

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ



ВІСНИК

**Східноукраїнського
національного університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 5 (269)
2021**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Сєвєродонецьк 2021

ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 5 (269) 2021

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ

ВИХІД З ДРУКУ - ДВНАДЦЯТЬ РАЗІВ НА РІК

Засновник

Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля

Журнал зареєстровано

в Міністерстві юстиції України

Свідоцтво про державну реєстрацію

серія КВ № 15607-4079ПР

від 18.08.2009 р.

VISNIK

OF THE VOLODYMYR DAHL EAST
UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

№ 5 (269) 2021

THE SCIENTIFIC JOURNAL

WAS FOUNDED IN 1996

IT IS ISSUED TWELVE TIMES A YEAR

Founder

Volodymyr Dahl East Ukrainian National
University

Registered by the Ministry

of Justice of Ukraine

Registration Certificate

KB № 15607-4079ПР

dated 18.08.2009

Журнал включено до Переліків наукових фахових видань України (Наказ МОН № 886 02.07.2020 р.), (Наказ МОН №1188 24.09.2020 р.), (Наказ МОН №157 від 09.02.2021 р.) в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних (122, 131, 132, 133, 141, 151, 161, 273) та економічних (051, 073, 075) наук відповідно.

Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International (ICV 2018: 59.34).

ISSN 1998-7927

Головна редакційна колегія:

Поркуян О.В., докт. техн. наук (голова редакційної колегії),

Д'яченко Ю.Ю., докт. екон. наук,

Ковтанець М.В., канд. техн. наук,

Кравченко К.О., канд. техн. наук,

Лорія М.Г., докт. техн. наук,

Ноженко В.С., канд. техн. наук,

Носко О.П., канд. техн. наук,

Проказа О.І., канд. техн. наук,

Семененко І.М., докт. екон. наук,

Сергієнко О.В., канд. техн. наук,

Скарга-Бандурова І.С., докт. техн. наук,

Соколов В.І., докт. техн. наук,

Суворін О.В., докт. техн. наук,

Целіщев О. Б., докт. техн. наук

Галгаш Р.А., докт. екон. наук, (заступник голови

редакційної колегії),

Кудрявцев С.О., канд. техн. наук, (заступник голови

редакційної колегії),

Білобородова Т.О. канд. техн. наук,

Глікін М.А., докт. техн. наук,

Глікіна І.М., докт. техн. наук,

Горбунов М.І., докт. техн. наук,

Грицюк В.Ю., канд. техн. наук,

Відповідальний за випуск: д.т.н., професор Лорія М.Г.

Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 1 від 31 серпня 2021 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2021

© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2021

З М І С Т

Спеціальність 122

Козуб Г. О., Козуб Ю. Г., Могильний Г. А., Жуков А. В. РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ANDROID-ДОДАТКУ З ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИНЦИПІВ CLEAN ARCHITECTURE.....	5
---	---

Спеціальність 131

Ребот Д.П., Топільницький В.Г. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ «ВІБРОСЕПАРАТОР – СИПКА СИРОВИНА».....	11
--	----

Спеціальність 141

Мелконова І.В., Романченко Ю.А. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ	17
Морнева М.О., Голубєва С.М., Торопов А.С. ЦИФРОВІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ В МЕХАТРОНИЧНИХ СИСТЕМАХ.....	20
Rudniew Y.S., Shevchenko I.S., Romanchenko J.A. MATHEMATICAL MODEL OF AN ASYNCHRONOUS MACHINE IN REAL COORDINATES OF STATE	24
Філімоненко Н. М., Філімоненко К. В. АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМ ІЗ ОГЛЯДУ НА НАЯВНІСТЬ В ЇХНЬОМУ СКЛАДІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	29

Спеціальність 151

Лорія М. Г., Целіщев О. Б., Міллер В. В. ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ З ІНОВАЦІЙНОЮ ЖИТТЄЗБЕРІГАЮЧОЮ АВТОМАТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ.....	34
Манко Г.І., Тігова О.В., Кравець В.І., Іброхімова А.А. ІНФОРМАЦІЙНА НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ, ЩО КАЛІБРУЮТЬСЯ.....	38
Тарасов В.Р., Сотнікова Т.Г. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ	42

