають: розподілена обробка даних, мережева комунікація, резервування та надійність, складні алгоритми розподіленої обробки.

Розподілена обробка даних: У розподіленій парадигмі обробка даних розподіляється між різними обчислювальними пристроями або вузлами. Це дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних та забезпечує швидкість та масштабованість оптичної метрологічної системи.

Мережева комунікація: Розподілена парадигма передбачає використання мережевої комунікації між різними пристроями або вузлами системи. Це забезпечує обмін даними, синхронізацію та координацію між компонентами системи.

Резервування та надійність свідчать про застосування механізмів резервування та забезпечення надійності. Це дозволяє системі продовжувати працювати в разі відмови окремих компонентів або вузлів.

Складні алгоритми розподіленої обробки враховують розробку складних алгоритмів та специфіку отримання даних в оптичній метрології та забезпечують ефективну обробку та аналіз вимірювальних даних.

Управління та координація різних компонентів оптичної систем включає механізми розподіленого керування, контролю та синхронізації її частин.

Гнучка парадигма в ІКС дозволяє переорієнтувати діяльність лабораторії згідно до актуальних задач з використанням методології Agile, яка базується на наступних чотирьох цінностях: індивідууми та взаємодія більш важливі, ніж процеси та інструменти, робоче програмне забезпечення більш важливе, ніж докладна документація, співпраця замовника та розробника більш важлива, ніж умови контракту, реагування на зміни більш важливе, ніж виконання плану.

Парадигми управлінського напрямку. Управління науково-дослідною лабораторією включає в себе різні підходи та парадигми, які залежать від цілей, структури та специфіки самої лабораторії. Наведемо низку парадигм, які дозволять ефективно управляти науково-дослідною лабораторією та рекомендуються до використання: класична, інноваційна, гнучка, системна, кооперативна парадигми. Додаємо ще й модельовану парадигму з огляду на її корисність в ефективному управлінні ресурсами, а також у зв'язку з підвищенням можливостей штучного інтелекту до аналізу великих обсягів даних та прогнозування [10].

Класична парадигма базується на принципах наукового менеджменту та орієнтована на досягнення ефективності та продуктивності. Лабораторія фокусується на забезпеченні якості досліджень, оптимізації процесів, управлінні ресурсами і впровадженні стандартів проектування та виконання досліджень.

Інноваційна парадигма ставить акцент на створення інноваційних рішень та розвиток нових технологій. Лабораторія працює над стимулюванням творчості, співпраці з іншими науковими групами, просуванням ідей стартапів та комерціалізацією наукових результатів.

Гнучка парадигма базується на принципах гнучкого управління та адаптивності. Лабораторія ставить акцент на спроможність швидко реагувати на зміни у науковому середовищі та ринкових умовах. Вона використовує ітеративні методи, співпрацю зі зацікавленими сторонами та швидке пристосування до нових вимог і викликів.

Системна парадигма покладається на управління лабораторією як складною системою з взаємозалежними елементами. Він враховує взаємодію між процесами, комунікацію, організаційну культуру та розвиток персоналу.

Лабораторія дотримується системного підходу до планування, контролю та впровадження змін.

Кооперативна парадигма ґрунтується на співпраці та партнерстві між лабораторіями, університетами, промисловими підприємствами та іншими стейкхолдерами. Лабораторії обмінюються знаннями, ресурсами та досвідом, спільно працюють над вирішенням великих наукових проблем та досягненням спільних цілей.

Концепція інформаційно-керуючої системи для метрології. Для побудови ІКС логічним є використання принципів системного аналізу: розвиток, єдність та зв'язки; модульна побудова; функціональність. Структура ІКС може бути надана у вигляді: вимоги, принципи, моделі, методи, інформаційні технології. Спираючись на розглянуті парадигми та принципи, розроблено концепцію ІКС (рис.), яка може використовуватись в технічних галузях, в яких проводяться вимірювання фізичних величин. ІКС має забезпечувати високу якість вимірювань, швидкість обробки даних, зручність та простоту використання системи, захист та безпеку даних.



Рис. Концепція побудови ІКС для технічних галузей, в яких проводяться вимірювання фізичних величин

Концепція ІТ підтримки прийняття рішень в галузі оптичної метрології. Використання наведених принципів побудови інформаційних систем та парадигм технічного та управлінського напрямку дозволяє побудувати концепцію ІТ підтримки прийняття технічних та управлінських рішень в галузі оптичної метрології. Пропонується базувати її на таких ключових елементах: експертна група, база знань, аналіз даних, моделювання та симуляція, моніторинг та відстеження, забезпечення комунікації, неперервна підтримка.

Експертна група: Створення експертної групи з висококваліфікованими фахівцями з оптичної метрології, які матимуть глибокі знання і досвід у цій галузі. Ця група буде відповідальною за надання консультацій та рекомендацій з питань технічного та управлінського прийняття рішень.

База знань: Створення централізованої бази знань, яка міститиме інформацію про оптичну метрологію, технологічні стандарти, існуючі рішення та проблеми, а також успішні практики. Це допоможе забезпечити доступ до актуальної інформації для прийняття рішень.

Аналіз даних: Розвиток системи збору, аналізу та обробки даних для оптичної метрології. Ця система допоможе зібрати дані з різних джерел, включаючи вимірювання, тестування та інші джерела, і провести аналіз для виявлення трендів, проблем та можливих вдосконалень.

Моделювання та симуляція: Використання комп'ютерного моделювання та симуляції для вивчення та передбачення різних сценаріїв у галузі оптичної метрології. Це дозволить проводити віртуальні експерименти та визначати оптимальні параметри та стратегії.

Моніторинг та відстеження: Розробка системи моніторингу та відстеження для оптичної метрології. Ця система дозволить в режимі реального часу контролювати параметри, якості та ефективності процесів оптичної метрології, що дозволить швидко виявляти проблеми та реагувати на них.

Забезпечення комунікації: Розробка системи комунікації та спільної роботи між фахівцями з оптичної метрології, управлінським персоналом та іншими зацікавленими сторонами. Це допоможе покращити обмін інформацією, сприяти вирішенню проблем та забезпечити згуртованість команди.

Неперервна підтримка: Забезпечення неперервної технічної та управлінської підтримки для оптичної метрології. Це може включати надання консультацій, курсів підготовки та навчання персоналу, а також розробку процедур та практичних рекомендацій.

Висновки

В роботі проведені дослідження щодо створення методологічних основ побудови інформаційно-керуючих систем та інформаційних технологій у технічних галузях знань, які спираються на проведення вимірювань фізичних величин до якої відноситься і оптична метрологія. Визначені основні принципи побудови інформаційно-керуючих систем. Визначено парадигми, які дозволяють враховувати різні аспек-

ти діяльності на прикладі галузі оптичної метрології. До парадигм технічного напрямку додано гнучку парадигму, що дозволяє швидко адаптуватися до змін та відмов, а в парадигмах управлінського напрямку додано модельовану парадигму з огляду на підвищення можливостей штучного інтелекту до аналізу великих обсягів даних та прогнозування. Також розроблено загальну концепцію побудови інформаційно-керуючих систем для технічних галузей, що спираються на вимірювання фізичних величин та концепцію побудови інформаційної технології підтримки прийняття рішень в галузі оптичної метрології.

Література

1. Хорошун, Г., А. Рязанцев, О. Рязанцев. Методологія прийняття рішення щодо оцінки відповідності оптичної лабораторії технічним вимогам. Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, вип. 8(264), 2021, с. 10-14
2. Кулаков Д.В., Хорошун Г.М. Система підтримки прийняття рішень в задачах оцінки якості зображення. IT-Ідея – 2022: збірник науково-практичних праць. – Київ: Вид-во Східноукр. Ун-ту ім. В. Даля, 2022. – с. 23-24.
3. Дяченко С., Седінкін О., Сокирко Д., Хорошун Г.М. Система підтримки прийняття рішень в задачах вибору програмного забезпечення. IT-Ідея – 2022: збірник науково-практичних праць. – Київ: Вид-во Східноукр. Ун-ту ім. В. Даля, 2022. – с. 16-17.
4. Хорошун Г. М., Сітченко О. В., Рязанцев О. І., Барбарук В. М. Управління проектом «оптична лабораторія» за допомогою програмного забезпечення GanttProject / Сучасні технології в науці та освіті : колективна монографія / під ред. О. Б. Целіщева, Г. О. Татарченко, Г. М. Хорошун. — Северодонецьк : вид-во СЧУ ім. В. Даля, 2021. — с. 150-155.
5. Хорошун, Г., О. Рязанцев, М. Коверга, С. Покришка. Моделі машинного навчання для передбачення кількості захворілих на Covid-19 в Україні та Індії, Сучасні інформаційні системи, 2022, 6 (2), с.16-20
6. Хорошун, Г., М. Черпицький, О. Рязанцев, М. Кластеризація та аномальність даних індексу волатильності фондового ринку США, Сучасні інформаційні системи, 2023, 7 (2), с.9-15
7. ISO/IEC 42010:2011 - Systems and software engineering - Architecture description
8. ISO/IEC 12207:2017 - Systems and software engineering - Software life cycle processes
9. ISO/IEC 25010:2011 - Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models
10. Andrew Wolf, Machine Learning Simplified: A gentle introduction to supervised learning, 2022, p. 199
URL: <https://www.goodreads.com/book/show/60297347-machine-learning-simplified>

References

1. Khoroshun, G., A. Ryazantsev, O. Ryazantsev. Methodology for decision-making regarding the evaluation of compliance of the optical laboratory with technical requirements. Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl, Vol. 8(264), 2021, p. 10-14
2. Kulakov D.V., Khoroshun G.M. Decision support system for image quality assessment tasks. IT-Idea - 2022: a collection of scientific and practical works. - Kyiv: East Ukraine. University named after V. Dalya, 2022. - p. 23-24.
3. Dyachenko S., Sedinkin O., Sokyрко D., Khoroshun H.M. Decision support system in software selection tasks. IT-Idea - 2022: a collection of scientific and practical works. - Kyiv: East Ukraine. University named after V. Dalya, 2022. - p. 16-17.
4. Khoroshun G. M., Sitchenko O. V., Ryazantsev O. I., Barbaruk V. M. Project management "optical laboratory" using GanttProject software / Modern technologies in science and education: collective monograph / sub. ed. O. B. Tselishcheva, G. O. Tatarchenko, H. M. Khoroshun. — Severodonetsk: edition of SNU named after V. Dalya, 2021. — p. 150-155.
5. Khoroshun, G., O. Ryazantsev, M. Koverga, S. Pokryshka. Machine learning models for predicting the number of patients with Covid-19 in Ukraine and India, Modern Information Systems, 2022, 6 (2), p.16-20
6. Khoroshun, G., M. Cherpytskyi, O. Ryazantsev, M. Clustering and anomaly of data of the US stock market volatility index, Modern Information Systems, 2023, 7 (2), p.9-15
7. ISO/IEC 42010:2011 - Systems and software engineering - Architecture description
8. ISO/IEC 12207:2017 - Systems and software engineering - Software life cycle processes
9. ISO/IEC 25010:2011 - Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models
10. Andrew Wolf, Machine Learning Simplified: A gentle introduction to supervised learning, 2022, p. 199
URL: <https://www.goodreads.com/book/show/60297347-machine-learning-simplified>

Khoroshun G.M. Concepts and paradigms of building information systems and technologies in the field of optical metrology.

The research has been conducted to establish the methodological foundations for building information and control systems and information technologies in technical fields of knowledge, including optical metrology. The key principles of constructing information and control systems have been defined. Paradigms have been identified to consider various aspects of activity, specifically in the field of optical metrology. A flexible paradigm has been added to the paradigms of the technical direction, enabling quick adaptation to changes and failures, while in the management direction, a modeled paradigm has been introduced to enhance the capabilities of artificial intelligence for data analysis and forecasting. The concept of an information and control system in the technical field, related to physical measurements, may include four requirements and principles. Requirement: Ensuring accuracy and reliability of parameter measurements. Principle: Utilizing high-precision sensors and calibration to ensure measurement accuracy, as well as implementing error detection and correction mechanisms to ensure measurement reliability. Requirement: Speed of processing and analysis of technical and management data. Principle: Employing efficient data processing algorithms and optimizing hardware to achieve data processing speed. Requirement: User-friendliness, simplicity, and accessibility for

users. Principle: Developing an intuitive interface and facilitating convenient access to the system's functionality, including user training and documentation support to enhance system usability. Requirement: Data protection and security. Principle: Implementing encryption mechanisms, access control, and data backup to ensure confidentiality, integrity, and availability of data. These requirements and principles contribute to the effective and reliable operation of an information system in metrology, improving the quality of measurements, data analysis, and process management in this field. Additionally, a comprehensive concept has been developed for building an information technology decision support system in optical metrology, encompassing expert groups, knowledge bases, data analysis, modeling and simulation, monitoring and tracking, communication support, and continuous maintenance.

Keywords: concept, paradigm, information and control system, decision support information technology, optical metrology.

Хорошун Ганна Миколаївна, кандидат фізикоматематичних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський Національний Університет імені Володимира Даля, horoshun@snu.edu.ua

Стаття подана 24.01.2023.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-277-1-26-30>

УДК 621.1

КРИТЕРІАЛЬНІ РІВНЯННЯ ДЛЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ У ПЛАСТИНЧАСТОМУ ТЕПЛООБМІННИКУ

Аніпко О.Б., Тараненко С.В., Голубєва С.М., Шаблій Г.Ф.

CRITERIA EQUATIONS FOR THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT IN A PLATE HEAT EXCHANGER

Anipko O.B., Taranenko S.V., Golubieva S.M., Shabliy G.F.

У статті розглянуто питання проектування розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату (ПТА) та визначення коефіцієнта тепловіддачі для відповідного типу поверхні, з урахуванням конструктивних розмірів гідродинаміки потоку та інших специфічних факторів. Пластинчасті теплообмінні апарати є одним із найпоширеніших типів. На сьогоднішній день в енергетиці, комунальному господарстві, промисловій технології та на транспорті їхня частка перевищує 30% від усього встановленого теплообмінного обладнання. На судах різного призначення частка теплообмінного обладнання, що входить до складу енергетичної установки, допоміжного обладнання, систем вентиляції та кондиціонування, та інших, суттєва за масою та габаритами.

Показано, що внесок ступеня турбулізації потоку та теплофізичних властивостей теплоносія однакові. Не дивлячись те що, що гофрування як підвищує компактність, а й турбулізує потік. При цьому ступінь турбулізації потоку та вплив теплофізичних характеристик теплоносія «затиснуті» у незмінних показниках ступеня при числах Re та Pr . Все це разом призводить до непередбачуваної похибки у визначенні коефіцієнта тепловіддачі до необгрунтованого збільшення розрахункової поверхні. Тому завдання зниження маси та особливо габаритів теплообмінного обладнання для транспорту взагалі та для суден зокрема має важливе практичне значення.

Розроблено на основі узагальнення експериментальних даних нову структуру критеріального рівняння для коефіцієнта тепловіддачі гофрованих пластин пластинчастого теплообмінного апарату, яка дозволяє з прогнозованою точністю визначати площу теплообмінної поверхні з урахуванням конкретних конструктивних особливостей, ступеня турбулізації потоку та теплофізичних властивостей тепло-

носія (критерій Прандтля). Така структура позбавлена зазначених вище недоліків.

Застосування цього критеріального рівняння дозволяє скоротити так звану маржу «margin» при розрахунку поверхні теплообміну пластинчастого теплообмінника. Це дозволяє скоротити масу та обсяг встановлюваного теплообмінного обладнання для транспорту взагалі та для суден зокрема.

Ключові слова: критеріальне рівняння, маржа, пластинчастий теплообмінник, теплообмінна поверхня.

Вступ. Пластинчасті теплообмінні апарати (ПТА) є одним із найпоширеніших типів. На сьогоднішній день в енергетиці, комунальному господарстві, промисловій технології та на транспорті їхня частка перевищує 30% від усього встановленого теплообмінного обладнання.

На судах різного призначення частка теплообмінного обладнання, що входить до складу енергетичної установки, допоміжного обладнання, систем вентиляції та кондиціонування та інших, істотна за масою та габаритами. ПТА широко та повсюдно застосовуються на судах. Так, лише частка ПТА виробництва фірми «Alfa Laval» (Швеція) перевищує 40% від усього встановленого теплообмінного обладнання.

Нині 90% морських та 97% річкових суден оснащуються дизельною силовою установкою (СУ). Залежно від потужності та ступеня регенерації теплообмінне обладнання становить від 10-12% до 18-22% маси та від 14-16% до 28-34% обсягу, займаного СУ.

Тому завдання зниження маси та особливо габаритів теплообмінного обладнання для тра-

нспорту взагалі та для суден зокрема має важливе практичне значення.

При визначенні потрібної поверхні, що передає, практично всі виробники ПТА пропонують замовнику скористатися програмою наявної у відкритому доступі і за вихідними даними отримати результат.

Так фірма «Alfa Laval», наприклад, пропонує програму CASH-2000. Однак розрахована таким чином поверхня або містить, або при визначенні фактичної поверхні ПТА збільшується на величину так званої маржі, величина якої може коливатися від 9-20% і більше від розрахункового значення. Виробник зумовлює точне збільшення похибок, запасом на забруднення поверхні та іншими факторами.

Слід особливо наголосити, що виробнику вигідно збільшувати поверхню, оскільки це збільшує обсяг продажу виготовленої поверхні практично без витрат.

З іншого боку, таке збільшення поверхні підвищує капітальні витрати. Вимагає більшого обсягу ПТА та його маси. Це, у свою чергу, якщо не критично для стаціонарного обладнання, то стосовно транспортних машин знижує їх корисний обсяг і масу.

Підвищення поверхні компенсації забруднень взагалі сумнівно, що неодноразово обговорювалося у низці публікацій [1,3,5].

У зв'язку з цим виникає **завдання** розробки критеріального рівняння, яке дозволяє визначати теплообмінну поверхню з точністю, що використовує «margin».

Основний матеріал. Основним етапом при проектуванні ПТА є визначення коефіцієнта тепловіддачі для відповідного типу поверхні, з урахуванням конструктивних розмірів гідродинаміки потоку та інших специфічних факторів.

Проте слід розуміти, що коефіцієнт тепловіддачі це коефіцієнт пропорційності рівняння Ньютона-Рихмана для конвективної тепловіддачі. Таким чином це не фізична величина, а розрахунковий коефіцієнт, який може бути визначений по-різному залежно від того, до якої поверхні він віднесений, як визначено температурний натиск і тепловий потік.

Визначення коефіцієнта тепловіддачі присвячені роботи Фрааса А., Озісіка М. [1], Керна Р., Крауса А. [2], Рамеша К., Душана П. [6], Коваленко Л.М. [4] та інших авторів, таких як Ашер, Керор [3] і не припиняються до теперішнього часу. Однак, всі автори дотримуються однакової структури критеріального рівняння у вигляді (для турбулентного режиму) параметра Нуссельта:

$$N_u = C Re^m Pr^n, \quad (1)$$

де C , m , n – коефіцієнт та показники ступеня, які підлягають визначенню у процесі дослідження для відповідної конструктивної поверхні. Причому, починаючи з 1930-х років показник ступеня n при числі Прандтля відразу беруть рівним 0,43 і, таким чином, завдання суттєво спрощується, скорочується потрібна кількість експериментів.

Так у монографії [4] для гладкої пластини пропонується критеріальне рівняння:

$$N_u = 0,33 Re^{0,73} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{CT}} \right)^{0,25} \quad (2)$$

Для гофрованої пластини шевронного профілю[4]:

$$N_u = 0,1 Re^{0,73} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{CT}} \right)^{0,25} \quad (3)$$

Для пластини 0,3 ($Re_{кр} = 100 \div 200$):

$$N_u = 0,17 Re^{0,73} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{CT}} \right)^{0,25} \quad (4)$$

Для пластини «ялинка»:

$$N_u = 0,098 Re^{0,73} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{CT}} \right)^{0,25} \quad (5)$$

Як можна бачити, що незважаючи на те, що не існує подібності між течією вздовж гладкої поверхні (рівняння (2)) і вздовж гофрованої (рівняння (3), (4), (5)), показники ступеня при числі Re і Pr однакові.

Тобто внесок ступеня турбулізації потоку та теплофізичних властивостей теплоносія однакові. Не дивлячись те що, що гофрування як підвищує компактність, а й турбулізує потік. Так для гофрованих пластин критичне значення числа Re становить 50-100.

Мало відрізняються результати публікацій зарубіжних авторів [3,6]. Так Ашер та Перкор пропонують критеріальне рівняння для гофрованих пластин у вигляді:

$$N_u = 0,2 Re^{0,67} Pr^{0,4} \left(\frac{\eta}{\eta_i} \right). \quad (6)$$

Аналіз виразів (2)-(6) показує, що похибка визначення коефіцієнта тепловіддачі за цими рівняннями міститься у величині коефіцієнта C . У той же час конструктивні параметри гофр-висоти (H) та крок ($2T$) (рис.), ступінь турбулізації потоку та вплив теплофізичних характеристик теплоносія «затиснуті» у незмінних показниках ступеня при числах Re і Pr .

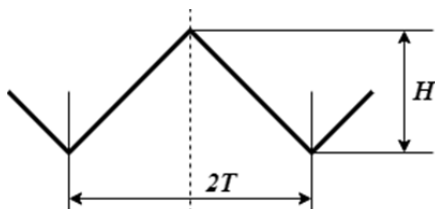


Рис. Конструктивні параметри гофр-висоти

Все це разом призводить до непередбачуваної похибки у визначенні коефіцієнта тепловіддачі до необґрунтованого збільшення розрахункової поверхні.

Результати досліджень. З використанням експериментальної установки [8], проведено велику кількість експериментів щодо визначення коефіцієнта тепловіддачі гофрованої поверхні з урахуванням впливу щодо конструктивного параметра (T/H), швидкості теплоносія при турбулентному перебігу та впливу властивостей теплоносія [7].

В результаті узагальнення та аналізу цих даних розроблено наступну структуру критеріального рівняння

$$N_u = k \left(\frac{T}{H} \right) \left(\frac{Re}{Re_{кр}} \right)^n Pr^m Pr^{bPr} \quad (7)$$

або

$$N_u = k \left(\frac{T}{H} \right) \left(\frac{CRe}{Re_{кр}} \right)^n Pr^{m+b(Pr)} \quad (8)$$

Як видно, така структура позбавлена значених вище недоліків. Крім того, було встановлено, що показник ступеня за кількістю Прандтля залежить від числа Pr . З урахуванням розробленої структури для діапазону ($1 \leq T/H \leq 1,9$) було отримано критеріальне рівняння у вигляді:

$$N_u = \left(0,213 - 0,037 \frac{T}{H} \right) \left(\frac{CRe}{Re_{кр}} \right)^4 Pr^{\left(0,33 + \frac{3,43}{Pr+33} \right)} \quad (9)$$

Для зазначеного діапазону коефіцієнт тепловіддачі визначений (9) дозволяє розрахувати теплообмінну поверхню з похибкою не більше 5-7% і виключити «marginе».

Висновки. Розроблено нову структуру критеріального рівняння для гофрованих пластин ПТА, яка дозволяє з прогнозованою точністю визначати площу теплообмінної поверхні з урахуванням конкретних конструктивних особливостей (T/H), ступеня турбулізації потоку ($Re/Re_{кр}$) та теплофізичних властивостей теплоносія (критерій Прандтля). Це, у свою чергу, дозволяє виключити «marginе», що у свою чергу призводить до зниження капітальних витрат, експлуатаційних витрат на прокачування теплоносіїв та знизити масу та габарити ПТА.