Спеціальність 161

Антощенко М.І., Руднев Є. С., Філатьєва Е.М., Мелконова І.В., Мелконов Г.Л. ПРО ВИБІР ПОКАЗНИКІВ СТУПЕНЯ МЕТАМОРФІЗМУ ВУГІЛЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАХТОПЛАСТУ	47
Тетерєв М. М., Соколенко Н. М., Островка В. І., Мороз О. В., Попов С. В., Рубан Е. В. БЕЗВІДХОДНА ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ ПЕКТИНУ З ВІДХОДІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	61

Спеціальність 273

Чернецька-Білецька Н.Б., Роговий А.С., Мірошникова М.В. ВТРАТИ ТИСКУ ПІД ЧАС ТЕЧІЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОЇ РІДИНИ МІСЦЕВИМИ ОПОРАМИ ТРУБОПРОВОДУ	69
--	----

CONTENTS

Speciality 122

- Kozub H. O., Kozub Yu. H., Mohylnyi H. A., Zhukov A. V.**
 CLEAN ARCHITECTURE MOBILE ANDROID SUPPLEMENT WITH STRAINED PRINCIPLES 5

Speciality 131

- Rebot D.P., Topilnytsky V.G.**
 MATHEMATICAL MODEL OF SYSTEM «VIBRATORY SEPARATOR - LOOSE MATERIAL»..... 11

Speciality 141

- Melkonova I. V., Romanchenko J.A.**
 IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN RESIDENTIAL BUILDINGS 17
- Morneva M.O, Golubieva S.M., Toropov A.S.**
 DIGITAL AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS IN MECHATRONIC SYSTEMS 20
- Rudniev Y.S., Shevchenko I.S., Romanchenko J.A.**
 MATHEMATICAL MODEL OF AN ASYNCHRONOUS MACHINE IN REAL COORDINATES OF STATE 24
- Filimonenko N. M., Filimonenko K. V.**
 POWER SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS REGARDING OF POWER TRANSFORMERS
 BEING PART OF IT 29

Speciality 151

- Loriia M.G., Tselishchev O.B., Miller V.V.**
 ELECTRIC CAR WITH INNOVATIVE LIFE-SAVING AUTOMATIC SYSTEM 34
- Manko G.I., Titova E.V., Kravets V.I., Ibrokhimova A.A.**
 INFORMATION UNCERTAINTY OF THE CALIBRATED MEASUREMENTS INSTRUMENTS 38
- Tarasov V.R., Sotnikova T.G.**
 ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF ROOM COOLING SYSTEMS 42

Speciality 161

- Antoshchenko M. I., Rudniev Y.S., Filatyeva E. M, Melkonova I. V., Melkonov H. L**
 ON THE SELECTION OF INDICATORS OF THE DEGREE OF COAL METAMORPHISM
 FOR THE FORECAST OF DANGEROUS PROPERTIES OF SHAKTOPLAST 47
- Teteriev M. M., Sokolenko N. M., Ostrovka V. I., Moroz O. V., Popov Y. V., Ruban E. V.**
 WASTE-FREE TECHNOLOGY OF PECTIN PRODUCTION FROM WASTE INDUSTRY WASTE 61

Speciality 273

- Chernetskaya-Beletskaya N.B., Rogovyi A.S., Miroshnykova M.V.**
 LOSS OF PRESSURE DURING THE FLOW OF ELECTRIC CONDUCTIVE LIQUID
 BY LOCAL MINOR ENERGY LOSSES OF THE PIPELINE 69

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-5-10>

УДК 004.41:004.9

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ANDROID-ДОДАТКУ З ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИНЦИПІВ CLEAN ARCHITECTURE

Козуб Г. О., Козуб Ю. Г., Могильний Г. А., Жуков А. В.

CLEAN ARCHITECTURE MOBILE ANDROID SUPPLEMENT WITH STRAINED PRINCIPLES

Kozub H. O., Kozub Yu. H., Mohylnyi H. A., Zhukov A. V.