Література

1. Arthur P. Fraas, M. Necati Ozisik. (1965). *Heat exchanger design*. New York: John Wiley & Sons, Inc. P.386.
2. Donald Q. Kern, Allan D. Kraus. (1972). *Extended surface heat transfer*. New York: McGraw-Hill. P.805.
3. Heat transfer designs. (1983). Hand book.
4. Коваленко Л.М., Глушков А.Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. Москва: Энергоатомиздат, 1986. с. 240.
5. Анипко О.Б. Рациональные теплообменные поверхности. Харьков: ХВУ, 1998. 197 с.
6. Ramesh K. Shah, Dusan P. Sekulic. (2003). *Fundamentals of heat exchanger design*. New York, John Wiley & Sons, Inc. P.972.
7. Анипко О.Б., Климов В.Ф., Магерамов Л.К.-А., Колбасов А.Н. К вопросу об оценке влияния теплофизических характеристик теплоносителя на теплоотдачу. // Интегрированные технологии та энергосбережения. 2009. №2. с. 14-16.
8. Анипко О.Б., Арсеньева О.П., Капустенко П.А. Экспериментальная установка для тепловых и гидравлических испытаний пластинчатых теплообменных аппаратов. // Труды Одесской национальной академии пищевых технологий. Одесса: ОНАПТ. 2003. №25. С. 74-79.
9. Анипко О.Б., Тараненко С.В. Судовые энергетические установки. Тепловые и конструктивные расчёты дизелей: учеб. пособ. Севастополь: Изд-во АВМС им. П.С. Нахимова. 2010. ч.1. 60 с.
10. Анипко О.Б., Тараненко С.В. Судовые энергетические установки. Тепловые и конструктивные расчёты дизелей: учеб. пособ. Севастополь: Изд-во АВМС им. П.С. Нахимова. 2010. ч.2. 60 с.

ПОЛЬ: Изд-во АВМС имени П.С. Нахимова. 2010. ч.2. 172 с.

References

1. Arthur P. Fraas, M. Necati Ozisik. (1965). *Heat exchanger design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
2. Donald Q. Kern, Allan D. Kraus. (1972). *Extended surface heat transfer*. New York: McGraw-Hill.
3. Heat transfer designs. (1983). Hand book.
4. Kovalenko L.M., Glushkov A.F. (1986). *Teploobmennyye s yntensyfykatsyei teplootdachy [Heat exchangers with heat transfer enhancement]*. Moscow: Enerhoatomyzdat [in Russian].
5. Anipko O.B. Ratsyonalnye teploobmennyye poverkhnosti [Rational heat exchange surfaces]. Kharkiv: KVVU [in Russian].
6. Ramesh K. Shah, Dusan P. Sekulic. (2003). *Fundamentals of heat exchanger design*. New York, John Wiley & Sons, Inc. P.972.
7. Anipko O.B., Klimov V.F., Mageramov L.K-A., & Kolbasov A.N. (2009). К вопросу об otsenke vliyaniya teplofyzicheskikh kharakterystyk teplonosytelia na teplootdachu [On the issue of assessing the influence of the thermophysical characteristics of the coolant on heat transfer]. *Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia – Integration technologies and energy saving*, 2, 14-16 [in Russian].
8. Anipko O.B., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.A. (2003). Eksperimentalnaya ustanovka dlya teplovyih i gidravlicheskih ispytaniy plastinchatyih teploobmennyyih apparatov [Experimental setup for thermal and hydraulic testing of plate heat exchangers]. *Trudy Odesskoy natsionalnoy akademii pischevyih tekhologiy – Proceedings of the Odessa National Academy of Food Technologies*, 25, 74-79 [in Russian].
9. Anipko O.B., Taranenko S.V. (2010) *Sudovyye energeticheskie ustanovki. Teplovyie i konstruktivnyie raschyoty dizeley [Ship power plants. Thermal and structural calculations of diesel engines]*. Sevastopol: Publishing house of AVMS named after P.S. Nakhimov, p.1 [in Russian].
10. Anipko O.B., Taranenko S.V. (2010) *Sudovyye energeticheskie ustanovki. Teplovyie i konstruktivnyie raschyoty dizeley [Ship power plants. Thermal and structural calculations of die-*

sel engines]. Sevastopol: Publishing house of AVMS named after P.S. Nakhimov, p.2 [in Russian].

Anipko O.B., Taranenko S.V., Golubieva S.M., Shablyi G.F. Criteria equations for the heat transfer coefficient in a plate heat exchanger

The article considers the issue of design calculation of a plate heat exchanger (PHE) and the determination of the heat transfer coefficient for the corresponding type of surface, taking into account the structural dimensions of the flow hydrodynamics and other specific factors. Plate heat exchangers are one of the most common types. Today, in the energy sector, utilities, industrial technology and transport, their share exceeds 30% of all installed heat exchange equipment.

On ships for various purposes, the share of heat exchange equipment included in the power plant, auxiliary equipment, ventilation and air conditioning systems, and others is significant in terms of weight and dimensions.

It is shown that the contribution of the degree of flow turbulence and the thermophysical properties of the coolant is the same. And this despite the fact that corrugation not only increases compactness, but also turbulizes the flow.

At the same time, the degree of flow turbulence and the influence of the thermophysical characteristics of the coolant are "clamped" in constant exponents at numbers Re and Pr. All this together leads to an unpredictable error in determining the heat transfer coefficient to an unreasonable increase in the calculated surface. Therefore, the task of reducing the weight and especially the dimensions of heat exchange equipment for transport in general and for ships in particular is of great practical importance.

Based on the generalization of experimental data, a new structure of the criterion equation for the heat transfer coefficient of corrugated plates of a plate heat exchanger has been developed, which makes it possible to determine the area of the heat exchange surface with predictable accuracy, taking into account specific design features, the degree of flow turbulence and the thermophysical properties of the coolant (Prandtl criterion). This structure is devoid of the above disadvantages.

The application of this criterion equation allows to reduce the so-called «margin» when calculating the heat exchange surface of a plate heat exchanger. This makes it possible to reduce the mass and volume of installed heat exchange equipment for transport in general and for ships in particular.

Keywords: *criteria equation, margin, plate heat exchanger, heat exchange surface.*

Аніпко О.Б. – д.т.н., професор, професор кафедри інженерно-авіаційного забезпечення Харківського університету повітряних сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, anipko_ob2022@gmail.com

Тараненко С.В. – к.т.н., доцент, завідувач кафедри електрообладнання та автоматики водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ, svtarsvni@ukr.net

Голубєва С.М. – старший викладач кафедри суднових енергетичних установок, допоміжних механізмів суден та їх експлуатації Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ, glbvnu@gmail.com

Шаблій Г.Ф. – держпідприємство «Держгідрографія», м. Київ.

Стаття подана 05.02.2023.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-277-1-31-37>

УДК 621.3.082.62:629.1.04

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ МОДУЛІ З РІЗНИМИ СПОСОБАМИ КОНТАКТНОГО З'ЄДНАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТЕРМОЕЛЕМЕНТІВ

Кириченко О.С.

THERMOELECTRIC MODULES WITH DIFFERENT METHODS OF CONTACT CONNECTION OF SEMICONDUCTOR THERMOELEMENTS

Kyrychenko O.S.

У статті проаналізовано термоелектричні модулі з різними способами контактної з'єднання напівпровідникових термоелектричних елементів. Наведено деякі основні області застосування термоелектричних модулів, наприклад, в загальнопромислових блоках та вузлах, загальнопромисловій і судновій енергетиці, на транспорті, у вимірювальній техніці, в медичній техніці і харчовій промисловості. Широта та специфіка застосування термоелектричних модулів зумовлюють необхідність подальших пошукових досліджень по підвищенню термоелектричних ефектів та зменшенню термічних напружень в них.

Створено тривимірні геометричні моделі двох термоелектричних модулів, в яких застосовано різні способи контактної з'єднання напівпровідникових термоелектричних елементів. При цьому термоелектричні елементи обох модулів представляли собою ланцюг з формою «П-подібної змійки». Термоелектричний модуль зі способом класичного з'єднання напівпровідникових термоелементів мав габаритні розміри 25,5×30×7 мм (без врахування товщини ізоляційного шару), а термоелектричний модуль зі способом короткого з'єднання мав габаритні розміри 35,5×42×9 мм (без врахування товщини ізоляційного шару). Кожен з двох розглянутих термоелектричних модулів складався з 39 напівпровідникових термоелектричних пар та містив 20 напівпровідників Р-типу, 20 напівпровідників N-типу і 41 мідну контактну комутаційну пластину.

На базі тривимірних геометричних моделей було створено розрахункові моделі, сам розрахунок проводився чисельним методом. В результаті розрахунку отримано розподіл основних робочих параметрів по моделям термоелектричних модулів при силі струму 2,5 А. Побудовано функціональні залежності для температури, джоулевого нагріву, густини теплового потоку, густини струму, напруги та напруженості електричного поля для моделей термо-

електричних модулів з різним контактним з'єднанням напівпровідникових термоелектричних елементів при зміні робочого струму в діапазоні від 0 до 2,5 А. Встановлено, що з'єднання напівпровідникових термоелектричних елементів способом короткого контактної з'єднання в ланцюг з формою «П-подібної змійки» для створення термоелектричного модуля призводить до утворення нерівномірності стаціонарного температурного поля на його гарячій стороні. При цьому температура в місцях «П-подібних поворотів змійки» знижується, а ефективність термоелектричного ефекту в таких термоелектричних модулях буде зменшеною.

Ключові слова: термоелектричні модулі, спосіб контактної з'єднання, напівпровідникові термоелементи, термоелектричний ефект.

Вступ. Пристрої з термоелектричними модулями знаходять своє використання в різних галузях промисловості та на транспорті [12, 13]. Основною характерною особливістю таких термоелектричних модулів є їхня висока надійність, максимальна ефективність та стабільність параметрів [1, 2, 14]. Також, вони можуть експлуатуватися в умовах високих температур і підвищеної вологості, за необхідності можуть швидко змінювати режим охолодження на термоелектричне нагрівання.

Розглянемо деякі основні області застосування термоелектричних модулів:

- загальнопромислові блоки та вузли;
- загальнопромислового та суднової енергетика;
- транспортні засоби;
- вимірювальна техніка;
- медична техніка;
- харчова промисловість.

В загальнопромислових блоках та вузлах термоелектричні модулі використовують в шафах і стійках з обладнанням; процесорах і швидкодіючих пристроях; складних оптичних приладах; лазерах.

На транспортних засобах термоелектричні модулі використовують для локального кондиціонування в кабінах транспортних засобів; для нагрівання/охолодження сидінь автомобілів і інших видів транспорту; в пристроях опріснення води [12, 13]; в холодильниках і охолоджувачах їжі та напоїв.

В технологічному устаткуванні термоелектричні модулі застосовують для рідинного охолодження і прецизійної термостабілізації робочих зон технологічних ліній з виробництва мікросхем, дисплеїв та ін.; прецизійного підтримання робочих температур у технологічних ваннах (гальванічних, травлення, промивання та ін.); в термокамерах для випробування електронних компонентів та вузлів на вплив кліматичних, у тому числі циклічних впливів; в пристроях для закріплення деталей для прецизійної механічної обробки за допомогою локального заморожування.

У вимірювальній техніці для осушення проб газу в газоаналізаторах; для температурної стабілізації стандартів «чорного тіла»; в датчиках точки роси; у вимірювачах теплових потоків і температури.

Необхідно зазначити, що окрім перелічених є і інші важливі області та сфери застосування термоелектричних модулів.

Широта та специфіка застосування термоелектричних модулів зумовлюють необхідність подальших пошукових досліджень по підвищенню ефективності термоелектричних ефектів. Крім того, наприклад, під час експлуатації транспортного термоелектричного обладнання в ньому можуть виникати термічні напруження внаслідок одночасного теплового розширення та холодного стиснення електротехнічних матеріалів термоелектричних модулів. Особливості моделювання стаціонарних температурних полів електричного обладнання розглянуто в [3], а питання термічних напружень проаналізовано в [4, 12, 13].

У зв'язку з цим виникає завдання проаналізувати термоелектричні модулі з різними способами контактного з'єднання його напівпровідникових термоелектричних елементів щодо ефективності термоелектричного ефекту та термічних напружень.

Основний матеріал. Дослідження термоелектричних пристроїв в конкретного випадку

зручно провести з використанням аналітичних або чисельних методів розрахунку. ТермоЕРС термоелектричного елемента можна представити наступним математичним виразом [1, 2]:

$$E = \int_{T_2}^{T_1} (\alpha_1(T) - \alpha_2(T)) dT, \quad (1)$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти термоЕРС першого та другого матеріалів термоелектричного елемента відповідно;

T_1, T_2 – температури гарячої і холодної комутаційних пластин відповідно.

Математично тепловий потік через холодний спай термоелектричного елемента спрощено можна описати виразом [1, 2]:

$$Q_0 = (\alpha_1 - \alpha_2) T_0 I - \frac{1}{2} I^2 l \left(\frac{1}{\sigma_1 s_1} + \frac{1}{\sigma_2 s_2} \right) - \frac{T_1 - T_0}{l} (x_1 s_1 + x_2 s_2), \quad (2)$$

а через гарячий спай

$$Q_w = (\alpha_1 - \alpha_2) T_1 I + \frac{1}{2} I^2 l \left(\frac{1}{\sigma_1 s_1} + \frac{1}{\sigma_2 s_2} \right) - \frac{T_1 - T_0}{l} (x_1 s_1 + x_2 s_2). \quad (3)$$

В даному дослідженні було створено тривимірні геометричні моделі двох термоелектричних модулів (рис. 1), в яких застосовано різні способи контактного з'єднання напівпровідникових термоелектричних елементів. При цьому термоелектричні елементи обох модулів представляли собою ланцюг з формою «П-подібної змійки».

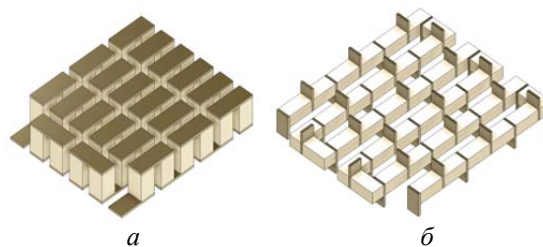


Рис. 1. Геометричні моделі термоелектричних модулів з різним контактним з'єднанням напівпровідникових термоелементів:
а – спосіб класичного з'єднання;
б – спосіб короткого з'єднання

Термоелектричний модуль з класичним способом з'єднання напівпровідникових елементів на рис. 1, а мав габаритні розміри 25,5×30×7 мм (без врахування товщини ізоляційного шару), складався з 39 напівпровідникових термоелектричних пар та містив 20 напівп-

ровідників P -типу, 20 напівпровідників N -типу і 41 мідну контактну комутаційну пластину. Іноді термоелектричні елементи з'єднуються в термоелектричний модуль таким чином, що робочий струм проходить по ним не змінюючи свого напрямку (рис. 1, б). Комутаційні пластини, що слугують ребрами, виводяться на різні сторони для гарячих і холодних спаїв відповідно. Подібна схема дозволяє зменшувати втрати від виділення тепла в контактних комутаційних пластинках, оскільки довжина струму в цьому випадку буде мінімальною. Термічні напруження виникнуть, що виникають від різного розширення гарячої та стискання холодної сторони термоелектричного модуля, які бувають досить значними при класичному контактному з'єднанні термоелектричних елементів (рис. 1, а), в цьому випадку відсутні. Термоелектричний модуль з коротким способом з'єднання напівпровідникових елементів на рис. 1, б мав габаритні розміри $35,5 \times 42 \times 9$ мм (без врахування товщини ізоляційного шару), проте також складався з 39 напівпровідникових термоелектричних пар та містив 20 напівпровідників P -типу, 20 напівпровідників N -типу і 41 мідну контактну комутаційну пластину.

В двох термоелектричних модулях, що розглядались, напівпровідники обох типів геометрично представляли собою паралелепіпеди $3 \times 3 \times 6$ мм (рис. 1). Контактні комутаційні пластини в двох термоелектричних модулях, також, геометрично були паралелепіпедами, проте різного розміру: $3 \times 0,5 \times 7,5$ мм (рис. 1, а) і $3 \times 0,5 \times 6$ мм (рис. 1, б). Розрахункові моделі двох термоелектричних модулів показано на рис. 2. Розмір сітки кожної розрахункової моделі повинен бути достатнім для забезпечення потрібної точності чисельного розрахунку, проте одночасно збалансованим щодо його тривалості [5]. Тому розрахункові моделі, наприклад, як моделі на рис. 2, можуть налічувати десятки тисяч вузлів і декілька тисяч кінцевих елементів.

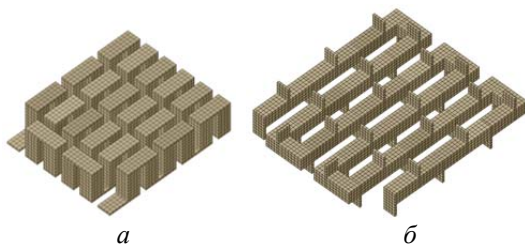


Рис. 2. Розрахункові моделі термоелектричних модулів з різним контактним з'єднанням напівпровідникових термоелементів:
а – спосіб класичного з'єднання;
б – спосіб короткого з'єднання

Розрахунок проводився за наступних фізичних властивостей електротехнічних матеріалів [11], задіяних в ньому. Мідні контактні комутаційні пластини: ізотропний питомий опір $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; ізотропна теплопровідність $k = 400$ Вт/(м·°С); ізотропний січний коефіцієнт теплового розширення $\alpha = 1,8 \cdot 10^{-5}$ 1/°С; модуль Юнга $E_{\text{Young's}} = 1,2 \cdot 10^{11}$ Па; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,38$. Напівпровідники P -типу: ізотропний питомий опір $\rho = 9,8 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; ізотропний термоелектричний коефіцієнт $S_P = 2,1 \cdot 10^{-4}$ В/°С; ізотропна теплопровідність $k = 1,2$ Вт/(м·°С); ізотропний січний коефіцієнт теплового розширення $\alpha = 2,6 \cdot 10^{-6}$ 1/°С; модуль Юнга $E_{\text{Young's}} = 8 \cdot 10^{10}$ Па; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,28$. Напівпровідники N -типу: ізотропний питомий опір $\rho = 1,1 \cdot 10^{-5}$ Ом·м; ізотропний термоелектричний коефіцієнт $S_N = -1,7 \cdot 10^{-4}$ В/°С; ізотропна теплопровідність $k = 1,2$ Вт/(м·°С); ізотропний січний коефіцієнт теплового розширення $\alpha = 2,6 \cdot 10^{-6}$ 1/°С; модуль Юнга $E_{\text{Young's}} = 8 \cdot 10^{10}$ Па; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,28$.

Граничні умови розрахунку було прийнято наступними: нульовий електричний потенціал $\phi_0 = 0$ В на крайній торцевій поверхні контактної комутаційної пластини, останньої в термоелектричному ланцюзі; нульова початкова температура $t_0 = 0$ °С на всіх нижніх поверхнях холодних контактних комутаційних пластин; зовнішні поверхні термоелектричних модулів вважались адіабатично теплоізованими; крайні торцеві поверхні першої і останньої комутаційної пластини прийнято нерухомими; всі електротехнічні матеріали вважались ізотропними.

На основі розрахункових моделей термоелектричних модулів отримано розподіл основних робочих параметрів та їх функціональні залежності при різних варіаціях робочого струму I .

Результати досліджень. Результати розрахунку представлено у вигляді картин розподілу деяких основних робочих параметрів на рис. 3-4 і функціональними залежностями на рис. 5-6.

За деякими даними вважається, що при короткому контактному комутаційному з'єднанні термоелектричних елементів наявні значні втрати від перетікання тепла з гарячої сторони на холодну сторону термоелектричного модуля по теплоізоляції навколо термоелектричних елементів. Також, більш довгий шлях для теплового потоку уздовж контактної комутаційної пластини, при меншому поперечному перерізі для однакових комутаційних пластин призводить до підвищеного перепаду температур в

порівнянні зі звичайною схемою при класичному контактному з'єднанні термоелектричних елементів.

На рис. 3 зображено картини розподілу стаціонарного температурного поля t та джоулевого нагріву J , а на рис. 4 наведено картини розподілу еквівалентного стресу σ та величини деформацій ϵ .

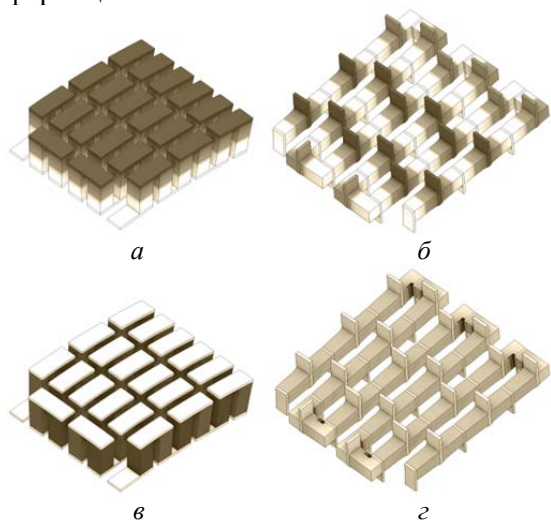


Рис. 3. Результати розподілу стаціонарного температурного поля t [°C] (а, б) та джоулевого нагріву J [Вт/м³] (в, г) по моделям термоелектричних модулів з різним контактним з'єднанням напівпровідникових термоелементів при амперажі $I=2,5$ А: а, в – спосіб класичного з'єднання, t [0; 111,7], J [0; 8,2·10³]; б, г – спосіб короткого з'єднання, t [0; 113,1], J [0; 2,3·10⁶]

В роботах [6, 7] було показано, що обидва способи контактного з'єднання напівпровідникових термоелектричних елементів дають однакову ефективність термоелектричного ефекту Пельтьє у випадку прямих ланцюгів (без поворотів). Проте при утворенні термоелектричного модуля з термоелектричних елементів з коротким способом контактного з'єднання термоелектричних елементів у ланцюг з формою «П-подібної змійки» стаціонарне температурне поле стає нерівномірно розподіленим.

Температура t , джоулевий нагрів J , густина теплового потоку q , густина струму j , напруга U та напруженість E електричного поля в обох термоелектричних модулях (рис. 5) зростають прямо пропорційно збільшенню сили робочого струму I в досліджуваному діапазоні від 0 до 2,5 А. Стаціонарне температурне поле для термоелектричного модуля зі способом звичайного класичного з'єднання його напівпровідникових термоелектричних елементів є рівномірним (крива 1 на рис. 5, а).

В термоелектричному модулі зі способом короткого з'єднання напівпровідникових термомпар стаціонарне температурне поле втрачає рівномірність, а значення температур в різних місцях модуля стають різними (криві 2-4 на рис. 5, а). На більшості гарячих контактних комутаційних пластин в термоелектричному ланцюзі з формою «П-подібної змійки» температура практично така сама (крива 2 на рис. 5, а), як і в попередньому модулі. Проте на гарячих контактних комутаційних пластинах в місцях поворотів ланцюга з формою «П-подібної змійки» температура зменшилась (криві 3 і 4 на рис. 5, а відповідно для двох і шести гарячих пластин, розташованих ліворуч і праворуч на даному рисунку).

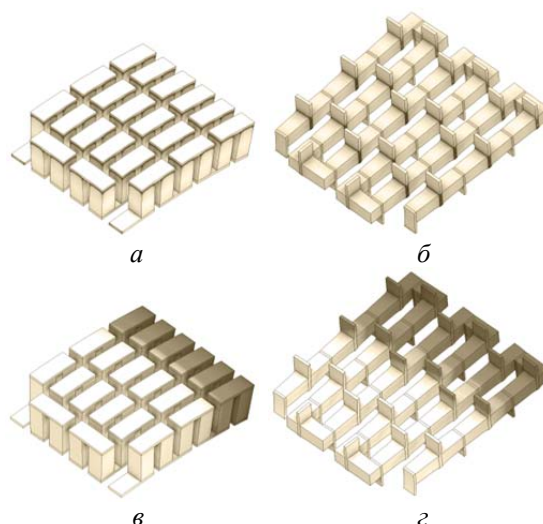


Рис. 4. Результати розподілу еквівалентного стресу σ [Па] (а, б) та величини деформацій ϵ [м] (в, г) по моделям термоелектричних модулів з різним контактним з'єднанням напівпровідникових термоелементів при амперажі $I=2,5$ А: а, в – спосіб класичного з'єднання, σ [2,1·10⁵; 1,6·10⁸], ϵ [0; 2,1·10⁻⁴]; б, г – спосіб короткого з'єднання, σ [1,2·10⁵; 2,4·10⁸], ϵ [0; 2,4·10⁻³]

Джоулевий нагрів J в досліджуваному діапазоні робочого струму I від 0 до 2,5 А менший в термоелектричному модулі зі способом звичайного класичного з'єднання його напівпровідникових термоелектричних елементів (рис. 5, б). Густина теплового потоку q , густина струму j та напруженість E електричного поля в розглядуваному діапазоні струмів, також, менші при такому класичному з'єднанні (рис. 5, в-г). Електрична напруга U в термоелектричному модулі зі способом звичайного класичного з'єднання його напівпровідникових термоелектричних елементів при зростанні струму I , навпаки, стає дещо більшою (рис. 5, д).