В роботі розглянуто існуючі методи розробки мобільного Android-додатку із застосуванням принципів Clean Architecture з метою оптимізації архітектури програмних продуктів на старті їх створення. Досліджено концептуальні підходи та принципи Clean Architecture, розглянуто можливість побудови Android-додатків згідно поширеної схеми, згідно з якою шари зв'язуються правилом залежності Dependency Rule. Для розробки Android-додатку "Lucky Days - Lunar Calendar" використано середовище Android Studio на базі вихідного коду продукту IntelliJ IDEA Community Edition та мови програмування Kotlin, яка працює поверх JVM та компілюється в JavaScript. Показано коди додатку для потоку вводу-виведення, який демонструє використання співпрограми. Крім можливостей, що існують в IntelliJ IDEA, в Android Studio реалізовано нову уніфіковану підсистему складання, тестування і розгортання застосунків, яка базується на інструментарії Gradle і підтримує використання засобів безперервної інтеграції. Наведено описання інтерфейсу програми, наведено фрагменти кодів, що відповідають за найбільш важливі функції. До складу також включені пристосовані під особливості платформи Android розширені інструменти рефакторингу, перевірки сумісності з минулими випусками, виявлення проблем з продуктивністю, моніторингу споживання пам'яті та оцінки зручності використання. У редактор також додано режим швидкого внесення правок. Для спрощення проектування додатку використано бібліотеку Android Navigation з набору Jetpack та створено граф зв'язків між вікнами додатку. Для роботи мобільного додатку сформовано та заархівовано у архів бази даних SQLite, а для організації комунікації між не пов'язаними частинами додатку реалізовано EventBus з набором функцій. Наведено приклади кодів Event-класів та State-класів, які використовуються у розробленому додатку. Запропоновано методу, що відповідає принципам Clean Architecture, а саме відокремлення бізнес-логіки від відображення елементів списку впроваджено для розробки Android-додатку.

Ключові слова: Android, Kotlin, Clean Architecture, Kotlin Coroutines, Android Jetpack, Dependency Rule, патерн, Dependency Injection.

Вступ. З поширенням доступності мобільного інтернету все більшою популярністю стали користуватися мобільні додатки. Вони допомагають вирішувати великий спектр завдань. Корпоративні компанії збільшують інвестиції в мобільні додатки, щоб розширити свій бізнес і досягнути кожного кутка країни або навіть усього світу.

Популярність мобільної платформи створює конкуренцію серед розробників мобільних додатків спостерігається тенденція вміння швидко вносити зміни у додаток на потребу ринку. Внаслідок чого виникає необхідність визначення ефективних підходів до розробки конкурентних підходів до розробки конкурентних мобільних додатків.

За останні декілька років було опубліковано багато різних ідей архітектури програмних продуктів, але одним з найкращих рішень архітектури Android-додатків є Clean Architecture [1].

Clean Architecture дозволяє мінімізувати витрати на підтримку та прискорити рефакторинг додатку в майбутньому завдяки реалізації принципів незалежності та розподілення логіки, відображення та даних.

Якщо не продумати архітектуру на старті проекту, а займатися лише продуктовими задачами, то незабаром вартість цих задач зросте. Не варто відкладати на майбутнє архітектурні моменти. Можливо що в один момент доведеться перестати працювати над функціоналом і почати дороге виправлення архітектури. З недосконалою архітектурою збільшення кількості розробників не допоможе масштабуванню програмного продукту.

Саме тому знання принципів Clean Architecture та вміння їх застосовувати є актуальним для Android-розробників.

Мета роботи – дослідження підходів до Clean Architecture та використання сучасних інструментів та методів для розробки Android-додатків. Висвітлюються концептуальні підходи та принципи Clean

Architecture, розглядається можливість побудови Android-додатків згідно до пошарової схеми Clean Architecture (Presentation Layer, Domain Layer, Data Layer) [2].

Викладення основних матеріалів. Для реалізації проекту використано середовище розробки Android Studio, мову програмування Kotlin, SQLite, Kotlin Coroutines, набір бібліотек та компонентів Android Jetpack, бібліотека Room та Dependency Injection.