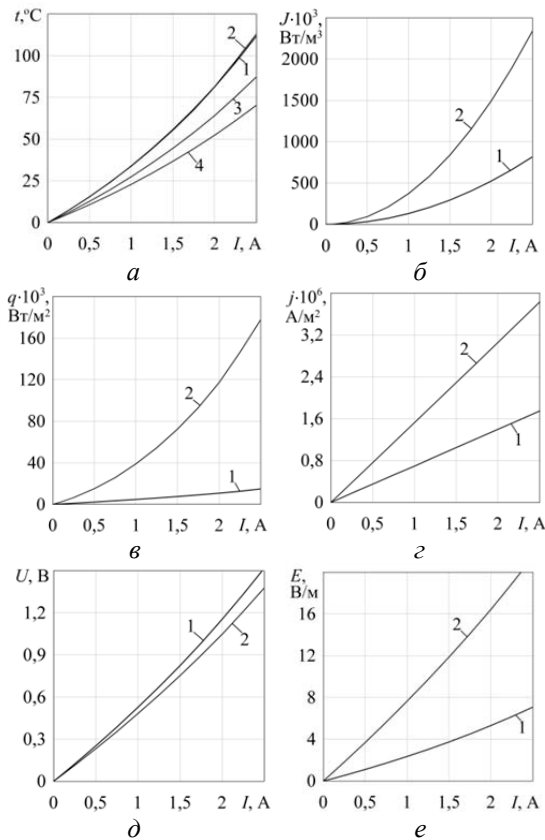


Рис. 5. Функціональні залежності $t(I)$, $J(I)$, $q(I)$, $j(I)$, $U(I)$, $E(I)$ температури t (а), джоулевого нагріву J (б), густини теплового потоку q (в), густини струму j (г), напруги U (д) та напруженості E (е) електричного поля для моделей термоелектричних модулів з різним контактним з'єднанням напівпровідникових термоелементів при різному амперажі I :
 1 – спосіб класичного з'єднання;
 2, 3, 4 – спосіб короткого з'єднання

Функціональні залежності $\sigma(I)$, $\epsilon(I)$ еквівалентного стресу σ та величини деформацій ϵ для напівпровідників термоелектричних модулів з різним контактним з'єднанням напівпровідникових термоелементів при зміні робочого струму I від 0 до 2,5 А наведено на рис. 6.

Еквівалентний стрес σ при зміні робочого струму I від 0 до 2,5 А в напівпровідникових термоелектричних елементах при їх короткому способі контактного з'єднання (рис. 6, а) дещо нижчий ніж в напівпровідникових термоелектричних елементах зі звичайним класичним способом їх з'єднання. Також, виявлено екстремальну точку біля значення сили струму 1,25 А, після якої еквівалентний стрес σ в обох термоелектричних модулях стрімко зростає. Деформація ϵ при зміні робочого струму I від 0 до 2,5 А в напівпровідникових термоелектричних елементах при різних способах їх контактного з'єднання відбувається по різному. Для модуля

зі способом класичного контактного з'єднання його напівпровідникових термоелектричних елементів деформація ϵ стрімко зростає прямо пропорційно збільшенню сили робочого струму I . В той же час, для модуля з коротким способом контактного з'єднання його напівпровідникових термоелементів деформація ϵ в досліджуваному діапазоні амперажу повільно знижується до значення сили струму 1 А, після цього вона починає повільно зростати.

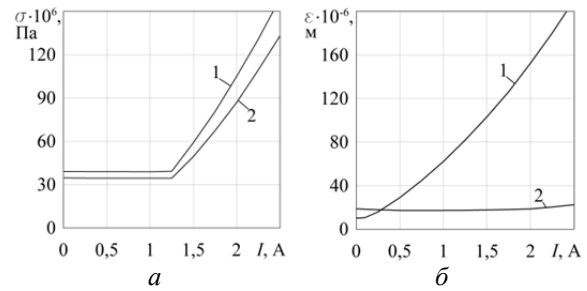


Рис. 6. Функціональні залежності $\sigma(I)$, $\epsilon(I)$ еквівалентного стресу σ (а) та величини деформацій ϵ (б) для напівпровідників термоелектричних модулів з різним контактним з'єднанням напівпровідникових термоелементів при різному амперажі I :
 1 – спосіб класичного з'єднання;
 2 – спосіб короткого з'єднання

Також, для читача можуть представляти науковий і академічний інтерес робота [9] та результати подібних розрахунків інших конструкцій термоелектричних модулів, викладених в [8, 10].

Висновки. Проаналізовано два термоелектричні модулі при способах класичного та короткого контактного з'єднання їх напівпровідникових термоелектричних елементів. Встановлено, що з'єднання напівпровідникових термоелектричних елементів способом короткого контактного з'єднання в ланцюг з формою «П-подібної змійки» для створення термоелектричного модуля призводить до утворення нерівномірності стаціонарного температурного поля на його гарячій стороні. При цьому температура t в місцях «П-подібних поворотів змійки» знижується, а ефективність термоелектричного ефекту в таких термоелектричних модулях буде зменшеною.

Л і т е р а т у р а

1. Анатычук Л.И. Термоэлектрические преобразователи энергии. Термоэлементы. Элементная база термоэлектричества. Т. 2.: монография / ред. Л.Н. Вихор, О.Я. Лусте. Киев-Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. 376 с.

2. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник. К.: Наукова думка, 1979. 768 с.
3. Тараненко С.В., Кириченко О.С., Колесник В.В., Костюченко В.І., Приступа С.В., Пастух О.В., Голубєва С.М. Моделювання стаціонарного теплового поля струмопровідних шин суднових ГРЩ. Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. К.: ДУІТ, 2021. – Випуск 3 (34). – С. 13-21.
4. Тараненко С.В., Кириченко О.С., Колесник В.В., Приступа С.В., Пастух О.В. Термоелектричний елемент з компенсованою комутаційною пластиною для установок і пристроїв суднової енергетики. Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Дніпровські читання-2021». К.: вид-во Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного ДУІТ. 2021. С. 88-92.
5. Карвацький А.Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Програмна реалізація та візуалізація результатів. К.: НТУУ «КПІ», 2015. 391 с.
6. Кириченко О.С. Термоелектричні модулі з різним типом комутаційного з'єднання напівпровідникових термопар. Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції "Modern methods of applying scientific theories". Лісабон: ISG, 2023. С. 459-462. DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.10>
7. Кириченко О.С. Температурні режими термоелектричних ланцюгів з напівпровідниками класичних форм при різному комутаційному з'єднанні. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Actual issues of the development of science and ensuring the quality of education". Флоренція: ISG, 2023. С. 395-398. DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.12>
8. Кириченко О.С. Порівняльний аналіз характеристик термоелектричних модулів з різними геометричними формами напівпровідників для електрообладнання транспорту. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – Київ: ТНУ ім. В.І. Вернадського, 2023. Том 34 (73). № 1. – С. 256-263. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/39>
9. Кириченко О.С. Критерії формування готовності до професійної діяльності інженерів на основі 3D-моделювання. Освітологічний дискурс: наукове електронне видання. Київ. 2017. № 3-4 (18-19). С. 296-308.
10. Кириченко О.С., Білюк І.С., Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Гаврилов С.О., Бугрім Л.І. Чисельне тримірне моделювання термоелектричного охолоджувача вимірювального електроустаткування автоматичних систем. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. К.: ТНУ ім. В.І. Вернадського, 2018. Том 29 (68). Ч.1. №6. С. 58-63.
11. Леонтьєв В.О., Бєвз С.В., Видмиш В.А. Електротехнічні матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2013. 122 с.
12. Манасян Ю.Г. Судовые термоэлектрические устройства. Л.: Судостроение, 1968. 283 с.
13. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture: collective monograph / Hladyshev D., Hnat H. – etc. – International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2023. – 464 r. Available at: DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.1
14. H. Julian Goldsmid. Introduction to Thermoelectricity. Second Edition / H. Julian Goldsmid. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, 2016. – 278 p. DOI: 10.1007/978-3-662-49256-7

References

1. Anatyichuk L.I. Termoelektricheskie preobrazovateli energii. Termoelementyi. Elementnaya baza termoelektrichestva. T. 2.: monografiya / red. L.N. Vihor, O.Ya. Luste. Kiev-Chernovtsy: Institut termoelektrichestva, 2003. 376 s.
2. Anatyichuk L.I. Termoelementyi i termoelektricheskie ustroystva: Spravochnik. K.: Naukova dumka, 1979. 768 s.
3. Taranenko S.V., Kyrychenko O.S., Kolesnyk V.V., Kostiuhenko V.I., Pristupa S.V., Pastukh O.V., Holubieva S.M. Modeliuvannia statsionarnoho teplovoho polia strumoprovodnykh shyn sudnovykh HRSshch. Vodnyi transport. Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnologii. K.: DUIT, 2021. – Vypusk 3 (34). – S. 13-21.
4. Taranenko S.V., Kyrychenko O.S., Kolesnyk V.V., Pristupa S.V., Pastukh O.V. Termoelektrychni element z kompensovanoi komutatsiinoiu plastynoiu dlia ustanovok i prystroiv sudnovoї enerhetyky. Materialy II mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Dniprovskii chytannia-2021». K.: vyd-vo Kyivskoho instytutu vodnoho transportu imeni hetmana Petra Konashevycha-Sahaidachnoho DUIT. 2021. S. 88-92.
5. Karvatskyi A.Ia. Metod skinchennykh elementiv u zadachakh mekhaniky sutsilnykh seredovyshch. Prohramna realizatsiia ta vizualizatsiia rezultativ. K.: NTUU «KPI», 2015. 391 s.
6. Kyrychenko O.S. Termoelektrychni moduli z ryznym typtom komutatsiinoho ziednannia napivprovodnykovykh termopar. Materialy X Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Modern methods of applying scientific theories". Lisabon: ISG, 2023. S. 459-462. DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.10>
7. Kyrychenko O.S. Temperaturni rezhymy termoelektrychnykh lantsiuhiv z napivprovodnykamy klasychnykh form pry

- riznomu komutatsiinomu ziednanni. Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Actual issues of the development of science and ensuring the quality of education". Florentsiia: ISG, 2023. S. 395-398. DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.12>
8. Kyrychenko O.S. Porivnialnyi analiz kharakterystyk termoelektrychnykh moduliv z riznyimi heometrychnymi formamy napivprovodnykiv dlia elektroobladnannia transportu. Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky. – Kyiv: TNU im. V.I. Vernadskoho, 2023. Tom 34 (73). № 1. – S. 256-263. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/39>
 10. Kyrychenko O.S. Kryterii formuvannia hotovnosti do profesiinoi diialnosti inzheneriv na osnovi 3D-modeliuвання. Osvitolohichni dyskurs: naukove elektronne vydannia. Kyiv. 2017. № 3-4 (18-19). S. 296-308.
 11. Kyrychenko O.S., Biliuk I.S., Shareiko D.Iu., Fomenko A.M., Havrylov S.O., Buhrim L.I. Chyselne trymirne modeliuвання termoelektrychnoho okholodzhuvacha vymiriuvalnoho elektroustatkuvannia avtomatychnykh system. Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky. K.: TNU im. V.I. Vernadskoho, 2018. Tom 29 (68). Ch.1. №6. S. 58-63.
 12. Leontiev V.O., Bevz S.V., Vydmysh V.A. Elektrotekhnichni materialy. Vinnytsia: VNTU, 2013. 122 s.
 13. Manasyan Yu.G. Sudovyye termoelektricheskie ustroystva. L.: Sudostroenie, 1968. 283 s.
 14. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture: collective monograph / Hladysh D., Hnat H. – etc. – International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2023. – 464 r. Available at: DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.1
 15. H. Julian Goldsmid. Introduction to Thermoelectricity. Second Edition / H. Julian Goldsmid. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, 2016. – 278 p. DOI: 10.1007/978-3-662-49256-7

Kyrychenko O.S. Thermoelectric modules with different methods of contact connection of semiconductor thermoelements

The article analyzes thermoelectric modules with various methods of contact connection of semiconductor thermoelectric elements. Some main areas of applica-

tion of thermoelectric modules are given, for example, in general industrial blocks and units, general industrial power engineering and ship power engineering, in transport, in measuring equipment, in medical engineering and food industry. The breadth and specifics of the use of thermoelectric modules necessitate further exploratory research to improve thermoelectric effects and reduce thermal stresses in them.

Three-dimensional geometric models of two thermoelectric modules were created, in which different methods of contact connection of semiconductor thermoelectric elements were applied. At the same time, the thermoelectric elements of both modules represented a chain with the shape of a "II-shaped snake". The thermoelectric module with the method of classical connection of semiconductor thermoelements had dimensions of 25.5×30×7 mm (excluding the thickness of the isolation layer), and the thermoelectric module with the method of short connection had dimensions of 35.5×42×9 mm (excluding the thickness of the isolation layer). Each of the two considered thermoelectric modules consisted of 39 semiconductor thermoelectric pairs and contained 20 P-type semiconductors, 20 N-type semiconductors and 41 copper contact connection plates.

On the basis of three-dimensional geometric models, calculation models were created, the calculation itself was carried out using a numerical method. As a result of the calculation, the distribution of the main operating parameters for thermoelectric module models at 2.5 A current was obtained. Functional dependences for temperature, Joule heating, heat flux density, current density, voltage and electric field strength were constructed for thermoelectric module models with different contact by the connection of semiconductor thermoelectric elements when the operating current changes in the range from 0 to 2.5 A. It has been established that the connection of semiconductor thermoelectric elements by the method of short contact into a chain with the shape of a "II-shaped snake" to create a thermoelectric module leads to the formation of irregularities in the stationary temperature field on its hot side. At the same time, the temperature in the places of "II-shaped turns of the snake" decreases, and the efficiency of the thermoelectric effect in such thermoelectric modules will be reduced.

Keywords: *thermoelectric modules, method of contact connection, semiconductor thermoelements, thermoelectric effect.*

Кириченко О.С. – к.т.н., доцент кафедри електрообладнання та автоматики водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ, oskyrychenko@gmail.com

Стаття подана 05.02.2023.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-277-1-38-42>

УДК 62-83

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ У КООРДИНАТНІЙ СИСТЕМІ, ОСІ ЯКОЇ "КОЛИВАЮТЬСЯ" У ПРОСТОРІ

Руднєв Є.С., Романченко Ю.А., Яцуміра А.А., Мелконова І.В.

MATHEMATICAL MODEL OF THE ASYNCHRONOUS MACHINE IN THE COORDINATE SYSTEM WHERE THE AXES "OSCILLATE" IN SPACE

Rudniev Y.S., Romanchenko J.A., Yatsumira A.A., Melkonova I.V.

В статті представлений аналіз математичної моделі асинхронної машини у координатній системі, осі якої "коливаються" у просторі. Показано, що диференціальні рівняння, які описують процеси у реальній трифазній асинхронній машині, містять періодичні коефіцієнти. Останні ускладнюють рішення таких рівнянь і вимагають пошук підходів, що дозволяють одержати рівняння зі сталими коефіцієнтами.

Показано, що у повністю керованій асинхронній машині регульованими і незалежними параметрами є і величина, і фаза додаткової електрорушійної сили, а у асинхронно вентильному каскаді, який може розглядатися як машина подвійного живлення з обмеженими можливостями керування, незалежним параметром є тільки величина вектора додаткової електрорушійної сили, а його фаза детермінована: проти-е.р.с., що вводиться у коло випрямленого струму ротора, завжди знаходиться у протифазі з вектором струму ротора.

Встановлено, що вирішення задачі спрощується введенням нової координатної системи, у якій осі обертаються у просторі не зі сталою швидкістю, а зі змінною, що є певною функцією часу. Суть перетворень, пов'язаних з переходом до нової системи координат полягає в знаходженні такої функції, що дозволяє у площині цих координат умовно розглядати нерухомим той вектор, параметри якого є визначальними для даної системи. Знаходять її, виходячи з умови, щоб позитивний напрямок дійсної осі системи завжди співпадав з вектором, по відношенню до якого розглядається стан асинхронної машини.

Наведено диференціальні рівняння машини подвійного живлення в осях "g-i" у векторній формі. Показано, що ці рівняння справедливі як для двигуна з короткозамкненим ротором, так і для будь-якої системи асинхронного електропривода, регулювання швидко-

сті якого реалізується через введення додаткової е.р.с. у роторне коло.

Виведено рівняння початкової кутової швидкості векторів струмів та потокозчеплень у просторі відносно нерухомого статора при нульових початкових умовах незалежно від ковзання ротора для асинхронної машини з короткозамкненим ротором. Наведені перехідні процеси пуску асинхронної машини з короткозамкненим ротором.

Ключові слова: асинхронна машина, електрорушійна сила, ротор, статор, вектор струму, координатна система, короткозамкнений ротор.

Вступ. Диференціальні рівняння, що описують процеси у реальній трифазній асинхронній машині (АМ), містять періодичні коефіцієнти [1]. Останні ускладнюють рішення таких рівнянь і вимагають пошук підходів, що дозволяють одержати рівняння зі сталими коефіцієнтами. Один з таких напрямків – це заміна змінних, тобто введення перетворених координат АМ. Якщо періодичні коефіцієнти зникають, то це означає, що ротор "нової" АМ нерухомий відносно статора, оскільки періодичність пов'язана як раз з обертанням ротора.

Цей підхід найбільш ефективний при аналізі процесів у випадку живлення машини як зі сторони статора, так і ротора (машина подвійного живлення, асинхронний вентильний каскад). Але він може бути використаний і для інших схем вмикання, наприклад, для АМ з короткозамкненим ротором (к.з.р.). Для цього достатньо прийняти напругу, що підводиться до роторних обмоток, рівною нулю.

Мета статті. Представлення та аналіз математичної моделі асинхронної машини у координатній системі, осі якої "коливаються" у просторі.

Результати дослідження. Якщо у повністю керованій асинхронній машині регульованими і незалежними параметрами є і величина, і фаза додаткової електрорушійної сили (е.р.с.), то у асинхронно вентильному каскаді (АВК), який може розглядатися як машина подвійного живлення з обмеженими можливостями керування, незалежним параметром є тільки величина вектора додаткової е.р.с. u_2 , в той час, як його фаза детермінована: проти-е.р.с. e_d , що вводиться у коло випрямленого струму ротора, завжди знаходиться у протифазі з вектором струму ротора [2].

Коли вектор струму \vec{i}_2 змінюється за фазою, що має місце як при змінній швидкості, так і при змінній навантаженні, вектор \vec{u}_2 повертається, слідкуючи за вектором \vec{i}_2 . Таким чином, у цих випадках спостерігається функціональна залежність фази додаткової е.р.с. не тільки від ковзання, але і від амплітуди струму ротора. Наявність такої залежності суттєво ускладнює математичний опис перехідних процесів.

Вирішення задачі спрощується введенням нової координатної системи, у якій осі обертаються у просторі не зі сталою швидкістю, а зі змінною, що є певною функцією часу. Суть перетворень, пов'язаних з переходом до нової системи координат полягає в знаходженні такої функції $\omega_\alpha = f(t)$, що дозволяє у площині цих координат умовно розглядати нерухомим той вектор, параметри якого є визначальними для даної системи. Онищенко Г.Б. та Локтева І.Л. [2] пропонують знаходити її, виходячи з умови, щоб позитивний напрямок дійсної осі системи завжди співпадав з вектором, по відношенню до якого розглядається стан АМ. В такому випадку осі координат повинні здійснювати два рухи: обертовий зі швидкістю ω_{0e} і складний з кутовою швидкістю $d\delta/dt$ відносно синхронної системи. Таку координатну систему вони пропонують називати системою ортогональних координат ("g – i"), що коливаються у просторі.

Відносно нерухомих обмоток статора, швидкість ω_g осей "g–i" дорівнює:

$$\omega_g = \omega_{0e} - d\delta / dt, \quad (1)$$

а відносно ротора

$$\omega_{gs} = \omega_{0e}s - d\delta / dt, \quad (2)$$

де δ – кут між вектором первинної напруги \vec{u}_1 , що обертається з синхронною швидкістю ω_{0e} , та вектором змінної, напрямок якого прийнято за напрямок осі g.

Зв'язок між змінними x в нерухомій системі координат α – β та перетворених у коливальній системі "g–i" такий:

$$\left. \begin{aligned} x_\alpha &= x_g \cos(\omega_{0e} - \delta); \\ x_\beta &= x_g \sin(\omega_{0e} - \delta), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де $\delta = f(x_g, t)$.

Зауважимо, що вектор, за яким орієнтується система, цілком проєктується на вісь g, тому $x_g = |x|$. Тож проєкція опорного вектора на вісь і: $x_i = 0$, тому в (3) складові від проєкцій x_i на осі "α–β" відсутні.

Тоді диференційні рівняння машини подвійного живлення в осях "g–i", у векторній формі будуть мати вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \vec{u}_1 &= \frac{d\vec{\Psi}_1}{dt} + j\omega_g \vec{\Psi}_1 + \vec{i}_1 r_s; \\ \vec{u}_2 &= \frac{d\vec{\Psi}_2}{dt} + j\omega_{gs} \vec{\Psi}_2 + \vec{i}_2 r_r; \\ M &= \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} \text{Im}(\vec{\Psi}_1 \cdot \vec{\Psi}_2^*), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де L_s, L_r, L_m – власні індуктивності обмоток статора, ротора та намагнічувального контуру АМ відповідно.

I_m означає уявну частину від добутку векторів первинного $\vec{\Psi}_1$ (статора) та сполучного вторинного $\vec{\Psi}_2^*$ (ротора) поточкозчеплень відповідно.

Ці рівняння справедливі як для двигуна з к.з.р. ($\vec{u}_2 = 0$), так і для будь-якої системи асинхронного електропривода, регулювання швидкості якого реалізується через введення додаткової е.р.с. у роторне коло.

Для АВК визначальним є вектор струму ротора \vec{i}_2 , тому його поєднують з віссю g. Тоді δ буде кутом між вектором \vec{i}_2 та вектором $-\vec{u}_1$. Тому:

$$\begin{aligned}\bar{u}_2 &= -|\bar{u}_2| e^{-j0} = \left(E_g + L_d \frac{d|\bar{i}_2|}{dt} \right) e^{-j0}; \\ \bar{i}_2 &= i_{g2} = i_2; \\ \bar{u}_1 &= U_{m1} e^{-j(\pi-\delta)},\end{aligned}\quad (5)$$

де L_d – величина індуктивності кола випрямленого струму ротора.

Тоді (4) можна подати так [3]:

$$\begin{aligned}\bar{u}_1 &= L_s \frac{d\bar{i}_1}{dt} + L_m \frac{d\bar{i}_2}{dt} + j\omega_g L_s \bar{i}_1 + j\omega_g L_m \bar{i}_2 + r_s \bar{i}_1; \\ - \left(E_g + L_d \frac{d\bar{i}_2}{dt} \right) &= L_r \frac{d\bar{i}_2}{dt} + L_m \frac{d\bar{i}_1}{dt} + j\omega_{gs} L_r \bar{i}_2 + \\ &+ j\omega_{gs} L_m \bar{i}_1 + r_r \bar{i}_2; \\ M_e &= \frac{3}{2} p_n L_m \operatorname{Im}(\bar{i}_1 \cdot \bar{i}_2^*),\end{aligned}\quad (6)$$

Рішення відносно \bar{i}_2 має вигляд:

$$\begin{aligned}j \frac{d^2 \bar{i}_2}{dt^2} \sigma_1 + \frac{d\bar{i}_2}{dt} \left[\sigma_1 (\omega_g + \omega_{gs}) + j(k_1 + k_2) \right] + \\ + \bar{i}_2 \left\{ \left[-\sigma_1 \frac{d\omega_g}{dt} + k_1 \omega_g + k_2 \omega_{gs} \right] + j \left[k_2 - \sigma_1 \omega_g \omega_{gs} \right] \right\} + \\ + \bar{u}_2 \left[-k_4 \omega_g - jk_5 \right] - jk_4 \frac{d\bar{u}_1}{dt} + U_{1m} s (-\cos \delta + j \sin \delta) = 0,\end{aligned}\quad (7)$$

$$\begin{aligned}\text{де } \sigma_1 &= \frac{L_s L_r - L_m^2}{\omega_{0e} L_m}; \quad k_1 = \frac{L_s r_r}{\omega_{0e} L_m}; \quad k_2 = \frac{L_r r_s}{\omega_{0e} L_m}; \\ k_3 &= \frac{r_s r_r}{\omega_{0e} L_m}; \quad k_4 = \frac{L_s}{\omega_{0e} L_m}; \quad k_5 = \frac{r_s}{\omega_{0e} L_m}.\end{aligned}$$

Швидкість обертання вектора струму $d\delta/dt$ відносно вектора напруги \bar{u}_1 , а значить ω_g і ω_{gs} , у початковий момент часу можуть бути знайдені з (7):

$$\left. \frac{d\delta}{dt} \right|_{t=0} = \frac{L_m f_1 - L_s f_2}{\sigma i_2(0)},\quad (8)$$

$$\begin{aligned}\text{де } f_1 &= -U_{m1} \sin \delta(0) - L_s \omega_{0e} i_1(0) - L_m \omega_{0e} i_2(0) - r_s i_1(0); \\ f_2 &= -[L_m i_1(0) + L_r i_2(0)] \omega_{0e} s.\end{aligned}$$

При нульових початкових умовах з (6) маємо, що у початковий момент часу узагальнені вектори магнітного потоку в зазорі АМ, а також потокозчеплень статора і ротора направлені по осі "g" координатної системи "g-i" (або протилежні осі "g"), швидкість же їх обертання при $t = 0$ дорівнює швидкості вектора струму ротора [4-6].

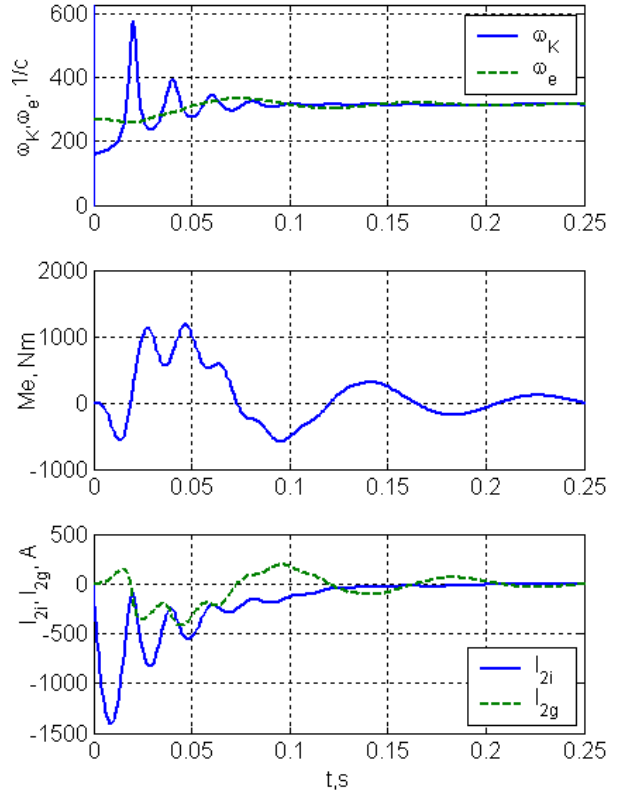


Рис. Перехідний процес пуску АМ з к.з.р. при $\omega(0) = 0,85\omega_0$:

- 1 – кутова швидкість обертання потокозчеплення статора ω_k та електрична швидкість обертання ротора ω_e ;
- 2 – крива електромагнітного моменту $M_e(t)$;
- 3 – криві проєкцій струму ротора $i_{2g}(t)$, $i_{2i}(t)$

З (8) видно, що для АМ з к.з.р. ($u_2 = 0$) початкова кутова швидкість векторів струмів та потокозчеплень у просторі відносно нерухомого статора при нульових початкових умовах незалежно від ковзання ротора дорівнює:

$$\omega_g(0) = 0,5 \omega_{0e},\quad (9)$$

що і спостерігаємо на рисунку 1 – кутова швидкість обертання потокозчеплення статора ω_k в початковий момент часу $\omega_k(0) = 157 \text{ c}^{-1}$, а її усталене значення відповідає синхронній $\omega_k = \omega_{0e} = 314,15 \text{ c}^{-1}$.

Це є поясненням того факту, що при $s < 0,5$ ($\omega > 0,5\omega_0$), коли швидкість ротора двигуна при вмиканні більша швидкості вектора потокозчеплення статора, АМ попадає в режим рекуперативного гальмування – спостерігається негативне значення піку електромагнітного моменту в його кривій (див. рис. 1). На рисунку показані процеси підключення до мережі живлення аси-

нхронної машини 4A250S4 при початковій швидкості 85% від синхронної. Параметри машини наведені в [1].

Висновки. Використання координатної системи "g-i" дозволяє на початковому інтервалі перехідного процесу відразу визначити (аналітично) величину та фазу вектора струму ротора і перпендикулярну йому складову вектора потоку $L_m i_{\nu}$, взаємодія яких генерує електромагнітний момент АМ.

Література

1. Шевченко І.С., Морозов Д.І. Електромеханічні процеси в асинхронному електроприводі: навчальний посібник. Алчевськ: ДонДТУ. 2009. 349 с.
2. Онищенко Г.Б., Локтева И.Л. Метод колеблющихся координат в исследовании электромагнитных переходных процессов асинхронных электроприводов / Автоматизированный электропривод в промышленности. Труды VI Всесоюзной конф. по автоматизированному электроприводу. Под общ. ред. М.Г. Чиликина, И.И. Петрова, М.М. Соколова, М.Г. Юнькова. Москва: Энергия. 1974. С. 68-71.
3. Сандлер А.С., Тарасенко Л.М. Динамика каскадных асинхронных электроприводов. Москва: Энергия, 1977. 200 с.
4. Чорний О. П., Толочко О. І., Титюк В. К., Родькін Д. Й., Чекавський Г.С. Математичні моделі та особливості чисельних розрахунків динаміки електроприводів з асинхронними двигунами: монографія. Кременчук, 2016. 302 с.
5. Rudniev, Y., Romanchenko, J., Romanchenko, O. Study of Impact Phenomenon in Mechatronic Systems. Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022, 2022. P.1-6.
6. Rudnjev J., Shevchenko I., Romanchenko J. Mathematical model of an asynchronous machine in real coordinates of state. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 5 (269). С. 24-28.

References

1. Shevchenko I.S., Morozov D.I. Elektromehanični procesy v asinhronnomu elektropyvodi: navchal'nyj posibnyk. Alchevs'k: DonDTU. 2009. 349 s.
2. Onishhenko G.B., Lokteva I.L. Metod kolebljushhihsja koordinat v issledovanii

- jelektromagnitnyh perehodnyh processov asinhronnyh jelektroprivodov / Avtomatizirovannyj jelektroprivod v promyshlennosti. Trudy VI Vsesojuznoj konf. po avtomatizirovannomu jelektroprivodu. Pod obshh. red. M.G. Chilikina, I.I. Petrova, M.M. Sokolova, M.G. Jun'kova. Moskva: Jenergija. 1974. S. 68-71.
3. Sandler A.S., Tarasenko L.M. Dinamika kaskadnyh asinhronnyh jelektroprivodov. Moskva: Jenergija, 1977. 200 s.
 4. Chornyj O. P., Tolochko O. I., Tytjuk V. K., Rod'kin D. J., Chekavs'kyj G.S. Matematychni modeli ta osoblyvosti chysel'nyh rozrahunkiv dynamiky elektropyvodi v asinhronnymy dyvgunamy: monografija. Kremenchuk, 2016. 302 s.
 5. Rudniev, Y., Romanchenko, J., Romanchenko, O. Study of Impact Phenomenon in Mechatronic Systems. Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022, 2022. P.1-6.
 6. Rudnjev J., Shevchenko I., Romanchenko J. Mathematical model of an asynchronous machine in real coordinates of state. Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo nacional'nogo universytetu imeni Volodymyra Dalja. 5 (269). S. 24-28.

Rudniev Y., Romanchenko J., Yatsumira A., Melkonova I. Mathematical model of the asynchronous machine in the coordinate system where the axes "oscillate" in space.

The article presents an analysis of the mathematical model of an asynchronous machine in a coordinate system, the axes of which "oscillate" in space. It is shown that the differential equations describing the processes in a real three-phase asynchronous machine contain periodic coefficients. The latter complicate the solution of such equations and require the search for approaches that make it possible to obtain an equation with constant coefficients.

It is shown that in a fully controlled asynchronous machine, both the magnitude and the phase of the additional electromotive force are adjustable and independent parameters, and in an asynchronously valve cascade, which can be considered as a dual-feed machine with limited control capabilities, only the magnitude of the additional electromotive force vector is an independent parameter; and its phase is determined: the counter-emf, which is introduced into the circuit of the rectified current of the rotor, is always in antiphase with the rotor current vector.

It has been established that the solution of the problem is simplified by the introduction of a new coordinate system, in which the axes rotate in space not at a constant speed, but with a variable that is a certain

function of time. The essence of the transformations associated with the transition to a new coordinate system is to find such a function that allows in the plane of these coordinates to conditionally consider the fixed vector, the parameters of which are decisive for the given system. It is found based on the condition that the positive direction of the real axis of the system always coincides with the vector in relation to which the state of the asynchronous machine is considered.

The differential equations of the dual-feed machine in the "g-i" axes are given in vector form. It is shown that these equations are valid both for a motor with a squirrel-cage rotor and for any system of an asynchronous electric drive, the speed of which is controlled by introducing an additional emf. into the rotary chain.

An equation for the initial angular velocity of the vectors of currents and flux linkages in space relative to a fixed stator under zero initial conditions, regardless of the slip of the rotor, is derived for an asynchronous machine with a squirrel-cage rotor. Transient processes of starting an asynchronous machine with a squirrel-cage rotor are given.

Key words: asynchronous machine, electromotive force, rotor, stator, current vector, coordinate system, squirrel-cage rotor.

Руднєв Є.С. – к.т.н., доц., завідувач кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, rudnev_es@snu.edu.ua

Романченко Ю.А. – к.т.н., доц., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, romanchenko_ja@snu.edu.ua

Яцуміра А.А. – студентка кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, mvt-22dm-915@snu.edu.ua

Мелконова І.В. – к.т.н., доц., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, melkonova@snu.edu.ua

Стаття подана 22.01.2023.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-277-1-43-47>

УДК 004.92[621:744]

AXONOMETRIC TRANSFORMATIONS OF A COMPLEX DRAWING

Karpyuk L. V., Davydenko N. O., Gezevi Abdalhaleh Goma Ahmed

АКСОНОМЕТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО КРЕСЛЕНИКА

Карпюк Л. В., Давіденко Н. О., Гезеві Абдалхалех Гома Ахмед

When drawing up technical drawings, it is sometimes necessary to have visual representations along with images of objects in the orthogonal projection system. For such images, the method of axonometric projection is used (axonometry is a Greek word, literally translated as measurement along the axes; axon means axis, metreo means measuring). The essence of the axonometric projection method: an object, together with the axes of rectangular coordinates to which it is assigned in space, is projected onto a certain plane so that none of its coordinate axes is projected onto it at a point. In this case, the object itself is projected onto this projection plane in three dimensions. In this case, the dimensions of the object in axonometric projections along all three axes are distorted. The change in linear dimensions along the axes is characterized by the distortion indices (coefficients) along the axes. The distortion index is the ratio of the length of a segment on the axonometric axis to the length of the same segment on the corresponding axis of the rectangular coordinate system in space. The purpose of this paper is to construct an axonometric projection of a circle located in the plane of general position using classical methods of descriptive geometry - methods of transforming a complex drawing. Axonometry stands alone in descriptive geometry, which is due to the theoretical multitude of approaches in which the coordinate system is a model of geometric space. Certain difficulties in mastering axonometry are related not only to this but also to its insufficient methodological support. Thus, in the definition of axonometric projection, the standards do not contain key phrases about the orientation of the object and the associated coordinate system relative to the projection direction, which should not be parallel to any coordinate axis. There is no clarity about axonometric planes, their location relative to the main planes in rectangular projection. The article describes a method for constructing an axonometric projection of a circle located in the plane of general position relative to the

planes formed by axonometric axes. An example of constructing an ellipse - a projection of a circle for a projecting plane - is given, which can be extended to the conditions of the plane of general position without fundamental changes. The proposed article can be recommended for students who study descriptive geometry and engineering graphics courses in depth, and can also be useful for young teachers as a supportive material in working with students.

Keywords: circle, axonometric projection, ellipse, plane of general position, orthogonal coordinate system, axis.

Introduction. Drawings in the rectangular projection system are easy to create and easy to determine the dimensions of objects, but they have a significant drawback: lack of clarity. To make it easier to read a complex drawing and more fully identify the shape of an object, it is often supplemented with an axonometric image. Attention to the theory of axonometric projections is explained by its simplicity and accuracy, because it is easy to determine the true width, height, and depth of the depicted object from an axonometric image.

The essence of the parallel axonometric projection method is that the object is referred to a certain coordinate system and then projected by parallel rays onto the plane along with the coordinate system. The main purpose of using axonometric projections is to build an image that is closer to the way the eye perceives than a drawing in orthogonal projections.

Axonometric projections are widely used in various fields of technology for visual representations, they are a complement and

explanation to orthogonal projections, so mastering the techniques of constructing axonometric projections is important for further practical work. Axonometry makes it easier to visualize a pattern, its parts, and their relationships. When constructing axonometry, a part with a coordinate system attached to it is projected in a special way onto the plane of the drawing, and there is a strict unambiguous relationship between the orthogonal drawing and the axonometric image.

Presentation of the main material.

In practice, you often have to build axonometric projections of circles whose planes are parallel to any coordinate plane. In the rectangular isometric and dimetric projections, a circle is projected into an ellipse, so it is important to know how their axes pass.

To get a visual representation of the axes, let's write the circles into the faces of the cube, i.e. squares. The circles will touch the edges of the cube in their centers. In Figure 1, you can see that the points of contact of the ellipses into which the circles are transformed are also in the middle of the sides of the rhombuses into which the squares were projected. In addition to these points of contact, it is important to have four more points belonging to the ends of the major and minor axes of the ellipse

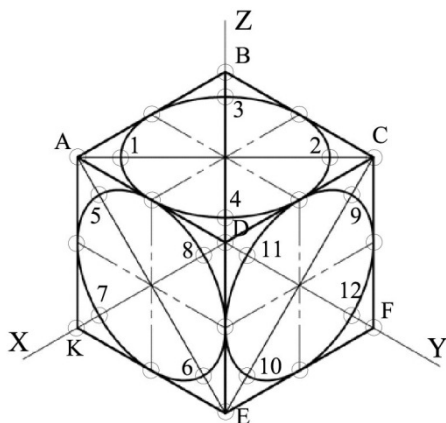


Fig. 1. Axonometric projection of a cube with ellipses inscribed in its faces

In rectangular isometric and dimetric projections, the major axis of the ellipse in any face of the cube is located along the major diagonal of the rhombus, and the minor axis is located along the minor diagonal.

Theoretically, the issue of constructing an axonometric projection of a circle is discussed in full in the educational literature [1, 2, 3, 4, 5].

This paper presents practical methods for constructing axonometric projections of circles located in planes of general position.

In general, a circle is projected onto the axonometric plane into an ellipse whose major axis is the projection of the diameter parallel to the axonometric plane.

The axonometry of any circle can be performed as an ellipse drawn through several axonometric projections of points of a given circle, each of which is found along the coordinate line corresponding to that point. The use of this universal method is limited by the large volume of constructions and very low final similarity.

If a circle is parallel to the axonometric plane, then its axonometric projection is a congruent circle. This special case is used in oblique dimetric axonometry, in which one of the planes of the orthogonal coordinate system is parallel to the axonometric plane.

If the plane passing through the circle is perpendicular to the axonometric plane, then the projection of the circle is a line segment equal to the diameter. Such cases should be avoided, as it reduces the clarity of the image [6].

The construction of axonometric projections of circles located in the planes of an orthogonal coordinate system or in planes parallel to them, for rectangular and oblique axonometric projections, is given in the standards.

For a circle placed in the plane of general position [1], the construction of an ellipse begins by determining the direction of the minor axis, which coincides with the projection of the perpendicular to the plane of the circle onto the axonometric plane. The perpendicular passes through the center of the circle.

The length of the minor axis is obtained as the projection of the radius extending from the center of the circle along the same perpendicular.

The major axis of the ellipse is perpendicular to the minor axis and equal to the diameter of the circle. Consider another way to construct the axonometric projection of a circle when it is located in a plane that is not parallel to the planes of the orthogonal coordinate system.

We will build the axonometry of a circle by first inscribing it in a square. An example of the construction is shown in Figures 2, 3 for the conditions of a rectangular isometric projection (the projection direction is perpendicular to the axonometric plane and the distortion coefficients

along the X, Y, Z axes are equal to each other and equal to one).

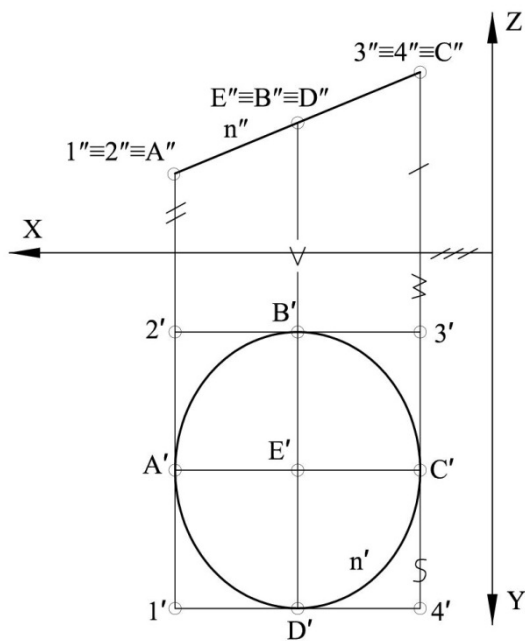


Fig. 2. Construction of axonometry of a circle lying in a plane not parallel to the planes of the orthogonal coordinate system (original complex drawing)

Superimpose the axes of the orthogonal coordinate system on the projection axes of the complex drawing, and place the circle *n* in the frontal projection plane.

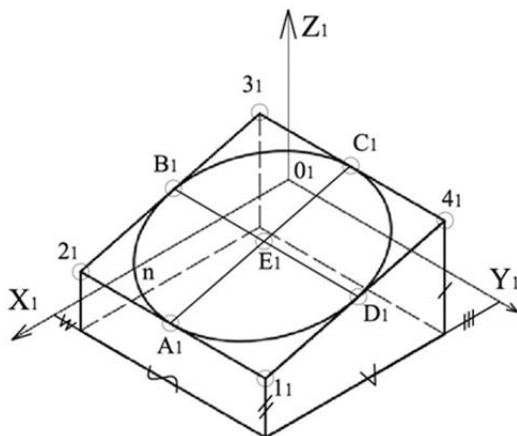


Fig. 3. Construction of the axonometry of a circle lying in a plane that is not parallel to the planes of the orthogonal coordinate system (axonometric)

Around the circle we describe the 1-2-3-4 square (Fig. 2). The constructions in Fig. 3 are based on the initial data of Fig.2. The axonometric projection of the square is the parallelogram 1₁-2₁-3₁-4₁ (Fig. 3). The image of the parallelogram is

made due to the equality of coordinates for the points of the complex drawing and their axonometry ($k_x=k_y=k_z=1$). Dividing the sides of the parallelogram in half, we get four points of the ellipse. As a first approximation, the ellipse can be drawn through these points, as well as under the condition of touching the sides of the parallelogram at these points and the known form of this second-order curve.

To construct intermediate points, a scheme can be used (Fig. 4), when the conjugate diameters are taken as the initial data. When projecting a circle into an ellipse (when the circle is compressed), two perpendicular diameters are mapped into two ellipse diameters, which are called conjugate diameters.

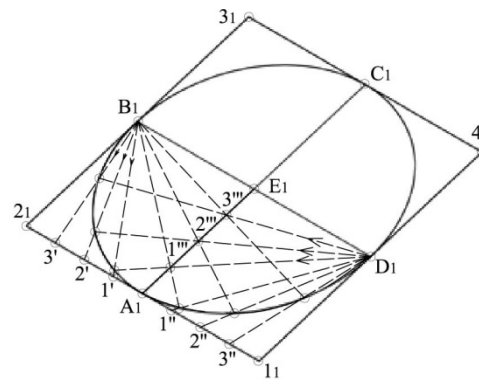


Fig. 4. Construction of an ellipse by given connected diameters

The half-sides of the parallelogram 2₁A₁; A₁1₁ are divided into equal segments by the points 1'; 2'; 3'; 1''; 2''; 3'' in the specified sequence. Also, create equal segments E₁3'''; 3'''2'''; 2'''1'''; 1'''D₁ on the half of the connected diameter. The points of the ellipse are located at the intersection of the rays coming from B₁; D₁ and passing through the dividing points with the same numbers, as shown in Fig. 4.

In axonometric projections, when constructing an ellipse manually, the pattern curve is replaced by a four-center oval consisting of four consecutive arcs of circles.

For our case, the direction and lengths of the major and minor axes of the ellipse are determined using the known axonometric projections of the connected diameters A₁C₁ and B₁D₁ [4]. These data are the initial data and are sufficient to construct the ellipse.

For circles located in the planes of general position with respect to the planes defined by axonometric axes, without any significant changes, we apply the above method of constructing axonometric projections of a circle.

Next, let's look at the method of constructing an ellipse - an axonometric projection of a circle at eight points. This method is advisable to use when the diameter of the circle is less than 15-20 mm.

In a complex drawing book, we enclose the circle in a square (Fig. 1) and build its axonometric projection - a rhombus or parallelogram (Fig. 5).

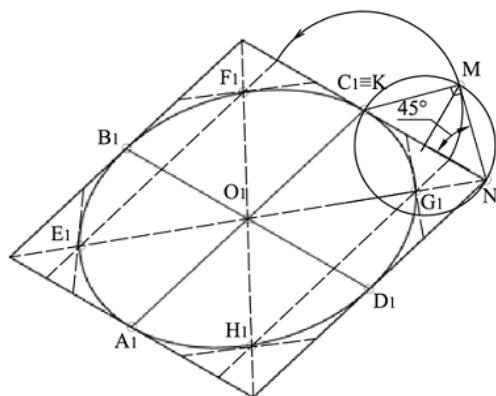


Fig. 5. Construction of an ellipse by eight points

At the intersection of the diagonals we find the center of the ellipse and through this point we draw lines parallel to the sides of the quadrilateral, on which the points of the ellipse $A_1B_1C_1D_1$ are located.

Any half of the side of the quadrilateral is the hypotenuse of the right isosceles triangle KMN. The triangle's catenary KM is placed as shown in Fig. 3 on the side of the quadrilateral.

From the resulting notches, we draw lines parallel to A_1C_1 and at the intersection with the diagonals we find four more points of the ellipse $E_1F_1G_1H_1$. Through these points, additionally using the conditions of contact, we draw the ellipse by hand. Additional tangents passing through the points E_1, F_1, G_1, H_1 are parallel to the diagonals. An ellipse is a smooth monotonous curve (no breakpoints or jumps in the radius of curvature) with a center of symmetry and two axes of symmetry. The legitimacy of such constructions can be proved under the conditions of parallel design. [5].

If a given part has four or more identical small-diameter circles, it is justified to make a template, which is then fixed in the right places on the drawing with two pins and traced. Cardboard is suitable as a template material.

For rectangular isometric projection when making small ellipses, it is allowed to use ready-made industrial stencils with ellipse-shaped holes

Conclusions. The proposed method of constructing an axonometric projection of a circle belonging to the plane of general position is simple

and versatile. It does not require knowledge of additional specific techniques, provides the necessary accuracy, and in all cases, it is possible to replace the ellipse with a four-centered oval. Such an approach to solving this problem can be recommended for students who study descriptive geometry and engineering graphics courses in depth, and can also be useful for young teachers as a support material in working with students.