Clean Architecture є популярним підходом до розробки мобільних додатків. Цей термін походить з однойменної статті Roberta C. Martina [1]. Він містить у собі декілька принципів:

- Незалежність від фреймворків. Архітектура додатку не повинна покладатися на існування будь-якої бібліотеки. Це дозволяє використовувати фреймворки як інструменти, а не обмежувати систему в рамках певного фреймворку;

- Тестованість. Бізнес-логіка може бути протестована без інтерфейсу користувача, бази даних, веб-сервера або будь-якого іншого зовнішнього елемента;

- Незалежність від інтерфейсу користувача. Інтерфейс повинен легко змінюватися та не вимагати зміни решти системи. Наприклад веб-інтерфейс повинен легко замінюватися на інтерфейс консолі без необхідності зміни бізнес-логіки;

- Незалежність від бази даних. Бізнес-логіка не повинна бути прив'язана до бази даних. Можливість швидко змінювати тип бази даних, наприклад: SQLite або MongoDB на Oracle, SQL Server, MySQL чи будь-яку іншу.

- Незалежність від будь-якого іншого агенту. Бізнес-логіка не повинна знати про зовнішній світ.

Дотримання цих принципів у архітектурі програмного забезпечення представлено на рис. 1.

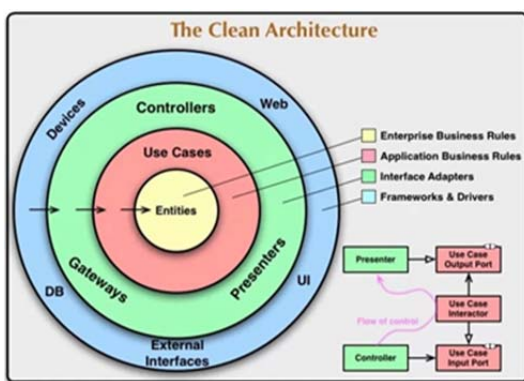


Рис. 1. Схема Clean Architecture

У цій схемі кожен шар має позначення:

- Entities – бізнес-логіка, спільна для всіх додатків, а у випадку окремого додатку – найбільш базові бізнес-об'єкти;

- Use Cases – логіка додатку, “сценарії застосування”, які керують потоком даних з попереднього шару;

- Interface Adapters – адаптери між Use Cases і зовнішнім світом. Цей шар конвертує дані у формат, який підходить для зовнішніх шарів, наприклад Web або бази даних, а також перетворює зовнішні дані у формат для внутрішніх шарів;

- Frameworks and Drivers – зовнішній шар, який містить фреймворки, інструменти, бази даних та інше. У цьому шарі код повинен зв'язуватися з попереднім шаром, але не впливати у значній мірі на внутрішні шари.

Усі шари зв'язані правилом залежності – Dependency Rule, яке у вихідному коді можуть вказувати тільки всередину. Наприклад, ніщо з зовнішнього шару не може бути згадано кодом з внутрішнього шару. Це відноситься до функцій, класів, змінних або будь-яких інших сутностей. Robert C. Martin указував, що цю схему можна змінювати, додавати чи прибирати шари, але основним правилом у архітектурі додатку повинно завжди залишатися Dependency Rule [1].

Результати досліджень. Для розробки Android-додатків використано мову програмування Kotlin, це статично типізована мова програмування, що працює поверх JVM та компілюється в JavaScript [5].

Наступний код демонструє використання співпрограми з розробленого програмного застосування “Lucky Days - Lunar Calendar” (LD-LC) [3], для потоку вводу-виведення:

```
GlobalScope.launch(Dispatchers.IO) {
    val newCategories =
        categoryInteractor.loadRootCategories()
    val descriptionText =
        categoryInteractor.getDescription()
    withContext(Dispatchers.Main) {
        adapter.updateItems(newCategories)
        description.set(newValue = descriptionText)
    }
}
```

Співпрограми (Coroutines) – це спосіб написання асинхронного, неблокуючого коду та є полегшеними потоками, які не прив'язані до нативного потоку, не вимагають перемикання контексту на процесор і в результаті працюють швидше [6]. При використанні співпрограми, виділено такі переваги: витрачається дуже мала частина ресурсів комп'ютера, у порівнянні зі звичайними потоками; працює швидше звичайних потоків; займає менше місця у кодї.