References

1. Hlazunov E. A., Chetverukhyn N. F. Aksonometriya, M.: HTHL, 1953. 293 s.
2. Hordon V. O., Sementsov-Ohyevskiy M. A. Kurs nachertatelnoi geometrii. M. : Nauka, 1988. 272 s.
3. Klymukhyn A. H. Nachertatelnaia geometriya. Uchebnyk dlia vuzov. M. : Stroiizdat, 1973. 368 s.
4. Frolov S. A. Nachertatelnaia geometriya: Uchebnyk vtuzov. M. : Mashynostroeniye, 1978. 240 s.
5. Bubennykov A. V., Hromov M. Ya. Nachertatelnaia geometriya uchebnyk dlia vuzov. M. : Vysshaia shkola, 1973. 416 s.
6. Khmelenko O. S. Narysna geometriia. Pid-ruchnyk. K. : Kondor, 2008 r. 440 s.

Література

1. Глазунов Е. А., Четверухин Н. Ф. Аксонометрия, М.: ГТГЛ, 1953. 293 с.
2. Гордон В. О., Семенов-Огиевский М. А. Курс начертательной геометрии. М.: Наука, 1988. 272 с.
3. Климухин А. Г. Начертательная геометрия. Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1973. 368 с.
4. Фролов С. А. Начертательная геометрия: Учебник втузов. М. Машиностроение, 1978. 240 с.
5. Бубенников А. В., Громов М. Я. Начертательная геометрия учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1973. 416 с.
6. Хмеленко О. С. Нарисна геометрія. Підручник. К. : Кондор, 2008 р. 440 с.

Карпюк Л. В., Давіденко Н. О., Гезеві Абдалхалех Гома Ахмед. Аксонометричні перетворення комплексного кресленника

При складанні технічних креслень іноді виникає необхідність поряд із зображеннями предметів у системі ортогональних проєкцій мати наочні зображення. Для таких зображень застосовують метод аксонометричного проєктування (аксонометрія - грецьке слово, у дослівному перекладі воно означає вимір по осях; аксон - вісь, метрео - вимірюю). Сутність методу аксонометричного проєктування: предмет разом з осями прямокутних координат, до яких він віднесений в просторі, проєктується на деяку площину так, що жодна з його координатних осей не проєктується на неї в точку.

У такому разі сам предмет спроектується на цю площину проєкції у трьох вимірах. При цьому розміри предмета в аксонометричних проєкціях по всіх трьох осях спотворюються. Зміна лінійних розмірів вздовж осей характеризується показниками (коефіцієнтами) спотворення вздовж осей. Показник спотворення - це відношення довжини відрізка на аксонометричній осі до довжини такого ж відрізка на відповідній осі прямокутної системи координат в просторі. Мета ж даної роботи – побудова аксонометричної проєкції кола, розташованого в площині загального положення, використовуючи класичні методи нарисної геометрії – способи перетворення комплексного кресленника. Аксонометрія стоїть окремо в нарисній геометрії, що пов'язано з теоретичною безліччю підходів, при якій система координат є моделлю геометричного простору. Певні труднощі у освоєнні аксонометрії пов'язані не тільки з цим, але й з недостатнім її методичним забезпеченням. Так у визначенні аксонометричної проєкції в стандартах немає ключових фраз про орієнтацію об'єкта та пов'язаної з ним системи координат щодо напрямку проєктування, який не повинен бути паралельним жодній координатній осі. Відсутня чіткість щодо аксонометричних площин, їх розташування відносно основних площин при прямокутному проєктуванні. У статті викладено спосіб побудови аксонометричної проєкції кола, розташованого в площині загального положення стосовно площин, утворених аксонометричними осями. Наве-

дено приклад побудови еліпса – проєкції кола для проєкціюючої площини, котрий без принципових змін може бути поширений і для умов площини загального положення. Пропонована стаття може бути рекомендована для студентів, які поглиблено вивчають курси нарисної геометрії та інженерної графіки, а також може бути корисною для молодих викладачів-початківців як допоміжний матеріал у роботі зі студентами.

Ключові слова: коло, аксонометрична проєкція, еліпс, площина загального положення, ортогональна система координат, вісь.

Карпюк Людмила Вікторівна – старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, karp224@gmail.com.

Давіденко Наталія Олександрівна – старший викладач кафедри іноземних мов та професійної комунікації, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, nat.davidenko11@gmail.com.

Гезеві Абдалхалех Гома Ахмед – аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, gezevi@ukr.net.

Стаття подана 26.01.2023.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-277-1-48-54>

УДК 681.5.015

МАТЕМАТИЧНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ РОБОТИ ТРЬОХПОЛОЧНОГО ГАЗОВОГО РЕАКТОРА У ВИРОБНИЦТВІ АМІАКУ

Купіна О.А.

MATHEMATICAL REPRESENTATION WORKS OF THE THREE-SHELF GAS REACTOR IN AMMONIA PRODUCTION

Kupina O.A.

Для досягнення високої ефективності оптимізації та керування складними технологічними об'єктами, використання комбінованої математичної моделі є ключовим аспектом. Цей підхід дозволяє використовувати переваги обох підходів: експериментально-статистичного та детермінованого, забезпечуючи високу адекватність, легку адаптацію та широкий діапазон застосування.

В даній роботі запропоновано такий підхід для розробки математичної моделі та оптимізації керування складним технологічним об'єктом - трьохполичним газовим реактором виробництва аміаку. Першим етапом розроблення моделі є створення детермінованої моделі, яка дозволяє оцінити критеріальну функцію та виділити область глобального екстремуму. Незважаючи на її невисоку точність, детермінована модель дозволяє оцінити різні варіанти параметрів технологічного процесу та визначити на кшталт, що змінити для покращення роботи об'єкта.

Другий етап полягає в адаптації моделі на основі експериментальних даних, з використанням імовірнісних методів. Це дозволяє отримати більш точну модель з урахуванням всіх впливів, що впливають на об'єкт. Адекватна модель повинна враховувати нелінійність залежностей вихідних параметрів процесу від вхідних, що може призвести до складних математичних рівнянь для опису об'єкту керування. У випадку, коли використовують наближені розв'язки, далі можуть бути проведені різноманітні аналізи і перевірки, щоб оцінити точність цих розв'язків і їхню придатність для використання у конкретній ситуації. Зокрема, можуть бути проведені такі аналізи:

- порівняння наближеного розв'язку з точним розв'язком (якщо такий відомий) для визначення похибки;
- проведення чутливого аналізу для оцінки впливу зміни параметрів на результати розв'язку;

- проведення аналізу стійкості для визначення, наскільки невеликі зміни в початкових умовах або параметрах впливають на результати розв'язку;

- проведення верифікації для визначення, чи задовольняє наближений розв'язок рівнянням фізики, які моделюються;

- проведення валідації для перевірки, наскільки точно наближений розв'язок відображає експериментальні дані або спостереження.

В результаті такого аналізу може бути встановлено, чи підходять наближені розв'язки для використання у практичних застосуваннях або чи потрібно використовувати більш точні методи розв'язування.

Ключові слова: математична модель, трьохполичний газовий реактор, виробництво аміаку, оптимальні параметри процесу, синтез-газ, байбаси. оптимізація, детермінована модель.

Вступ. Підтримка ефективних параметрів роботи великих безперервних виробництв є однією з ключових задач для забезпечення їх прибутковості. В хімічній промисловості широко застосовуються багатополочні реактори, де для досягнення необхідних параметрів процесу в заданих областях реакційного обсягу потрібне управління ходом хімічної реакції. Наприклад, важливо забезпечувати максимальний ступінь конверсії вихідних компонентів зворотньої реакції, контролюючи оптимальний профіль температур по висоті реактора. Проте, процес у реакторі є складним, оскільки наближається до моделі ідеального витиснення, яка передбачає наявність градієнтів параметрів уздовж просторової координати. Це особливо актуально для

виробництв метанолу, аміаку та інших хімічних продуктів. На рис.1 зображено схематично багатополочний газовий реактор із вбудованим теплообмінником для зручності розуміння.

Постановка проблеми.

Задача оптимального керування газовим трьохполочним реактором полягає у забезпеченні максимального ступеня конверсії та максимальної концентрації цільового компонента шляхом оптимізації перерозподілу циркуляційного синтез-газу.

Мета статті. Метою даної роботи є розробка математичної моделі трьохполочного газового реактора, що дозволить провести оптимізацію роботи цього пристрою.

Аналіз досліджень і публікацій. Результати досліджень. З точки зору керування, дані реактори є складними об'єктами, які характеризуються більшою кількістю параметрів, що обурюють, і множинними внутрішніми зв'язками. Реактор працює в такий спосіб. Циркуляційний газ із температурою порядку 333°C на вході колони розділяється на два потоки (дільник Д1): основний хід, який через вбудований

теплообмінник ТО, де він нагрівається теплом газів, що відходять, до температури порядку 430°C , подається на першу полицю реактора П1; і холодний байпас, який, у свою чергу, ділиться на три потоки (дільник Д2) і призначений для підтримки температури на полках реактора П1 - П3 діапазоні $510 - 530^{\circ}\text{C}$. На полках реактора протікає екзотермічна реакція синтезу аміаку. З виходу третьої полиці газ подається у вбудований теплообмінник ТО, де віддає своє тепло газу, що надходить у колону. [3]

Інформаційно-логічна схема трьохполочного газового реактора наведена на рис.2.

Умовимося називати вихідними параметрами параметри системи, які характеризують її стан і підтримка значень яких є метою системи регулювання. Регулюючі параметри – параметри, за допомогою яких ведеться регулювання (витрати матеріальних і енергетичних потоків). параметри, що обурюють, – параметри, які впливають на вихідні параметри, але не можуть бути регулюючими. [2]

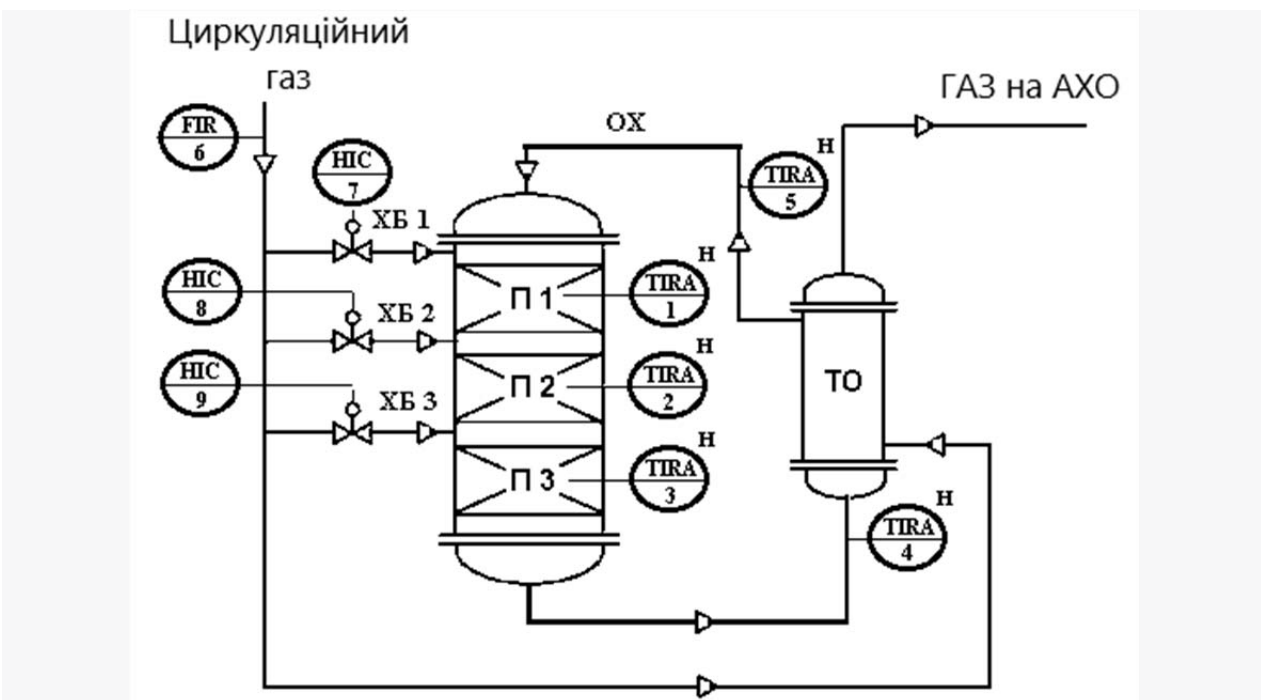


Рис.1. Схема багатополочного газового реактора із вбудованим теплообмінником: ТО – теплообмінник; П1, П2, П3 – перша, друга й третя полиці з каталізатором; ОХ - потік основного ходу синтез-газу; ХБ1, ХБ2, ХБ3 – потоки холодних байпасов синтез-газу на відповідні полиці реактора; АХО – аміачно-холодильне відділення; TIRA 1-6 - прилади контролю температури; FIR - 7 – прилад контролю витрати синтез-газу; НС 8-10 – панелі дистанційного керування електричними засувками

Аналіз технологічного процесу, що відбувається в трьохполичному газовому реакторі, як об'єкту керування показує, що технологічний об'єкт має дві вихідні координати: концентрацію цільового продукту Q_3 на виході з реактора й температуру T_3' газу на виході реактора після теплообмінника ТО. Для даного об'єкта температурний режим по висоті газового реактора однозначно визначає концентрацію цільового компонента на його виході, а, отже, і температуру T_3 , яка визначає температури T_0 і T_3' . Виходячи з того, що з достатнім ступенем точності об'єкт можна розглядати як замкнену термодинамічну систему, величина концентрації Q_3 однозначно визначає температури T_3 , і, відповідно, T_0 і T_3' . Тому регулювання або стабілізація температури T_3' не має в цьому випадку особливого змісту. Особливістю даного об'єкта є те, що для регулювання одного параметра – концентрації цільового компонента Q_3 використовуються три регулюючі параметри – подачі холодних байпасів циркуляційного газу на полки з каталізатором. До параметрів, що обурюють, ставляться витрата циркуляційного газу $F_{ц.г.}$, його температура $T_{н.г.}$ і концентрація цільового компонента на вході реактора Q_0 . Тиск циркуляційного газу P можна віднести до координат, що обурюють, тому що, по-перше, це параметр стабілізується компресором синтез-газу, по-друге, при ступені конверсії синтез-газу в готовий продукт порядку 10% зменшення тиску за рахунок реакції становить приблизно 5%. Отже, при зміні ступеня конверсії в межах 8...12% тиск зміниться в межах 4...6%, що укладається

в погіршність вимірювального каналу тиску. [2].

Задача оптимального керування газовим трьохполичним реактором полягає у забезпеченні максимального ступеня конверсії та максимальної концентрації цільового компонента шляхом оптимізації перерозподілу циркуляційного синтез-газу. Для досягнення цієї мети пропонується розробити математичну модель та розв'язати оптимізаційну задачу.

На першому етапі розробляється детермінована модель, яка, незважаючи на її невисоку точність, дозволяє оцінити вид критеріальної функції в широкому діапазоні зміни аргументів та виділити область глобального екстремуму. Проте залежності вихідних параметрів процесу від вхідних є нелінійними, що призводить до збільшення ступеня рівнянь, які описують об'єкт керування. Використання рівнянь високих порядків ускладнює процес оптимізації та знижує точність розробленої моделі.

На другому етапі розроблюється адаптована модель на основі експериментальних даних, отриманих з об'єкта керування, за допомогою імовірнісних методів. Це дозволяє врахувати всі обурюючі впливи та забезпечити точність моделювання параметрів.

Для дослідження першої полиці реактора складається рівняння матеріального та теплового балансів. Це дозволяє аналізувати процес перетворення реагентів на продукти та визначати теплову енергію, яка виділяється чи поглинається під час реакції.

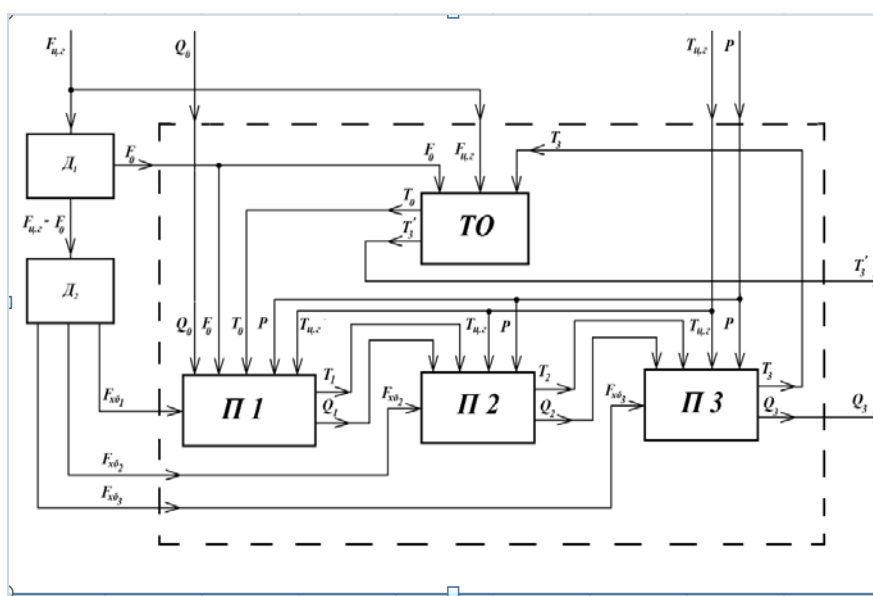


Рис.2. Інформаційно-логічна схема трьохполичного газового реактора із вбудованим теплообмінником: Д1, Д2 – математичні оператори розподілу потоку

$$\begin{cases} F_{x\delta 1}c_1T_{x\delta 1} + F_0c_1T_0 + r\rho_1V_1K_0 \exp\left(-\frac{E}{RT_1}\right)\frac{P}{P_0} \\ (Q_1 - Q_0) = (F_0 + F_{x\delta 1})c_1T_1 \\ F_{x\delta 1}Q_0 + F_0Q_0 + \rho_1V_1K_0 \exp\left(-\frac{E}{RT_1}\right)\frac{P}{P_0} \\ (Q_1 - Q_0) = (F_0 + F_{x\delta 1})Q_1 \end{cases}, \quad (1)$$

де $F_{x\delta 1}$ і F_0 – витрати холодного байпасу й основного ходу на першу полицю, $кг/з$;

$T_{x\delta 1}$ і T_0 – температури холодного байпасу й основного ходу на вході першої полиці, $К$;

c_1 – теплоємність газової суміші, $Дж/(кг \cdot К)$;

r – питома теплота реакції, $Дж/кг$;

ρ_1 – щільність газового потоку, $кг/м^3$;

V_1 – реакційний обсяг, $м^3$;

E – енергія активації, $Дж/моль$;

K – константа швидкості реакції, $1/з$;

P і P_0 – поточний і номінальний тиск процесу, $Па$;

T_1 – температура на першій полиці, $К$;

Q_0 і Q_1 – концентрація цільового компонента на вході й виході полки, $мас. частки$.

Система рівнянь (1) являє собою статичну математичну модель першої полиці газового реактора.

Аналогічним образом складемо матеріальний і тепловий баланси другий і третьої полиць реактора (у рівняннях (2) і (3) індекси 2 і 3 укажуть на нумерацію полиці реактору).

$$\begin{cases} (F_{x\delta 1} + F_0)c_1T_1 + F_{x\delta 2}c_1T_{x\delta 2} + r\rho_2V_2K_0 \exp\left(-\frac{E}{RT_2}\right)\frac{P}{P_0} \\ (Q_2 - Q_1) = (F_0 + F_{x\delta 1} + F_{x\delta 2})c_2T_2 \\ F_{x\delta 2}Q_0 + (F_0 + F_{x\delta 1})Q_1 + \rho_2V_2K_0 \exp\left(-\frac{E}{RT_2}\right)\frac{P}{P_0}(Q_2 - Q_1) \\ = (F_0 + F_{x\delta 1} + F_{x\delta 2})Q_2 \\ (F_{x\delta 2} + F_{x\delta 1} + F_0)c_2T_2 + F_{x\delta 3}c_1T_{x\delta 3} + r\rho_3V_3K_0 \exp\left(-\frac{E}{RT_3}\right)\frac{P}{P_0}(Q_3 - Q_2) = (F_0 + F_{x\delta 1} + F_{x\delta 2} + F_{x\delta 3}) \\ c_3T_3F_{x\delta 3}Q_0 + (F_0 + F_{x\delta 1} + F_2)Q_2 + \rho_3V_3K_0 \\ \exp\left(-\frac{E}{RT_3}\right)\frac{P}{P_0}(Q_3 - Q_2) = \\ (F_0 + F_{x\delta 1} + F_{x\delta 2} + F_{x\delta 3})Q_3 \end{cases} \quad (2)$$

Математичну модель вбудованого теплообмінника складемо на основі його теплового балансу

$$F_0c_1(T_0 - T_{цз}) = F_{цз}c_3(T_3 - T'_3), \quad (4)$$

де T'_3 – температура газової суміші на виході ТЕ, $ДО$;

$F_{цз} = F_0 + F_{x\delta 1} + F_{x\delta 2} + F_{x\delta 3}$ – витрата циркуляційного газу, $кг/з$.

Рівняння (1) – (4) утворюють систему рівнянь. Розв'язок даної системи може бути презентовано у вигляді

$$Q_3 = f(F_{x\delta 1}, F_{x\delta 2}, F_{x\delta 3}, F_0, F_{цз}, T_{цз}, Q_0, P). \quad (5)$$

Рівняння (5) є математичною моделлю трьохполочного реактора.

Аналізуючи математичну модель, було виявлено, що деякі змінні не можуть бути визначені без додаткових рівнянь. Для цього було запропоновано проведення тестових впливів на об'єкт керування, які передбачатимуть зміну витрат одного з холодних байпасів на фіксовану величину. Це дозволить створити додаткові рівняння, які допоможуть визначити невідомі змінні. Для успішної реалізації тестів необхідно забезпечити стабільність витрат холодних байпасів, які не підлягають зміні в умовах тесту. Завдяки цим тестам буде можливо скласти ще три рівняння, що покращить точність та достовірність отриманих результатів.

Аналізуючи математичну модель, було виявлено, що деякі змінні не можуть бути визначені без додаткових рівнянь. Для цього було запропоновано проведення тестових впливів на об'єкт керування, які передбачатимуть зміну витрат одного з холодних байпасів на фіксовану величину. Це дозволить створити додаткові рівняння, які допоможуть визначити невідомі змінні. Для успішної реалізації тестів необхідно забезпечити стабільність витрат холодних байпасів, які не підлягають зміні в умовах тесту. Завдяки цим тестам буде можливо скласти ще три рівняння, що покращить точність та достовірність отриманих результатів.

$$Q'_3 = f_1\left(F_{x\delta 1} + \Delta_1, F_{x\delta 2}, F_{x\delta 3}, (F_0 - \Delta_1), F_{цз}, T_{цз}, Q_0, P\right). \quad (6)$$

$$Q''_3 = f_2\left(F_{x\delta 1}, (F_{x\delta 2} + \Delta_1), F_{x\delta 3}, (F_0 - \Delta_1), F_{цз}, T_{цз}, Q_0, P\right). \quad (7)$$

$$Q_3^n = f_3 \left(F_{x\bar{b}1}, F_{x\bar{b}2}, (F_{x\bar{b}3} + \Delta_1), (F_0 - \Delta_1), \right. \\ \left. F_{u_2}, T_{u_2}, Q_0, P \right). \quad (8)$$

Спільний розв'язок рівнянь (5) – (8) можна представити у вигляді

$$a_4 Q_3^4 + a_3 Q_3^3 + a_2 Q_3^2 + a_1 Q_3 + a_0 = \varphi_1(F_{x\bar{b}1}) + \\ \varphi_2(F_{x\bar{b}2}) + \varphi_3(F_{x\bar{b}3}) + \varphi_{12}(F_{x\bar{b}1}, F_{x\bar{b}2}) + \varphi_{13}(F_{x\bar{b}1}, F_{x\bar{b}3}) + \\ + \varphi_{23}(F_{x\bar{b}2}, F_{x\bar{b}3}) + \varphi_{123} \\ (F_{x\bar{b}1}, F_{x\bar{b}2}, F_{x\bar{b}3}) + \Omega(F_{u_2}, T_{u_2}, Q_0, P) \quad (9)$$

Рівняння (9) є математичною моделлю трьохполочного реактора із вбудованим теплообмінником. У даному рівнянні значення функції $\Omega(F_{u_2}, T_{u_2}, Q_0, P)$ залежить від параметрів збурювання. Зважаючи на те, що дані параметри доступні для виміру, їх значення можуть бути обмірювані й підставлені в рівняння (9). Крім того, об'єкт є досить інерційним, а параметри збурювання протягом тривалого часу залишаються постійними [5].

У цій роботі розглядається використання системи керування з математичною моделлю для контролю процесу синтезу продукту з синтез-газу. До складу системи входять два значення концентрації продукту на виході реактора: одне з них вимірюється, а інше розраховується з математичної моделі. Якщо розраховане значення відрізняється від вимірюваного на задану величину, то коефіцієнти моделі коригуються шляхом обчислення коефіцієнтів a_4, a_3, a_2, a_1 і a_0 .

Основне завдання системи керування полягає в коригуванні коефіцієнтів математичної моделі, вирішенні оптимізаційної задачі та стабілізації витрат холодних байпасів за розрахованими значеннями. Оптимізаційна задача полягає в пошуку оптимальних значень витрат холодних байпасів, які забезпечать максимальну ступінь конверсії синтез-газу в цільовий продукт у визначених умовах

Висновок. У процесі розробки роботи був запропонований підхід до створення математичної моделі для оптимізації та керування складним технологічним об'єктом. Цей підхід був реалізований шляхом комбінування експериментально-статистичного та детермінованого методів для отримання високої адекватності моделі, а також забезпечення легкої адаптуваності та широкого діапазону застосування. Важливими аспектами при оптимізації та ке-

руванні складними технологічними об'єктами є саме ці характеристики моделі.

Для підтвердження ефективності запропонованого підходу була розроблена модель трьохполочного газового реактора для виробництва аміаку. За допомогою отриманих результатів були розроблені програми для впровадження алгоритмів у систему автоматизованого керування технологічним процесом виробництва аміаку.

Використання запропонованої системи дозволить звузити діапазон параметрів технологічного процесу біля оптимального значення, що призведе до зменшення витрат та підвищення ефективності виробництва. Таким чином, реалізація цієї системи може принести реальний економічний ефект.

Література

1. Амелин А.Г. Общая химическая технология [Текст] / А.Г.Амелин, А.М.Кутепов – М.: Химия, 1977. – 324 с.
2. Абдалхамид, Д. Адаптація мат моделі реактора синтезу метанолу / Д. Абдалхамид, М. Г. Лорія, А. Б. Целищев, П. Й. Елисеєв, И. И. Захаров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Т. 6, № 3 (66). – 2013. – С. 4–7.
3. Стенцель Й.І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: Підручник [Текст] / Й.І. Стенцель, О.В. Поркуян - Луганськ: вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2010. – 300 с.
4. Математичне моделювання технологічних об'єктів [Текст] : Підручник / О.Б.Целіщев, П.Й.Єлісеєв, М.Г.Лорія, І.І.Захаров – Луганськ. Вид-во Східноукр. нац. унів. ім. В. Даля, 2011. – 421 с.
5. Принципы математического [моделирования](#) химико-технологических систем [Текст] / В.В.Кафаров, В.Л.Перов, В.П.Мешалкин и др.– М.: [Химия](#), 1974. - 344 с.
6. Абдалхамид, Д. Система екстремального управління многополочным реактором с моделью / Д. Абдалхамид, М. Г. Лорія, А. Б. Целищев, П. И. Елисеєв // Вісник СХУ. – № 15 (186), Ч. 2. – 2012– С. 152–156.
7. Абдалхамід Д. Динамічна модель газового реактора / Д.Абдалхамід, М.Г.Лорія, О.Б.Целіщев, П.Й.Єлісеєв // ВОТТП. - №4. – 2013. – с. 31-35.
8. Абдалхамид Д. Разработка комбинированной модели для задач оптимизации / Абдалхамид Д., Лорія М.Г., Целищев А.Б., Єлісеєв П.Й. // Наука и техника. - №3. – 2014. – с. 23 – 28.
9. Банди Б. Методы [оптимизации](#). Вводный курс[Текст] / Б.Банди. Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1988. – 128с.

10. Второй фронт ХТС. The Chemical Journal, Сентябрь 2002, с.50-54
11. Spatial Self-Organization in One Process of Chemical Technology [Text] : International Conference on Differential Equations and Dynamical Systems., 1-4 August 1997. Canada. Waterloo : 1997. - P. 166.
12. Thermal Spots in an Industrial Packed Bed Catalytic Reactor [Text] : Year 2000 International Conference on Dynamical Systems and Differential Equations (ICDSDE) Abstracts Book. USA, Kennesaw, 2000. - P.81.
13. Fuzzy Modeling for Control [Text] : Kluwer, 1998. - P. 122.
14. Driankov, D. Palm R. Advances in Fuzzy Control [Text] / D.Driankov, R.Palm // Physica-Verlag. Heidelberg. Germany - 1988. P. 129-137.
15. Pedrycz, W. An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design. [Text] / W.Pedrycz, F.Gomide // MIT Press. Hardcover. - 1998. №2. - P. 24-41.
16. Seraya O.V., Demin D.A. Linear regression analysis of a small sample of fuzzy input data (2012) Journal of Automation and Information Sciences, 44 (7), pp. 34-48.
9. . Bandi B, (1988). Metody optimizations. Propaedeutics: Trudged. with angl. of M.: of Radio and connection, 128p.
10. Second front of KHTS. The Chemical Journal, September 2002, p.50-54
11. Shumikhin A.G., Ostrovsky A.S.(1997). Spatial Self-Organization in One Process of Chemical Technology // International Conference on Differential Equations and Dynamical Systems. Canada, Waterloo, 1-4 August, p. 166.
12. Ostrovsky A. S., (2000), Thermal Spots in an Industrial Packed Bed Catalytic Reactor // Year 2000 International Conference on Dynamical Systems and Differential Equations (ICDSDE) Abstracts Book. USA, Kennesaw, p.81.
13. Babuska. R. (1998) Fuzzy Modeling for Control. Kluwer.
14. Driankov D., Palm R., (1998) Advances in Fuzzy Control. Physica-Verlag. Heidelberg. Germany,.
15. Pedrycz W., Gomide F., (1998).An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design. MIT Press. Hardcover.
16. Seraya, O.V., Demin, D.A. Linear regression analysis of a small sample of fuzzy input data (2012) Journal of Automation and Information Sciences, 44 (7), pp. 34-48.

References

1. Amelin A. G., General chemical technology. (1977). Moscow, USSR:Higher school, 448c.
2. Abdalhamid D. Dinamichna modelgazovogo reaktora / D. Abdalhamid, M. G.Loriya, A. B.Tselishev, P. I.Eliseev // VOTTP. - №4. - 2013. - s. 31-35.
3. Stentsel Y. I., (2010). *Avtomatyzatsiia tekhnologichnykh protsesiv khimichnykh vyrobnytstv, Pidruchnyk* [Automation of technological processes of chemical production, Textbook], Luhansk, vyd-vo Skhidnoukr. nats. uh-tu im. V. Dalia, , 300 p.
4. Tselishchev O. B. (2011), *Matematychni modelyuvannia tekhnologichnykh obektiv* [Mathematical modeling of technological objects], Luhansk. Vyd-vo Skhidnoukr. nats. uh-tu im. V. Dalia, 421 p.
5. Kafarov V. V., (1974).Principles of mathematical design of the chemical-technological systems. Moscow, USSR:Chemistry, 344 p.
6. Abdalhamid D. Sistema ekstremalnogo upraleniya mnogopolochnym reaktorom s modely. / D. Abdalhamid, , M. G. Loriya, A. B.Tselishev, , P. I. Eliseev, // Visnik SNU, № 15 (186), Part 2, - (2012). - 152–156 s.
7. Abdalhamid D. Adaptatsiya matematichnoi modeli reaktora sintezu metanolu. Eastern-European Journal of enterprise technologies / D. Abdalhamid, M. G. Loriya, A. B. Tselishev, P. I.Eliseev, I. I. Zaharov // Vostochno-Evropeiskii gurnal peredovih tehnologii. – T. 6, № 3 (66). – 2013. – s. 4–7.
8. Abdalhamid D. Razrabotka kombinirovanoi modeli dlya zadach optimizacii / D.Abdalhamid, M.G. Loriya, A.B.Tselishev, P.I. Eliseev // nauka I tehnika. - №3. – 2014. – s. 23 – 28.

Kupina O.A., Mathematical reflection of the work of a three-shelf gas reactor in the production of ammonia

To achieve high efficiency of optimization and control of complex technological objects, the use of a combined mathematical model is a key aspect. This approach allows you to take advantage of both approaches: experimental-statistical and deterministic, providing high adequacy, easy adaptation and a wide range of applications.

In this paper, such an approach is proposed for developing a mathematical model and optimizing the control of a complex technological object - a three-shelf gas reactor for ammonia production. The first step in the development of the model is the creation of a deterministic model that allows one to evaluate the criterion function and identify the area of the global extremum. Despite its low accuracy, the deterministic model allows you to evaluate various options for the process parameters and determine what to change to improve the operation of the object.

The second stage is to adapt the model based on experimental data using probabilistic methods. This allows you to get a more accurate model, taking into account all the impacts affecting the object. An adequate model should take into account the nonlinearity of the dependence of the initial process parameters on the input ones, which can lead to complex mathematical equations for describing the control object.

Where approximate solutions are used, various analyzes and checks can then be carried out to evaluate

the accuracy of these solutions and their suitability for use in a particular situation. In particular, the following analyzes can be carried out:

- comparison of the approximate solution with the exact decoupling (if known) to determine the error;*
- conducting a sensitive analysis to assess the impact of changing parameters on the solution results;*
- performing a robustness analysis to determine how small changes in initial conditions or parameters affect the outcome of a solution;*
- carrying out verification to determine whether the approximate solution satisfies the modeled equations of physics;*
- carrying out validation to check how accurately the approximate solution reflects the experimental data or observation.*

As a result of such an analysis, it can be established whether approximate solutions are suitable for use in practical applications or whether more accurate solution methods should be used.

Keywords: *mathematical model, three-shelf gas reactor, ammonia production, optimal process parameters, synthesis gas, bullshit optimization, deterministic model.*

Купіна О.А. – аспірант кафедри «Комп'ютерно-інтегрованих систем управління» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля,
e-mail: kupina@snu.edu.ua

Стаття подана 19.01.2023.

ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-277-1-55-69>

УДК 681.5:69.001.5

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ ІНДЕКСУ ЛЕРНЕРА В ОЦІНЮВАННІ ГАЛУЗЕВОГО РІВНЯ ІНТЕНСИВНОСТІ КОНКУРЕНЦІЇ НА РИНКУ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ

Бурко Я.В., Кривуля П.В., Павлюченко Т.І.

THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE LERNER INDEX USING IN ASSESSING THE MARKET COMPETITION INTENSITY IN THE APPLICATION FOR THE TRANSPORTATION ENGINEERING IN UKRAINE

Burko I.V, Krivulia P.V, Pavliuchenko T.I.

Розглянуто спроможність вирішення завдання оцінювання галузевого рівня інтенсивності конкуренції (на прикладі ринку транспортного машинобудування України) за допомогою індексу Лернера, – показника, який набув поширення у науковій літературі. Увагу до індексу Лернера привернуто через те, що його використання не потребує даних для всіх підприємств галузі, а достатньо лише даних окремого підприємства, яке знаходиться у фокусі уваги аналітика. Проведено аналіз теоретичних положень умов використання індексу Лернера та його змістовного навантаження, та наведено приклади його використання у тому вигляді, як це можливо виконати фахівцям підприємств, які вирішують завдання аналізу товарних ринків, зокрема щодо визначення рівня монополізації ринків, рівня інтенсивності конкуренції, рівня ринкової влади окремих учасників ринку. У ході такого аналізу визначено, що за будь яких умов рівня концентрації ринку неможливо ототожнювати категорії «рівень монополізації ринку» та «рівень монополізації влади», та неможливо вважати антонімами категорії «рівень монополізації ринку» та «рівень інтенсивності конкуренції», – така ситуація вимагає розвинутої системи показників оцінювання монополізації та інтенсивності конкуренції, які забезпечують оцінювання також і конкурентоспроможності окремого підприємства. Також встановлено, що показник індекс Лернера є занадто теоретизованим показником, використан-

ня якого унеможливлено відсутністю достатньої для такого розрахунку системи обліку на підприємствах. Крім того, не вироблено інтерпретаційної шкали для цього показника, що зумовлено також і труднощами його розрахунку. У роботі автори дійшли висновку, що побудова системи показників оцінювання монополізації та інтенсивності конкуренції задля забезпечення оцінювання конкурентоспроможності окремого підприємства має використовувати інші показники у якості індикаторів стану ринку. Для вибору таких індикаторів попередньо має бути розвинута термінологічна основа такого оцінювання, бо відсутність чітких визначень оцінюваних категорій, що характеризують аспекти динаміки й стану конкуренції на товарних ринках та є параметрами динаміки й стану конкуренції, стає вадю розробки та вибору показників оцінювання ступеню прояву таких параметрів.

Ключові слова: *індекс Лернера, інтенсивність конкуренції, рівень монополізації ринку, рівень монополізації влади, транспортне машинобудування.*

Вступ. *Наявність ринкової влади у монопольних виробників дає можливість вести планову роботу у області ціноутворення, а не слідувати за існуючими цінами. На ринку транспортного машинобудування України виробни-*

ки мають певну ринкову владу, але ж їхня діяльність не має того змісту, який розуміється під ціноутворенням у теорії економіки галузевих ринків. Причини такого стану речей можна пояснювати неспроможністю апарату управління дотримуватися рекомендацій теорії (та надавати рекомендації щодо освіти, сприйняття досвіду та такого іншого), але ж можна пояснювати також і недоліками положень теорії, які не надають можливості дійти ґрунтовних рішень із ціноутворення завдяки використанню рекомендацій сучасних прескриптивних «прописаних» рекомендацій.

Поняття інтенсивності конкуренції на галузевому ринку є дуже корисним параметром, який надає можливість визначити конкурентоспроможність окремого підприємства у галузі, та його пов'язують з рядом нібито антонімів: монополізація галузі, концентрації галузі, та монополюючою владою підприємства. Але навіть це протиставлення не є чітким, що вже вадить впевненому використанню окремих показників у якості способів оцінювання таких достатньо абстрактних понять. Індекс Лернера є одним з найвідоміших показників з групи оцінок рівня концентрації галузі, але ж сам він не оцінює саме рівень концентрації галузі, а оцінює скоріше монополізованість окремого підприємства, що значно спрощує оцінювання, бо не потребує даних для всієї галузі. Тому й саме цьому показнику приділено увагу, щоб визначити, чи може він бути показником оцінювання рівня інтенсивності конкуренції та таким чином сприяти оцінюванню конкурентоспроможності підприємства, рівень монополізованості якого оцінюють за формулою індексу Лернера, який є безсумнівно показником, а через це – частиною систем показників, що вимірюють конкурентоспроможність та й далі – вартість підприємства, тощо (про що у [2–7, 12]), та контрапунктом, що стягує інші системи показників, та й за визначенням з [25] є знаковою моделлю, побудованою з використанням шкал. Причому знакова модель – це семіотична модель, тобто шкала має бути інтерпретованою у конвенційних для фахівців категоріях.

Обґрунтування нарахування кінцевих цін на свою продукцію сучасними виробниками ринку транспортного машинобудування України має призводити до отримання монополюючими виробниками цієї галузі задовільних за їх суб'єктивними сподіваннями та коректних за сподіваннями фахівців доходів, які будуть сприяти їхньому подальшому розвитку, або ж, за умов неґрунтового нарахування цін, діяль-

ність призведе до небажаних втрат (навіть, можливо, до збитків), що потягне за собою зменшення ринкової влади підприємства на такому галузевому ринку. Саме для визначення величини нарахування додаткової вартості на граничні витрати для отримання ринкової ціни, яка відповідає рівню влади виробника, використовується індекс Лернера (викладено у [28]), який за видом формули не здається доволі складним у своєму використанні, але при цьому здається дуже корисним для отримання певної інформації, бо для оцінювання не потребує даних для всіх підприємств галузі, а достатньо лише даних окремого підприємства, яке знаходиться у фокусі уваги аналітика. Через це показник є привабливим та має доволі часто використовуватися у оцінках (як ззовні підприємства, так і власним апаратом управління) по відношенню до середніх та великих олігопольних виробників. Також увагу індекс має звертати на себе, бо він за думкою економічних теоретиків також має показувати ступінь втрат, які несе суспільство через придбання за такі значні ціни пропонованих їм товарів у різноманітних монопольних та олігопольних виробників на ринку. Сам показник здається простим, бо лише за визначенням величини нарахування додаткової вартості на граничні витрати для отримання ринкової ціни окремого виробника (без врахування інших значень інших галузевих виробників) індекс Лернера допомагає встановити, чи є ринкова влада у конкретного виробника. Ця думка не є лише думкою автора індексу – вона розповсюджена та продовжує досліджуватися зараз, про що свідчать, наприклад, такі роботи [34, 35]. Але якщо врахувати те, що граничні витрати не є прозорим значенням у аналізі поточної статистики галузевого ринку, то показник здається доволі складним у своєму використанні, хоча й є дуже поширеним у літературних джерелах за темою аналізу ринкової влади, та доволі відомим серед фахівців. Також джерела вказують, як було зазначено, що показник показує нібито ступінь втрат, які несе суспільство, через придбання за таку монопольну ціну пропонованих товарів у вказаних монопольних та й у немонопольних у галузі (але унікальних у сегменті або локальному ринку) виробників, хоча не зрозуміло, чому частину ціни слід вважати втратами контрагента. Якщо вважати, що частина ціни, яку покупець згоден платити, є його втратою поза умов коли хтось пропонує такий саме товар за більш низькою ціною, то такі думки безсумнівно повернуть економічну теорію до стану меркантилізму, з

його тезами про наявність цінності лише тільки у засобів платежу та нехтування цінності виробів та товарів. Крім того, за концепцією монополістичної конкуренції Едварда Чемберліна (викладено у [33]), яка є більш розвинутою для тлумачення економіки галузевих ринків, неможна казати про втрати суспільства, бо навіть не зрозуміло що вважати втратами: збільшення видатків покупців чи втрату ринку спроможності до інноваційного розвитку та можливості задовольняти все нові потреби покупців, якщо він буде у стані так званої «довершеної» конкуренції. Всі ці думки виявляють певні протиріччя, але мають велике значення для розуміння економічного змісту оцінок конкурентоспроможності та динаміки стратегічної кон'юнктури та стратегічної координації, системи показників яких були та є предметом досліджень авторів цієї роботи ([2–7, 12–16, 18, 20–24]), що мотиву до розгляду цього питання задля розвитку систем показників стратегічного управління суб'єктів господарювання.

Мета та завдання дослідження. Розрахунок цього індексу за своїм призначенням є дуже важливою практичною задачею, яка для свого розрахунку обов'язково потребує теоретичних математичних знань, знань у сфері господарського обліку, політики монопольного ринку машинобудування, у тому числі транспортного машинобудування України, яку як галузь було обрано у якості об'єкту аналізу. Тому завданнями були: 1) експериментальні розрахунки індексу Лернера «у ролі» фахівців, що вирішують на підприємствах завдання з аналізу товарних ринків; 2) інтерпретація результатів розрахунків; 3) експертиза доцільності напрямів удосконалення методичних засобів оцінювання галузевого рівня інтенсивності конкуренції на товарних ринках. Але розгляд цього питання має привернути увагу до більш складного питання: аналітичної та аргументаційної спроможності показника «індекс Лернера» у аналітичній роботі, яку спрямовано на встановлення ринкової влади на будь якому галузевому ринку. Таким чином інформація щодо підприємств транспортного машинобудування стає скоріше ілюстративною для загального висновку з приводу прагматичної якості індексу Лернера. А головною метою стає сприяння розробці та використанню фахівцями підприємств показників для вирішення завдання аналізу товарних ринків, зокрема щодо визначення рівня монополізації ринків, рівня інтенсивності конкуренції, рівня ринкової влади окремих учасників ринку, що за кінцевою метою має сприяти забезпеченню

підвищення конкурентоспроможності виробів та підприємств-виробників.

Огляд поточного стану вирішення питання. Індекс Лернера як показник ступеня монопольної влади в економічній теорії. Найчастіше монопольна влада виникає через дуже обмежену кількість виробників на ринку та еластичного попиту зі сторони покупців. Тобто якщо на монопольному ринку залишається лише два або три конкурентні компанії, поява монополізму стає більш вірогіднішим майбутнім станом для даного ринку. У книзі В. І. Мельникової, В. Г. Яременко, О. П. Мельникова, В. О. Корнівська [29, с. 199] авторами вказано про те, що монополія є ринковою структурою, яка передбачає, що одна фірма є єдиним виробником продукту, який не має аналогів. Саме тому монополіст є здатним нараховувати ту ціну, яку він вважає за потрібною саме через відсутність будь-якої конкуренції. Підприємство за рахунок того, що виготовляє унікальну продукцію для своїх споживачів, яка не має аналогів на даному ринку, може назначати як дуже велику ціну на неї, бо можливості у споживачів купувати більш дешеву продукцію немає, або ж не завищувати ціну, наприклад, для того аби утворити умови для подальшого охоплення великої частки ринку (тобто «налаштуватися» на великого за обсягами продажів покупця, якого втрачають інші ринки товарів-субститутів, або він з'являється на ринку через перетік капіталу до як йому здається перспективної за рентабельністю ніші та бажає придбати товар певний період за низькою як йому здається ціною). Тобто ринкову владу можна інтерпретувати також і як формування уявлень про найвигідніші для певного сектору покупців умови – на певному ринку серед ринків товарів субститутів, або у певного виробника серед усіх виробників на певному олігопольному ринку. Але зазвичай монопольні фірми завищують свої ціни порівняно з граничними витратами, що призводить до великої кількості негативних наслідків як для сукупності фірм галузі, так і для їхніх споживачів на ринку, які разом з галуззю складають певний консорт національної економіки (такий альтернативний для кластерної парадигми погляд на сектори національної економіки як на консорти, до яких належать і споживачі, викладено у [8]). Саме ступінь співвідношення граничних витрат та прибутку з «останньої у випуску» одиниці продукту і можна вирахувати за допомогою індексу Лернера. Хоча слід акцентувати увагу, що це не взагалі прибуток до витрат (інакше б це була рентабельність чи прибутковість продажів, бо саме такий показник ви-

значає питому вагу прибутку з одиниці виробу у його ціні) та й рівень граничних витрат у мікроекономіці слід скоріше вважати залежним від використовуваної виробничої потужності, а не від обсягу виробництва, тобто питання розрахунку за формулою Лернера не таке вже й тривіальне, як здається через візуальну простоту формули. Окрім того, граничні витрати на певному діапазоні змін масштабу виробництва зменшуються, а на певному – збільшуються: тож якщо говорити про весь діапазон, то граничні витрати можуть бути як більше, так і менше середніх, які є собівартістю виробу, що визначає його прибутковість.