За допомогою набору бібліотек, інструментів і архітектурних рекомендацій Android Jetpack [7], проєкт LD-LC створено у середовищі розробки Android Studio. Середовище побудоване на базі вихідного коду продукту IntelliJ IDEA Community Edition, Бінарні складання підготовлені для Linux (для тестування використаний Ubuntu), Mac OS X і Windows. Середовище розробки адаптоване для виконання типових завдань, що вирішуються в процесі розробки застосунків для платформи Android. У тому числі у середовище включені засоби для спрощення тестування програм на сумісність з різними

версіями платформи та інструменти для проектування застосунків, що працюють на пристроях з екранами різної роздільності (планшети, смартфони, ноутбуки, годинники, окуляри тощо).

Крім можливостей, присутніх в IntelliJ IDEA, в Android Studio реалізовано кілька функцій, таких як нова уніфікована підсистема складання, тестування і розгортання застосунків, заснована на інструментарії Gradle і підтримуюча використання засобів безперервної інтеграції [4].

Для прискорення розробки застосунків представлено колекцію типових елементів інтерфейсу і візуальний редактор для їхнього компонування, що надає зручний попередній перегляд різних станів інтерфейсу застосунку. Для створення нестандартних інтерфейсів присутній майстер створення власних елементів оформлення, що підтримує використання шаблонів. У середовище вбудовані функції завантаження типових прикладів коду з GitHub.

До складу також включені пристосовані під особливості платформи Android розширені інструменти рефакторингу, перевірки сумісності з минулими випусками, виявлення проблем з продуктивністю, моніторингу споживання пам'яті та оцінки зручності використання. У редактор доданий режим швидкого внесення правок. Система підсвічування, статичного аналізу та виявлення помилок розширена підтримкою Android API. Інтегрована підтримка оптимізатора коду ProGuard. Вбудовані засоби генерації цифрових підписів. Надано інтерфейс для управління перекладами на інші мови [8].

Вся структура проекту відповідає концепції Clean Architecture, при якій: логіка відображення інтерфейсу користувача знаходиться у пакеті presentation, бізнес-логіка – у пакеті domain, а рівень даних – у пакеті data.

У presentation знаходяться: пакет adapter, що містить у собі адаптери списків; пакет di з модулем Dependency Injection; пакет interactor з інтерфейсами Interactors; пакет ui, який містить у собі класи Activity, Fragments, ViewModels, States та Events; пакет utils з допоміжними класами та функціями MutableLiveData та EventBus; клас App – головний клас додатку, який виконує ініціалізацію Dependency Injection.

У domain знаходяться: пакет converter з класами, які конвертують Entity у необхідні типи; пакет interactor з реалізацією інтерфейсів з шару presentation; пакет model з класами, об'єкти яких передають Interactors у ViewModels; пакет repository з інтерфейсами Repositories.

У data знаходяться: пакет db, у якому реалізована вся логіка взаємодії з базами даних та класи Entity; пакет repository з реалізацією інтерфейсів з шару domain.

Спрощену схему структури проекту представлено на рисунку 2:

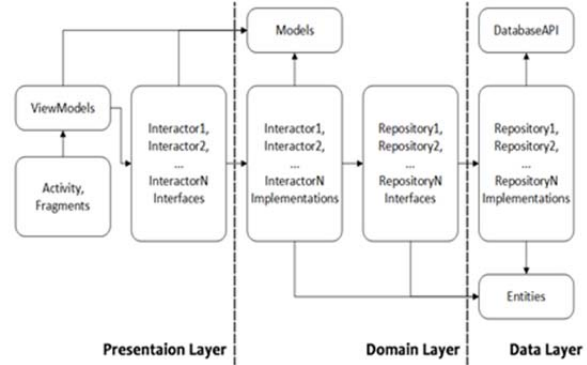


Рис. 2. Схема структури проекту

Інтерфейс додатку складається з п'яти Fragments (HomeFragment, DatesFragment, SettingsFragment, AstronomyFragment, AboutFragment) та головної Activity (AppActivity), яка ними керує.

Для спрощення проектування додатку, використано бібліотеку Android Navigation [9] з набору Jetpack та створено граф зв'язків між вікнами додатку (Fragments). Граф зв'язків представлено на рисунку 3:

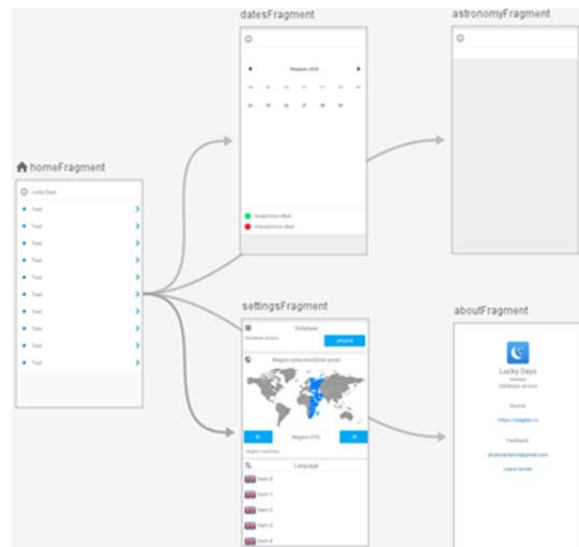


Рис. 3. Навігаційний граф додатку

Проведений аналіз роботи [10] дозволив розробити раціональний код, який відповідає принципам Clean Architecture, а саме відокремлення бізнес-логіки від відображення елементів списку. Це дозволило отримати наступні переваги: можливість тестування класів адаптерів списку; можливість відображення різних типів елементів у списку; можливість використовувати готові функції базового адаптеру; позбавлення від надлишкового коду, покращення читабельності коду та простота редагування списків; обробка подій натиску на компонент списку з ViewModel.

Код класу BaseAdapter надає базові функції адаптерів списків, такі як: ініціалізація списку, оновлення, додавання і видалення елементів списку, а

також підключення обробників подій натискань на елементи списку.

Адаптери списків успадковуються від `BaseAdapter` та реалізують логіку ініціалізації елементів списку. Методика використання `CategoryAdapter` у програмному проєкті:

```
//Створення адаптеру у HomeViewModel
val adapter = CategoryAdapter()

//Клас Category та його спадкоємці
sealed class Category(val type: Int)
data class BackItem(val id: Int, val title: Int)
: Category(1)
data class HeaderItem(val title: Int) :
Category(2)
data class FolderItem(val id: Int, val key:
String, val title: Int, val icon: Int) : Category(3)
data class FileItem(val id: Int, val key:
String, val title: Int) : Category(4)

//Обробка подій натиску на елемент списку у
HomeViewModel
adapter.attachCallback(object :
BaseAdapterCallback<Category> {
override fun onItemClick(model: Category,
view: View) {
when (model) {
is BackItem ->
GlobalScope.launch(Dispatchers.IO) {
val new Categories =
categoryInteractor.categoryBack(model)
withContext(Dispatchers.Main) {
adapter.updateItems(newCategories)
}
}
is FolderItem ->
GlobalScope.launch(Dispatchers.IO) {
val newCategories =
categoryInteractor.openFolder(model)
withContext(Dispatchers.Main) {
adapter.updateItems(newCategories)
}
}
is FileItem -> {
val bundle = bundleOf("topicId"
to model.id)

view.findNavController().navigate(R.id.toDatesFragmen
t, bundle)
}
}
})

//Підключення адаптеру у функції onViewCreated
класу HomeFragment
categoryList.adapter = homeViewModel.adapter
```

Для роботи мобільного додатку використовується заздалегідь сформована та запакована у архів база даних SQLite. При першому відкритті додатку, БД розпаковується з папки `assets` проєкту у директорію баз даних та перевіряє наявність оновленої версії БД на сервері `dropbox` [11]. Якщо оновлення доступне, архів з БД завантажується з сервера, розпаковуються та замінює попередню версію БД на смартфоні. Додаток виконує перевірку оновлень БД при відкритті додатку з періодичністю в 2 дні, існує можливість самостійно зробити запит на оновлення БД у вікні налаштувань.