У Інтернет-статті за даною темою (яка не може бути науковим джерелом, але демонструє стан поширення певної думки за предметом дослідження) можна побачити таке визначення індексу Лернера: “Індекс Лернера – це інструмент, який використовується в мікроекономічному дослідженні, щоб дізнатися ступінь монополізму суспільства чи сектору” [10]. Зазвичай у математичних виразах його позначають літерами IL як аббревіатуру. Запровадження цієї пропозиції Абби Лернера відносять до 1934 року та «за економічним сенсом розрахованих значень індексу вважають їх оцінкою ринкової сили комерційної компанії», про що теж можна дізнатися з того ж джерела [10]. Тобто зіставлення таких тез з одного джерела дає можливість дійти висновку, що «ступінь монополізму» та «ринкова сила» це нібито одне й теж саме. Якщо вважати ступінь монополізму антонімом інтенсивності конкуренції, то ринкова сила стає антонімом інтенсивності конкуренції та наближається до змісту конкурентоспроможності. Тоді стає формальне протиріччя: чи слід дію учасника ринку за умов низької інтенсивності конкуренції вважати ознакою його високої конкурентоспроможності? Чи слід найбільшу конкурентоспроможність вважати можливою за умов відсутності конкуренції? Таке протиріччя є суто формальним та відповіді можуть бути й позитивними за змістом, а не за врахуванням суто протиріччя у використанні споріднених терміноелементів у цих категоріях. Але питання про можливість визначення конкурентоспроможності (або сприяння цьому визначенню) на базі відомих та поширених засобів оцінки ринкової влади є актуальним, а не суто схоластичним.

Використовувана формула розрахунку доли надлишкової за думкою класиків ціни була запропонована дійсно саме Аббою Лернером, тому й отримала назву індексу Лернера (у економіці іноді відбувається так, що ім'я дають фор-

мулі, принципу, явищу, тощо без прямої участі власника імені у створенні цієї формули або наукового положення, – так відбулось, наприклад, з «правилом Парето», назву якому дав Осіп Юран на честь Парето, але до якого Вільфредо Парето не причетний; іноді певне положення або винахід отримує ім'я людини, яка дійсно була дослідником цього наукового предмету, але положення вже винаходили до неї, – як, наприклад, відомо, що терему Піфагора винаходили і до Піфагора, – можливо подібна ж ситуація склалась також із індексом Лернера, бо Микола Джоколі [37] намагається довести, що основні думки про роль відношення граничної собівартості до ціни викладено було до Абби Лернера італійським економістом Луїджі Амарозо; але маємо визнати щонайменше Аббу Лернера автором, який свідомо виклав та пропонував цю конкретну формулу, а роботи вихідця з Бессарабії американця Абби Лернеру та італійця Луїджі Амарозо належать до одного історичного короткого періоду інтербелуму світових війн, у якому з'явилися також роботи англійки Джоан Робінсон, американця Едварда Чемберліна, німця Генріха фон Штакельберга та багатьох інших авторів з різних країн, чії роботи визначали загальні світові умови процесів монополізації, та всі ці роботи мають велике значення для формування та розвитку теорії економіки галузевих ринків):

$$IL = (P - MC) / P = -1 / ED,$$

де літерою P позначено оцінювану ціну (price) товарів (тобто монополісну ціну за припущенням, яке слід перевірити за допомогою цієї формули), а аббревіатурою MC позначено розмір граничних затрат або граничних витрат підприємства (marginal cost – це за чітким перекладом є граничною собівартістю, хоча частіше можна зустріти переклад саме «граничні витрати») Такий коментар про більш чіткий переклад не є суто вказівкою на незначну за прагматичним навантаженням термінологічну хибу, бо вважаємо цю хибу перекладу саме прагматично важливою: за сучасних умов підприємства України обов'язково ведуть облік витрат, але мало які підприємства ведуть облік собівартості, та тим більше майже ніяке підприємство не веде розрахунку граничної собівартості. Буквосполучення ED у свою чергу позначає еластичність попиту на продукцію фірми за ціною.

Характеристику формулі надає така теза, яка відбиває розповсюджену думку: “Індекс Лернера є результатом ділення ціни за врахуванням граничних витрат на ціну. Чим більше ціна відхиляється від витрат, тим більше значення

приймає індекс» [11]. Відзначимо, це також Інтернет-джерело, тобто відбиває скоріше економічний фольклор, ніж академічно чітке визначення. Але ж такий фольклор наочно демонструє як сприймають показник у середовищі фахівців: по-перше від ціни вираховували саме граничні витрати, що нібито дає можливість стверджувати, що індекс показує як «ціна відхиляється від витрат», нібито мова йде про прибутковість. Також у цій статті можна побачити саму формулу для знаходження індексу – вона не відрізняється від традиційного запису. Але ж знову таки показовим є коментар про те, що максимальним значенням, яке може приймати індекс, вважають одиницю, за умов досягнення якої досягається ця сама бажана для виробника абсолютна монополія, яка надає виробникові «абсолютне право» підвищувати ціну стільки скільки він буде вважати за потрібним для себе та можливість не знижувати витрати свого виробництва, що в підсумку призводить до того, що ресурси підприємства витрачаються не раціонально, а споживачі через високі ціни неповністю задовольняють свої потреби у певних товарах, на підприємстві не розробляються і не впроваджуються нові технології, а витрати виробництва постійно зростають. У такому коментарі змішано все: по-перше неможна взагалі для цього математичного виразу, який використано у формулі індексу Лернера, знайти значення, які б надавали значення 1. Тобто мова має йти скоріше про ліміт (граничне значення) індексу, ніж про «максимальне значення». Але ж навіть таке граничне значення скоріше має сенс у математичному тлумаченні індексу, ніж у економічному. По-друге, не можна з'ясувати, з чого можна дійти висновку, що виробник має можливість «не знижувати витрати» (або не вважати за доцільне знижувати витрати) якщо може підвищувати ціну стільки, скільки він буде вважати за потрібним для себе? Якщо може надавати більшу ціну, то не має мотиву зменшувати собівартість, – незрозуміло чому так. Це риторичне питання, але воно демонструє, що такі тези не є академічними, не мають для економіки як науки ніякого значення. По-третє, як це можна стверджувати, що ресурси використовує виробник нерационально, якщо він робить саме те, що вважає «потрібним для себе»? Про яку таку нерациональність може йти мова, якщо відправною тезою для висновку було те, що економічний актор максимізує власну цільову функцію? Формально теза така: актор діє оптимально, тобто нерационально. Це нонсенс для економіки. По-четверте, чому саме через високі ціни споживачі неповністю задовольняють

свої потреби? Хіба економіка може дотримуватися припущення, що може існувати ситуація, коли споживачі повністю задовольняють свої потреби? Таке припущення теж безглуздя, як і теза про оптимальну нерациональність. А тому, й не можна вважати тезу про рівень цін як причину незадовільного рівня задоволення потреб – економіка як наука знає багато прикладів, коли саме значний рівень цін був причиною задоволення потреб споживачів.

Сам автор індексу вважав, що за його допомогою можна вимірювати ринкову владу. Але що саме розуміють під ринковою владою неможна визначити чітко, бо для одних авторів це спроможність встановлювати ціни, що є більшими за граничну собівартість, а для інших це спроможність встановлювати ціни не такі само, як встановлюють інші агенти того ж ринку. Певна логіка для ототожнення таких тлумачень є, якщо вважати вірною тезу, що на ринках з бездоганною конкуренцією ціни однакові, дорівнюють граничній собівартості та продавці не можуть їх встановлювати іншими, бо у такому разі втрачають покупців або стають неефективними. За Бертраном це вірно навіть для олігопольного ринку. Але сучасна економічна теорія знає, що бездоганної конкуренції не існувало та існувати не може, а за Чемберліном така неможливість є позитивною рисою ринкового господарства, бо є підґрунтям для інноваційного розвитку ринків. Більш того, на ринках з монопольною конкуренцією ця логіка ототожнення ринкової влади як можливості впливу на ціни та як протиставлення неможливості встановлювати будь які ціни за умов конкуренції у маршаліансько-мейнстримовому розумінні, повністю порушено самим змістом поняття монополістичної конкуренції. Але деякі автори (а саме можемо навести як приклад К. Ельзінгу та Д. Мілса [36]) вважають, що індекс Лернера визначає ринкову владу як відхилення від ефективних для галузі рішень за Парето, тобто вимірює втрати суспільного добробуту. Така думка, щоб мати аргументаційну силу, має спиратися на розвинуту систему тлумачення значень індексу Лернера, бо складно протиставляти просто (тобто неекономічній у загальноосвітовому тлумаченні) ефективність окремого підприємства саме економічній ефективності галузі: не є прозорим протиставлення в різних системах вимірювання, які не є протилежностями та у різних випадках когерентні або навпаки як засіб обґрунтування раціональних рішень (але ж і раціональність має визначатися у прив'язці до суб'єкту, індивідуального чи колективного, але певного, – цього поки що

немає у обґрунтуванні таких тез про вимірювання втрати суспільного добробуту на базі використання індексу Лернера).

Таким чином, важливим завданням стає визначення способів інтерпретування значень індексу Лернера. Тобто якщо індекс може приймати значення від 0 до 1 в залежності від того в якому ринку перебуває дане підприємство, то як залежать ці значення від якісної інтерпретації рівня монополізації ринку? Наявність таких інтерпретацій надавало б також можливість складання й ситуаційної моделі діагностики стратегічної кон'юнктури галузевого ринку. Для вирішення такого завдання інтерпретації надають рекомендації щодо використання шкал тлумачення, тобто мова йде про надання нечітких термів на універсальній множині кількісних значень показника. Таку шкалу надано, наприклад, як зовсім приблизний розподіл значень детально розповідає авторка навчального посібника «Економіка галузевих ринків» А. І. Ігнатюк: "Для ринку монополістичної конкуренції коефіцієнт Лернера коливається в межах 0,3–0,5, для ринку олігополії – 0,6–0,8 залежно від кількості фірм на ринку, для ринків з індивідуальним домінуванням він може досягати 0,8–0,9, для чистої монополії наближається до одиниці" [9, с. 100]. Слід визнати, що хоча намагання виробити інтерпретаційну шкалу є цілком позитивним та має вирішувати актуальні завдання економіки галузевих ринків, але саме таку конкретну спробу складання шкали виконано без достатньої аргументації щодо обраних інтервалів значень, бо насамперед вони занадто чіткі та рівномірні, що навіть неправдоподібно. Крім того, дуже дивним здається порядок тлумачень: слід розуміти, що значення до 0,3 мабуть вказують про наближення до бездоганної конкуренції, а потім за порядком нечітких термів йде «монополістична конкуренція» (авторський концепт Е. Чемберліна, який не доповнює ряд категорій «олігополія» та «монополія»), а є концептуальним протиставлення йому, тобто альтернативним тлумаченням динаміки стратегічної кон'юнктури та стратегічної координації), а потім вже йдуть «олігополія» та «монополія» (таким чином олігополія займає місце між двома концептами «монополії»). Саме така послідовність заважає розуміти шкалу як таку, що саме систематизує тлумачення, впорядковує їх. Крім того, зауваження про те, що ринок олігополії слід визнавати у залежності від кількості фірм на ринку начебто нівелює важливість встановлення значень індексу Лернера у певному діапазоні, а відсутність тлумачення для діапазону 0,5–0,6 вказує (як і чіткі пороги діапа-

зонів) на довільний вибір (у який легко було з'явитися ще й помилці невмотивованої лакуни) інтерпретаційних діапазонів, тобто інтервалів нечітких змінних на множині універсального множини значень індексу Лернера.

Тому безсумнівно можна дійти висновку, що одним із поширених способів визначення ступеня монопольної влади на монопольному ринку, а внаслідок цього й інструментом (за тлумаченням) визначення втрат покупців від монопольної влади, використовують такий економічний показник як індекс Лернера, який вважають достатньо простим у використанні. Межею значення індексу вважають одиницю, за умов наближення до якої досягається ця сама бажана для виробника абсолютна монополія, яка надає виробникові можливість підвищувати ціну стільки скільки він буде вважати за потрібним для себе (насправді буде діяти не менш раціонально ніж за монополістичних умов, але з меншими обмеженнями та з можливістю досягти більшої ефективності затрат), а також можливість не знижувати витрати свого виробництва (цю тезу, як вже було сказано раніше лише повторюємо за економічним фольклором, але не вважаємо ґрунтовним науковим положенням), що в підсумку призводить до того, що виробники отримують бажаний ними прибуток, але при цьому ресурси підприємства витрачаються не раціонально (за якоюсь однією раціональністю з множини можливих раціональностей, які завжди частково мають розбіжності, а тому завжди якесь повністю раціональне рішення за одним типом раціональності є неповною мірою раціональним за іншим типом раціональності), споживачі через високі ціни неповністю задовольняють свої потреби у певних товарах. За умов невеликих ринкових цін на готову продукцію та відсутності стимулів у підприємств до розвитку, на підприємстві не розробляються і не впроваджуються нові технології (цю тезу економічного фольклору повністю спростовують положення концепції Чемберліна та досвід існування великих монополій другої половини 20-го сторіччя), а витрати виробництва при таких незначних доходах підприємства постійно зростають (це дійсно відбувається у деяких галузях, але скоріше характерно військово-промислового комплексу розвинутих країн, витрати якого виконують це й макроекономічну роль стимулятора мультиплікативного ефекту). За такою аргументацією одним зі способів визначення ступеню монопольної влади підприємств на монопольному ринку, а внаслідок і втрат покупців від монопольної влади, використовують такий економічний пока-

зник як індекс Лернера. Але ж сумнівною є можливість абсолютного впорядкування за суспільною цінністю протиставлених видів раціональності, та сумнівною є простота розрахунку цього інструменту на конкретних підприємствах та дієвість використання його значень як прагматичних, тобто якісно інтерпретованих кількісних значень, що є релевантними рівню ринкової влади підприємства.

Основна частина: унаочнення умовиводів огляду. Переваги та недоліки використання індексу Лернера на ринку транспортного машинобудування України. Для проведення наочного експерименту порівняння за допомогою індексу Лернера монопольної влади підприємств із нетотожних але близьких за видом економічної діяльності галузей знадобиться два підприємства, а тому треба обрати ці два підприємства (одне з достатньо високою унікальністю продукції, та ще одне немонопольне підприємство, яке теж знаходиться на території України та теж належить до тієї ж самої галузі, хоча й виробляє іншу продукцію, тобто діє на іншому ринку). Після чого визначити окремо для кожного з підприємств характерне йому значення індексу Лернера та порівняти ці значення індексів між собою. Таким чином ми визначимо хто з цих двох підприємств має більшу ринкову владу на даному ринку, наскільки правдоподібними є формальні інтерпретації за шкалою нечітких термів, та наскільки такий розрахунок та такі інтерпретації можуть бути корисними.

Оскільки було обрано для проведення експериментального наочного розрахунку галузь транспортного машинобудування (такий вибір відповідає досвіду авторів, що мали освіту саме з економіки та організації машинобудування, та їй відповідає практичний досвід авторів та експертів, які б могли неформально інтерпретувати значення розрахунків), то підприємства було обрано саме ті, що належать транспортному машинобудуванню, але не виробляють транспортні засоби одного типу. Машинобудування в Україні має дуже велике розгалуження у своїй структурі. Про цю характеристику зазначено, наприклад, у [27], – це джерело повідомляє, що машинобудування України поділяється на важке машинобудування, ракетно-космічне, транспортне, сільськогосподарське, хімічне та нафтохімічне, виробництво устаткування для легкої та харчової промисловості, верстатобудування, електротехнічне машинобудування, точне машинобудування, металообробку та побутове машинобудування. Як і монополісти, ті фірми, які знаходять-

ся в статусі не монополістів, також використовують індекс Лернера у своїй підприємницькій діяльності задля визначення свого монопольного або навпаки статусу на ринку. Щонайменше аналіз інтенсивності конкуренції вмотивовано актуальними у сучасній аналітичній роботі завданнями оцінювання конкурентоспроможності підприємств.

Доцільно також навести склад підгалузей транспортного машинобудування, саме про дві з яких і піде мова. Найбільш поширене за сучасних умов джерело з цього приводу акцентує увагу на такому визначенні: «Транспортне машинобудування — важлива ділянка машинобудування, яка охоплює такі галузі: залізничне машинобудування, суднобудування, автомобільну та авіаційну промисловість» [31]. Достатньо великим транспортним монополістом в Україні, який займається авіадвигобудуванням (тобто маємо очікувати велике значення індексу Лернера, яке має перевищувати щонайменше значення 0,8), на даний момент є Приватне акціонерне товариство “Мотор Січ”, дані бухгалтерської інформації якого наводяться у поданій статті [1], — роки візьмемо такі, на які не мають впливати події, що відбувались у країні в останні десять років.

Для порівняння монопольної влади за допомогою індексу Лернера знадобиться й друге підприємство, а тому треба обрати ще одне з олігопольних або немонопольних підприємств транспортного машинобудування, яке теж знаходиться на території України. Після чого визначити окремо для кожного характерне йому значення індексу Лернера і порівняти ці індекси між собою та з очікуваними експертними значеннями. Таким чином визначимо хто з цих двох підприємств має більшу ринкову владу на конкретному ринку транспортного машинобудування. Загальні дані, в тому числі фінансові, про діяльність другого підприємства під назвою Приватне акціонерне товариство “Крюківський вагонобудівний завод”, який займається виготовленням вантажних вагонів, пасажирських вагонів локомотивної тяги, міжрегіональними та приміськими поїздами, дизель-поїздами, поїздами метро, ескалаторами, ходовими частинами до вантажних та пасажирських вагонів, надані у джерелі [32]. Період теж маємо вибрати такий саме. Після вивчення такої інформації можна зрозуміти, що дане підприємство ще знаходиться у пошуку рішень розв’язання своїх фінансових проблем, урегулює ціни на послуги для своїх клієнтів, тобто діє як господарчий суб’єкт, який прагне отримати більшу ринкову владу, та відповідально підходить до вирішення цього за-

вдання врегулювання цін на свої товари та визначення кількості самих товарів, які воно пропонує покупцям.

За даними з відкритих джерел (наведені у табл. 1 та 2) виконаємо спробу розрахувати індекс Лернера таким шляхом, який можуть вважати можливим, очікуваним та навіть доречним для аналітиків ринкової кон'юнктури на підприємствах. Розрахунки виконаємо для кожного підприємства за 2011 рік, а за результатами розрахунків маємо дізнатися ступінь монопольної влади виробників на ринку. З чого й маємо дійти висновків, які мають виходити щонайменше з того міркування, що монополіст завжди буде

мати більше значення індексу Лернера, тобто й більшу ринкову владу на ринку на відміну від монополіста, яким у даному прикладі слугувало друге підприємство.

Для того, щоб розрахувати індекс Лернера Приватного акціонерного товариства "Мотор Січ" за 2011 рік треба скористатися даними фінансової звітності цього підприємства, що наведено у табл. 1. Отримаємо такий розрахунок для першого підприємства:

$$I_{MC} = (5792524 - 2927924) / 5792524 = 0,4945.$$

Таблиця 1

Витяг з фінансової звітності Приватного акціонерного товариства "Мотор Січ" за 2011 рік

Стаття	Код рядка	2011	2012
1	2	3	4
Доход (виручка) від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг)	10	5891225	5106987
Податок на додану вартість	15	-95424	-69542
Акцизний збір	20	-	-
Інші вирахування з доходу	30	-3277	-6287
Чистий доход (виручка) від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг)	35	5792524	5031158
Собівартість реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг)	40	-2927924	-2531021
Загальновиробничі витрати	45	-	-
Валовий: прибуток	50	2864600	2500137
Збиток	55	-	-

Таблиця 2

Витяг з фінансової звітності Приватного акціонерного товариства "Крюківський вагонобудівний завод" за 2011 рік

Найменування показника	Код рядка	За звітний період	За попередній період
1	2	3	4
Доход (виручка) від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг)	010	6417507	4623634
Податок на додану вартість	015	(239697)	(254678)
Акцизний збір	020	(-)	(-)
Інші вирахування з доходу	030	(-)	(-)
Чистий доход (виручка) від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг)	035	6177810	4368956
Собівартість реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг)	040	4907688	3622780
Валовий: прибуток	050	1270122	746176
Збиток	055	(-)	(-)

За результатом можна сказати, що отримано саме таке позитивне значення індексу Лернера, що варіюється від 0 до 1, про яке й вказано в джерелах. Такий результат, звісно, й був очікуваним, бо структура формули не дає можливості очікувати чогось іншого. Але які прагматичні інтерпретації можуть бути щодо отриманого значення за вказаною раніше шкалою: значення 0,4945 – це майже 0,5, але ж все таки менше, тобто підприємство нібито належить до ринку монополістичної конкуренції (це дійсно так і є, але ж це суперечить висновкам якісного аналізу шкали, згідно до яких монополістична конкуренція є більш монополізованим станом ринку ніж олігополія, яку мають встановлювати значення від розрахункового 0,5). Тепер треба розрахувати індекс Лернера для другого Приватного акціонерного товариства “Крюківський вагобудівний завод” за 2011 рік, при цьому також скориставшись даними фінансової звітності (табл. 2):

$$I_{\text{КВЗ}} = (6177810 - 4907688) / 6177810 = 0,2055.$$

Отримано позитивне значення індексу Лернера для другого підприємства, яке навіть не належить до діапазонів, які наведено у явному вигляді у роботі [9], бо початок ряду діапазонів починається в цій роботі зі значення 0,3. Виходячи з зазначеного можна зробити висновок, що перше ПАТ “Мотор Січ” за розрахунками має більший індекс Лернера, порівняно з другим ПАТ “Крюківський вагобудівний завод”, а тому і має більшу монополістичну владу на ринку за рекомендаціями щодо тлумачення значень показника I_L .

За результатами цих експериментальних розрахунків можна дійти висновку, що індекс Лернера дійсно виконує своє призначення, бо навіть якщо він не спроможний визначити рівень інтенсивності конкуренції на галузевому ринку у кардиналістському сенсі (тобто його значення – це достатньо складно інтерпретовані значення, які є саме кількісними вимірами), але ж він спроможний визначити рівень інтенсивності конкуренції на галузевому ринку у ординалістському сенсі (тобто його значення – це ті значення, які можна впорядкувати як більші та менші, та через це впорядкувати якісно ступінь інтенсивності конкуренції або навпаки монополістичної влади).

Але відповідність призначенню за таким прикладом можна встановити тільки за ординалістськими тлумаченнями, – якщо кардиналістське порівняння неможливе, то у такому разі чи

можуть вони забезпечити порівняння рівня ринкової влади підприємств різних галузей. Крім того, відповіді потребує також і питання про те, чи слід наведений розрахунок вважати коректним та відповідним задумці Абби Лернера. З цього приводу можна навести речення того ж самого автора, коректність інтерпретаційної шкали якого було вище у цій статті піддано критиці: «Проте пряме використання середніх змінних витрат замість граничних для визначення індексу Лернера призводить до істотних похибок. Відхилення величини $(P - AVC)/P$ від коефіцієнта Лернера збільшується з підвищенням норми амортизації, нормального прибутку, вартості капіталу, що використовується, та зниженням загальної виручки» [9, с. 100]. У цьому випадку повністю згодні з такою думкою І. А. Ігнатюк, бо тлумачення граничних витрат стає для практиків категорією з доволі широким тлумаченням, а їх розрахунок не за вихідними даними університетських задач, а за даними обліку на реальних підприємствах ускладнено як нечітким розумінням цієї категорії, так і відсутністю даних управлінського обліку, який би було спрямовано на забезпечення вирішення завдань, які використовують положення аналітичної економіки.

Так само у наведеному прикладі для двох заводів транспортного машинобудування розрахунки можна вважати вірними тільки у тому випадку, якщо диференціал, за яким відбувається зростання собівартості, – це весь обсяг випуску виробів підприємств. Звісно, така позиція у припущенні не є задовільною. Та навіть у цьому випадку використання максимального диференціалу отримане значення відповідає також і припущенню, що валові витрати для нульового випуску дорівнюють нулю, але ж більш коректним для економіста-аналітика було б те припущення, що вони дорівнюють умовно постійним витратам. Причому не тим умовно постійним витратам, які можна було б визначити за даними використаної звітності, а тим що відповідали би щонайменшій виробничій потужності виробництва аналогічних виробів. Але ж як можна встановити це значення умовно постійних витрат для найменшої виробничої потужності цих певних виробів? Це вже навіть не риторичне питання, а досить складне актуальне завдання досліджень у полі аналітичної економіки.

Якщо ж зменшувати диференціал та розраховувати значення індексу Лернера за меншими диференціалами (в ідеалі для транспортного машинобудування найкращим значенням ди-

ференціалу була б одиниця виробу – один авіадвигун та один вагон для наведених у прикладі підприємств), то наступним складним актуальним завданням стало би встановлення кроку зміни виробничої потужності для кожного з підприємств, бо для багатьох машинобудівних підприємств неможна припускати, що можна спроектувати завод для будь якого граничного значення виробничої потужності. Якщо ж не володіти даними про ці кроки зміни масштабу виробництва у відповідності з реально можливими змінами виробничої потужності, то чітких та коректних значень граничної собівартості отримати неможливо. Тож і коректний розрахунок індексу Лернера слід визнати суто компетентністю економістів-аналітиків, які мають справу з абстрактними проектами організації виробництва, а не з конкретними.

Та й до цього ж маємо додати, що всі ці складності постають навіть перед підприємствами, які мають достатньо просту номенклатуру виробів. Якщо ж мова йде про виробництва з великою номенклатурою, то розподіл умовно постійних витрат, які мають змінюватися з врахування змін у масштабі виробництва не просто як змін у програмі випуску, а як змін у виробничій потужності, – такий розподіл стає виключно складним завданням, бо варіантів розподілу може бути забагато, та всі вони є можливими та припустимими організаційними рішеннями, а не просто множиною рішень, серед яких легко встановити безумовно раціональні комбінації.

Всі ці зауваження вказують на те, що навіть питання про розробку якісної інтерпретаційної шкали не стає першочерговим у низці актуальних завдань досліджень удосконалення методичного апарату економістів-аналітиків стратегічної кон'юнктури ринків. Але ж всі ті зауваження, які було сформульовано у огляді про встановлення змістовних зав'язків між оцінками інтенсивності конкуренції, рівнем монополізації ринку, рівнем ринкової влади та рівнем конкурентоспроможності підприємства, також мають значення для складу перспективних завдань і планів досліджень у предметній області економіки галузевих ринків та формують коло актуальних завдань розвитку методичного апарату економістів-аналітиків, хоча й не стають першочерговими у порядку вирішення цих завдань через складність їх вирішення до розв'язання завдань, що мають забезпечувати такі методичні винаходи.

Висновок та напрями подальшого дослідження. Таким чином, проведення наведеного

експериментального розрахункового унаочнення порівняння рівня ринкової влади за значеннями індексу Лернера вказує, що індекс Лернера як методичний засіб стає водночас СП-апосіопезою та СП-просіопезою (зміст таких понять запропоновано у [26], де термом «СП-апосіопеза» позначено систему показників або взагалі будь-який СП-об'єкт, який існує без опрацьованого методичного забезпечення подальшого використання вихідних даних, а термом «СП-просіопезою» позначено систему показників або взагалі будь-який СП-об'єкт, який запропоновано без опрацьованого методичного та інформаційного забезпечення збору даних для його використання), бо не існує достатнього методичного та інформаційного забезпечення отримання кінцевого результату розрахунку за такою формулою, та й не існує методичних рекомендацій подальшого використання отриманих значень, якщо вони навіть будуть якимось чином отримані. Оскільки мова йде вже про СП-просіопезу, тому вже можна дійти висновку, що й подальше застосування отриманого значення індексу Лернера для отримання інших показників оцінки працівниками апарату управління підприємства стратегічної кон'юнктури та стратегічних умов отримання свого фінансового результату, визначення ринкової влади підприємства на монопольному ринку, інтерпретації таких значень, та отримання інших оцінок на базі перерахованих є ускладненим за сучасним станом інформаційного та методичного забезпечення використання положень аналітичної економіки на підприємствах. Це свідчить про те, що не є досяжними для фахівців на підприємстві ті обіцяні досить великі переваги використання даного індексу для підприємств, – ці переваги пов'язують з тим, що цей показник сам по собі вказує на ступінь потужності кожного окремо взятого виробника у певній галузі та вказує хто з цих виробників є більш впливовим на даному ринку в порівнянні з іншими, а також на те, наскільки великими є втрати покупців через подібних монопольних гравців на ринку. Всі ці тези можуть бути визнані недостатньо аргументованими, оскільки практична перевірка таких тез ускладнена, але й пошук можливості такої перевірки є дійсно умотивованим, бо за теоретичним розглядом якостей показника майже неможливо визначити його недоліків через таку багату функціональність індексу в його практичному та теоретичному використанні. Але ж крім встановлених вад практичного застосування на нашу думку слід висунути й інші зауваження до прагматич-

них властивостей показника: в першу чергу вважаємо, що недоцільно ототожнювати монопольну владу та низький рівень інтенсивності конкуренції. Цю тезу як висновок висуваємо хоча б через те, що інтенсивність як напруга та явище конкурентних маневрів між потенційними конкурентами за умов монополістичної конкуренції теж існує. Хоча ця теза також вказує на неспроможність використання традиційних показників виміру інтенсивності конкуренції для відбиття такої напруги.

У так званому економічному мейнстрімі вважається аргументованою теза, що монопольну владу на ринку не можна назвати позитивною умовою розвитку ринка та й для суспільства загалом, бо через відсутність вільної конкуренції, коли у кожного виробника ціни дорівнюють їхнім граничним витратам, монополісти отримують право завищувати свої ціни та при цьому не зменшувати обсяг своїх граничних витрат, що в кінці призводить до відсутності стимулів розвитку у підприємств, в наслідок чого їхня ефективність не підвищується як це нібито має відбуватися в межах розвитку будь-якого комерційного підприємства, яке прагне зменшити свої витрати та збільшити отримуваний прибуток від своєї діяльності. Але не вважаємо цю тезу щонайменше відповідною ситуаційній парадигмі економічної діагностики: неможна робити абсолютні висновки про негативність того, чому альтернатив немає, а раціональна поведінка суб'єктів господарювання спрямована за думкою того ж самого економічного мейнстріму на власну вигоду. До того ж додамо, що насправді навіть використання прибутку як головного критерію є застарілим рудиментом мейнстріму, тож такі звинувачення у нераціональній раціональності є негрунтовними хоча б через те, що головним критерієм навіть таких нібито раціонально аморальних суб'єктів господарювання є темп зростання власного капіталу, а це неможна ототожнювати з критерієм максимізації прибутку. Але головним результатом проведеного експерименту унаочнення «простого» розрахунку індексу Лернера стає демонстрація його методичної та інформаційної незабезпеченості. Причому було обрано два виробника, що діють на різних але достатньо близьких за галузевою належністю ринках, та інтерпретації яких як маючих або ні ринкову владу достатньо прозора для експертів. Саме тому для наочного визначення ступеня ринкової влади взятого підприємства серед конкуруючих потенційних монополістів та немонополістів і застосовано той самий індекс Лернера, який вла-

сне й має надавати інформацію про цей економічний стан. Але можна визнати, що він дійсно надає таку інформацію у ординалістському сенсі, але не у кардиналістському (зазвичай ці терміни означають альтернативні використання порядкових або кількісних шкал у виміру корисності, але вважаємо, що таку дихотомію можна використовувати щодо будь-яких ситуацій дискусії про можливість використання порядкових або кількісних шкал виміру), тобто він все ж таки може бути використаним як один з вимірників ринкової влади, та мабуть має потенціал більш поширеного та більш змістовного використання, якщо будуть подолані вади, які виникають у будь-яких користувачів СП-апосіопез та СП-просіопез.

Серед напрямів подальшого дослідження вважаємо доцільним розглянути обсяг значень трьох майже термінологічних позначень: ринкова влада, монопольна влада, інтенсивність конкуренції, конкурентоспроможність за умов монополістичної конкуренції. Вважаємо, що кожне з цих чотирьох позначень має своє власне семантичне значення, що й спричиняє використання всіх трьох існуючих та четвертого, яке вважаємо за доцільне запропонувати до наукового обороту. Але ж у багатьох випадках три існуючі використовують як синонімічні позначення (як у випадку ринкової влади та монопольної влади, рівня монополізації), або як строго антонімічні (як у випадку монопольної влади та інтенсивності конкуренції). Більш чітке визначення їхніх значень буде сприяти й розвитку кількісного аналізу цих явищ, – як виникненню нових систем показників і взагалі СП-об'єктів, так і тлумаченню вже існуючих та розповсюджених.

Література

1. Аналіз фінансових результатів ПАТ “Мотор Січ”. URL: https://revolution.allbest.ru/finance/00424812_1.html
2. Бурко Я. В. Взаємозв'язок критеріїв управління конкурентоспроможністю підприємства і показників оцінки його внутрішньої вартості за різними підходами. *Маркетинг: теорія і практика*. Зб. наук праць СХУ ім. В. Даля. №20. 2013. С.23-27.
3. Бурко Я. В. Вплив конкурентоспроможності підприємства на його внутрішню вартість. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2013. №3 (192). Ч. 2. С.21-24.
4. Бурко Я. В. Оцінка конкурентоспроможності підприємств. *Прометей*. Регіональний зб. наук.

- праць з економіки. Вип. 3 (21). Донецьк: Юго-Восток, ЛТД, 2006. С. 173–176.
5. Бурко Я. В. Методологічні аспекти конкурентоспроможності підприємства. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2007. № 1 (107). С. 82–87.
 6. Бурко Я. В. Методичні підходи до розрахунку інтегральної оцінки конкурентоспроможності промислових підприємств. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2008. № 4 (122). С. 27–33.
 7. Бурко Я. В. Управление конкурентоспособностью предприятия. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2006. № 12 (106). С. 59–61.
 8. Галгаш Р. А. Региональні кластери підприємств: розвиток та стратегічна координація : монографія. Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2017. 344 с.
 9. Ігнатюк А. І. Еконкоміка галузевих ринків : навчальний посібник. К.: ВПЦ "Київський університет", 2015. 448 с.
 10. Индекс Лернера. URL: <https://uk.economy-pedia.com/11031851-lerner-index>
 11. Индекс Лернера. Причины і наслідки монополізації ринку. URL: <https://ukr.aboutlaserremoval.com/indeks-lernera-prichini-i-posledstviya-monopolizacii-rinka-read-319949#>
 12. Кривуля П. В., Бурко Я. В. Актуальность исследования терминологических аспектов целеполагания повышения конкурентоспособности при аналитическом обеспечении устойчивого развития региона. *Обліково-аналітичне та організаційно-економічне забезпечення розвитку місцевих громад : збірник тез доповідей II Міжн. наук.-практ. конф. Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2018. С. 11-14.*
 13. Кривуля П. В. Анализ взаимосвязности и приоритетности показателей экономической эффективности. *Вісник Східноукраїнського державного університету*. 1999. №5 (20). С. 158-164.
 14. Кривуля П. В. Анализ товарного рынка методом ортогональных шкал качества. *Управління та регулювання діяльності підприємств, установ та організацій*. Зб. наук. праць Донецької державної академії управління. Т. III. Вип. 10. Серія: "Державне управління". Донецьк: ДонДАУ, 2002. С. 73-94.
 15. Кривуля П. В. Анализ X-образных моделей рыночного равновесия. *Економіка. Менеджмент. Підприємництво*. Зб. наук. праць Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2002. Вип. 9. Ч. II. С. 22-31.
 16. Кривуля П. В. Анализ формализованной задачи ценообразования поставщиков. *Економіка. Менеджмент. Підприємництво*. Зб. наук. праць Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2002. Вип. 8. С. 75-90.
 17. Кривуля П. В. Контекстная карта мероприятий и её место в инструментарии ситуационного управления. *Економіка. Менеджмент. Підприємництво*. Зб. наук. праць Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2005. Вип. 14. Ч. I. С. 162-178.
 18. Кривуля П. В. Моделирование микроэкономических условий ценообразования. *Вісник Східноукраїнського державного університету*. 1997. №3 (7). С. 124-126.
 19. Кривуля П. В. О синтезе методов анализа иерархий и фаззи-вычислений в целях развития ситуационной диагностики. *Економіка. Менеджмент. Підприємництво*. Зб. наук. праць Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Вип. 2006. 16 (II). С. 181-195.
 20. Кривуля П. В. Основы моделирования спроса и ценовой дискриминации (Часть 1). *Економіка. Менеджмент. Підприємництво*. Зб. наук. праць Східноукраїнського національного університету. 2001. Вип. 5. С. 91-106.
 21. Кривуля П. В. Основы моделирования спроса и ценовой дискриминации (Часть 2). *Економіка. Менеджмент. Підприємництво*. Зб. наук. праць Східноукраїнського національного університету. 2001. Вип. 6. С. 131-143.
 22. Кривуля П. В. Отсроченное рыночное предложение: стратегические аспекты планирования. *Економіка. Менеджмент. Підприємництво*. Зб. наук. праць Східноукраїнського національного університету. 2000. Вип. 3. С. 40-56.
 23. Кривуля П. В. От теории организации промышленности к теории анализа стратегической конъюнктуры. *Організатор производства*. №1(16). М.: Экономика и финансы, 2003. С. 18-20.
 24. Кривуля П. В. Постановка и анализ задачи опосредования спроса. *Економіка. Менеджмент. Підприємництво*. Зб. наук. праць Східноукраїнського державного університету. 2000. Вип. 1. С. 65-77.
 25. Кривуля П. В. Родовая категория видовой разнообразия систем показателей. *Економіка. Менеджмент. Підприємництво*. 2008. Вип. 19 (II). С. 52-81.
 26. Кривуля П. В. Сходства и различия в ошибках синтеза систем показателей: СП-зевгма, СП-силлепс, СП-апокойну, СП-анаколуф. *Вісник*

- Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.* 2013. № 16 (205). С. 216-223.
27. Машинобудування України. [Електронний ресурс]. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Машинобудування_України
 28. Лернер А. П. Понятие монополии и измерение монопольной власти. *Вехи экономической мысли*. Т. 5. СПб.: Экономическая школа. 2003. С. 536—566.
 29. Мельникова В. І., Яременко В. Г., Мельникова О. П., Корнівська В. О. Мікроекономіка: Навчальний посібник. К.: ВД “Професіонал”, 2005. 400 с.
 30. Тироль Ж. Рынки и рыночная власть : Теория организации промышленности / Пер. с англ. СПб. : Экономическая школа, 1996. ХЛП+745 с.
 31. Транспортне машинобудування України. [Електронний ресурс]. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Транспортне_машинобудування
 32. Фінансова звітність 2011. URL: <https://www.kvsz.com/index.php/ua/golovna/korporativne-upravlinnya/finansova-zvitnist/item/816-finansova-zvitnist-2011>
 33. Чемберлин Э. Теория монополистической конкуренции (Реориентация теории стоимости) / пер. с англ. Э. Г. Лейкина и Л. Я. Розовского. М.: Экономика, 1996. 351 с.
 34. Spierdijk, Laura; Zaouras, Michalis. The Lerner index and revenue maximization. *Applied Economics Letters*. 24 (15) (2017): 1075–1079. doi: 10.1080/13504851.2016.1254333
 35. Sun, B., Jing, W., Zhao, X., & He, Y. Research on market power and market structure. *International Journal of Crowd Science*, 2017. 1(3), 210–222. doi: 10.1108/IJCS-08-2017-0009
 36. Elzinga, K. & Mills, D. The Lerner Index of Monopoly Power: Origins and Uses. *The American Economic Review*, 2011. 101(3), 558–564. doi: 10.1257/aer.101.3.558
 37. Giocoli, Nicola (2012). Who Invented the Lerner Index? Luigi Amoroso, the Dominant Firm Model, and the Measurement of Market Power. *Review of Industrial Organization*. 2012. 41 (3): 181–191. doi: 10.1007/s11151-012-9355-7
- ### References
1. Analysis of financial results of Motor Sich PJSC. URL: https://revolution.allbest.ru/finance/00424812_1.html
 2. Burko, I. V. Different approaches of interrelationship for enterprise competitiveness management criteria and indicators of its internal value assessment. *Marketing: theory and practice*. Science papers of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. №20. 2013. P. 23-27.
 3. Burko, I. V. The impact of the enterprise's competitiveness on its internal value. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2013. №3 (192). Part 2. P. 21-24.
 4. Burko, I. V. Evaluation of the competitiveness of the enterprise. *Prometheus*. Science papers of regional economist collegium. Issue 3 (21). Donetsk: Yugo-Vostok, Ltd, 2006. P. 173–176.
 5. Burko, I. V. Methodological aspects of enterprise competitiveness. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2007. № 1 (107). P. 82–87.
 6. Burko, I. V. Methodical approaches to the calculation of the integrated assessment of the competitiveness of industrial enterprises. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2008. № 4 (122). P. 27–33.
 7. Burko, I. V. Management of enterprise competitiveness. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2006. № 12 (106). P. 59–61.
 8. Halgash, R. A. Regional clusters of enterprises: development and strategic coordination : monograph. Severodonetsk: VDEUNU, 2017. 344 p.
 9. Ihnatiuk, A. I. Economics of Industries : Tutorial. Kyiv.: Kyiv University, 2015. 448 p.
 10. Lerner index. URL: <https://uk.economy-pedia.com/11031851-lerner-index>
 11. Lerner index. Causes and consequences of market monopolization. URL: <https://ukr.aboutlaserremoval.com/indeks-lerneraprichini-i-posledstviya-monopolizacii-rinka-read-319949#>
 12. Krivulia, P. V., Burko, I. V. The relevance of the terminological aspects study of goal-setting to increase competitiveness in the analytical provision of region sustainable development. *Accounting analytical and organizational economic support for the development of local communities: Pappers of Conference*. Severodonetsk: VDEUNU, 2018. P. 11-14.
 13. Krivulia, P. V. Analysis the doubtful of correlation and priority of performance indicators. *Visnik of the East Ukrainian State University*. 1999. №5 (20). P. 158-164.
 14. Krivulia, P. V. Analysis the commodity market by the characteristic attributes orthogonal scales method. *Management and regulation of the enterprises, institutions and organizations activities*. Scientific papers of the Donetsk State Academy of Management. Vol. III. Issue 10. Серія: “Державне управління”. Донецьк: ДонДАУ, 2002. P. 73-94.
 15. Krivulia, P. V. Critical analysis the cobweb models of «demand-supply» equilibrium. *Economics. Management. Entrepreneurship*. Science papers of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2002. Issue 9. Part II. P. 22-31.
 16. Krivulia, P. V. Formalization and Analysis of the Supplier Pricing Problem. *Economics. Management. Entrepreneurship*. Science papers of

- the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2002. Issue 8. P. 75-90.
17. Krivulia, P. V. Rapid response map as the management pattern and application of contextual studies. *Economics. Management. Entrepreneurship*. Science papers of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2005. Issue 14. Part 1. P. 162-178.
 18. Krivulia, P. V. Aspects of pricing microeconomic circumstances models. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 1997. №3 (7). P. 124-126.
 19. Krivulia, P. V. The synthesis of Analytic hierarchy process and Fuzzy mathematics for the Situational diagnostics methods. *Economics. Management. Entrepreneurship*. Science papers of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2006. Issue 16 (II). P. 181-195.
 20. Krivulia, P. V. Basics of Demand and Price-Discrimination Models (Part 1). *Economics. Management. Entrepreneurship*. Science papers of the Eastern Ukrainian National University. 2001. Issue 5. P. 91-106.
 21. Krivulia, P. V. Basics of Demand and Price-Discrimination Models (Part 2). *Economics. Management. Entrepreneurship*. Science papers of the Eastern Ukrainian National University. 2001. Issue 6. P. 131-143.
 22. Krivulia, P. V. Delayed market supply: strategic aspects of planning. *Economics. Management. Entrepreneurship*. Science papers of the Eastern Ukrainian National University. 2000. Issue 3. P. 40-56.
 23. Krivulia, P. V. From the Theory of Industrial organization to the Theory of Strategic conjuncture analysis. *Organizator proizvodstva*. №1(16). М.: Экономика і фінанси, 2003. P. 18-20.
 24. Krivulia, P. V. Demand mediation: Formulation of the problem and analysis. *Economics. Management. Entrepreneurship*. Science papers of the Eastern Ukrainian State University. 2000. Вип. 1. P. 65-77.
 25. Krivulia, P. V. Generic category of the performance metrics species diversity. *Economics. Management. Entrepreneurship*. Science papers of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2008. Issue 19 (II). P. 52-81.
 26. Krivulia, P. V. Similarities and differences in the errors of performance metrics synthesis: PM-zeugma, PM-syllepsis, PM-apokoynu, PM-anacoluthon. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2013. № 16 (205). С. 216-223.
 27. Mechanical engineering of Ukraine. *Wikipedia*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Машинобудування_України
 28. Lerner, A. P. The Concept of Monopoly and the Measurement of Monopoly Power. *The Review of Economic Studies*. 1934. #1 (3): 157-175. doi:10.2307/2967480.
 29. Mel'nikova V. I., Iaremenko V. H., Mel'nikova O. P., Korniv'ska V. O. *Microeconomics: Tutorial*. Kyiv: Profesional, 2005. 400 p.
 30. Tirole, Jean. *The Theory of Industrial Organization*. Cambridge, MA: MIT Press, 1988, pp. xii, 479 p.
 31. Transport engineering of Ukraine. *Wikipedia*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Транспортне_машинобудування
 32. Financial Statements 2011. URL: <https://www.kvsz.com/index.php/ua/golovna/korporativne-upravlinnya/finansova-zvitnist/item/816-finansova-zvitnist-2011>
 33. Chamberlin, Edward. *The Theory of Monopolistic Competition: A Re-orientation of the Theory of Value*, Harvard University Press, 1933 1st ed. & 1962 8th ed. 410 p.
 34. Spierdijk, Laura; Zaouras, Michalis. The Lerner index and revenue maximization. *Applied Economics Letters*. 24 (15) (2017): 1075-1079. doi: 10.1080/13504851.2016.1254333
 35. Sun, B., Jing, W., Zhao, X., & He, Y. Research on market power and market structure. *International Journal of Crowd Science*, 2017. 1(3), 210-222. doi: 10.1108/IJCS-08-2017-0009
 36. Elzinga, K. & Mills, D. The Lerner Index of Monopoly Power: Origins and Uses. *The American Economic Review*, 2011. 101(3), 558-564. doi: 10.1257/aer.101.3.558
 37. Giocoli, Nicola (2012). Who Invented the Lerner Index? Luigi Amoroso, the Dominant Firm Model, and the Measurement of Market Power. *Review of Industrial Organization*. 2012. 41 (3): 181-191. doi: 10.1007/s11151-012-9355-7
- Burko I.V., Krivulia P.V., Pavliuchenko T.I. The advantages and disadvantages of the Lerner index using in assessing the market competition intensity in the in the application of the transportation engineering in Ukraine.**
- The article considers the possibility of solving the problem of assessing the competition intensity within an industry (on the example of the Ukrainian transport engineering market) using the Lerner index, an indicator that has become widespread in the scientific literature. Attention is drawn to the Lerner index because its use does not require data for all enterprises in the industry, but only data from a single enterprise that is in the focus of the analyst's attention. The author analyzes the theoretical provisions of the conditions for using the Lerner index and its content load, and provides examples of its use in the form which can be performed by specialists of enterprises solving the tasks of analyzing commodity markets, in particular, determining the degree of market monopolization, competition intensity,*

and market power of individual market participants. In the course of this analysis, it is determined that under any conditions of market concentration, the categories "degree of market monopolization" and "degree of monopoly power" cannot be equated, and the categories "degree of market monopolization" and "degree of competition intensity" cannot be considered antonyms, and this situation requires a developed system of monopolization and competition intensity metrics which also provide for the assessment of competitiveness of an individual enterprise. It is also found that the Lerner index is too theoretical, and its use is impossible due to the lack of an accounting system at enterprises sufficient for such a calculation. In addition, there is no interpretive scale for this indicator, which is also due to the difficulties of its calculation. The authors conclude that building a scorecard with indicators for monopolization and competition intensity to assess the competitiveness of an individual enterprise should use other indicators as indicators of the market condition. To select such indicators, the terminological basis for such an assessment must first be developed, since the lack of clear definitions of the categories being assessed, which characterize aspects of the competition intensity in commodity

markets and are parameters of the competition intensity, becomes a drawback in the development and selection of metrics for the degree of manifestation of such parameters.

Key words: *Lerner index, competition intensity, market monopolization index, market power index, transportation engineering*

Бурко Ярослав Валерійович – к.е.н, доцент кафедри економіки і підприємництва Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Київ.

Кривуля Павло Вікторович – к.е.н, доцент кафедри економіки і підприємництва Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Київ

Павлюченко Таїсія Ігорівна – студентка групи ЕК-21д Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Київ.

Стаття подана 10.02.2023.