Для організації комунікації між не пов'язаними частинами додатку (`Activities` та `Fragments`), реалізовано `EventBus`, з функціями:

- `subscribe` – Підписує на певну подію свій обробник;
- `unsubscribe` – Видаляє обробник певної події;
- `startEventCallback` – Викликає обробник певної події;
- `saveEvent` – зберігає подію для подальшого зчитування;
- `getEventsByType<Event>` – generic метод, що приймає тип події та одноразово повертає список збережених подій, які належать до того ж типу, що й тип, який був переданий у метод.

Приклад `Event`-класів, які використовуються у додатку LD-LC:

```
sealed class AppEvents: Event() {
object UpdateDatabase : AppEvents()
object UpdateLanguage : AppEvents()
}

sealed class HomeEvents : Event() {
object UpdateList : HomeEvents()
}
```

Використання `EventBus` для `Event`-класів (`AppEvents` та `HomeEvents`):

```
//Підпис події
eventBus.subscribe(AppEvents.UpdateLanguage) {
/*Обробка події*/
}
//Виклик події
eventBus.startEventCallback(AppEvents.UpdateLang
uage).invoke()

//Збереження події
eventBus.saveEvent(HomeEvents.UpdateList)

//Зчитування збережених подій та пошук події ві-
дновлення списку
if
(eventBus.getEventsByType<HomeEvents>().contains(Home
Events.UpdateList)) {
//Обробка події
}
```

У розробленому додатку LD-LC використовується поведінковий патерн `State Machine` для зміни станів деяких вікон, це поведінковий патерн, який використовується, коли необхідно щоб певний об'єкт мав можливість змінювати свою поведінку в залежності від свого стану.

Приклад `State`-класу з додатку LD-LC:

```
sealed class DatesState {
object LoadingState : DatesState()
object TextState : DatesState()
object CalendarState : DatesState()
}
```

Допоміжні функції для класу `MutableLiveData`:

```
fun <T : Any?>
MutableLiveData<T>.default(initialValue: T)
= apply { setValue(initialValue) }

fun <T> MutableLiveData<T>.set(newValue: T)
= apply { setValue(newValue) }
```

Використання об'єкту `State`-класу (`DatesState`) для вікна `DatesFragment` у класі `DatesViewModel`:

```
/*Створення об'єкту стану та його ініціалізація
значенням за замовчуванням*/
val state =
MutableLiveData<DatesState>().default(initialValue =
DatesState.LoadingState)
//Встановлення нового значення стану
state.set(newValue = DatesState.CalendarState)
Обробка зміни стану у класі DatesFragment:
```



```

datesViewModel.state.observe(viewLifecycleOwner,
    Observer<DatesState> { state ->
        when (state) {
            is DatesState.LoadingState -> {
                //Обробка інтерфейсу для стану LoadingState
            }
            is DatesState.CalendarState -> {
                //Обробка інтерфейсу для стану CalendarState
            }
            is DatesState.TextState -> {
                //Обробка інтерфейсу для стану TextState
            }
        }
    })

```

Висновки. В роботі розглянуто принципи Clean Architecture та використано адаптацію цих принципів під платформу Android. Проведено дослідження та впровадження сучасних інструментів та методик розробки Android-додатків Kotlin Coroutines, Android Jetpack, Dependency Injection. За запропонованою методикою розроблено проект, який опубліковано у магазині Android-додатків Google Play “Lucky Days - Lunar Calendar”, і відповідає концепції та структурі Clean Architecture. Мобільний застосунок LD-LC відображає більше 30 категорій для вибору: вибір регіону за часовим поясом, астрономічні календарі (затемнення, фази місяця), відображення даних у вигляді календаря або тексту, зручна навігація по категоріях, зміна мови програми, тощо.

Література

1. Robert C. Martin. The Clean Architecture. URL: <https://blog.cleancoder.com/uncle-bob/2012/08/13/the-clean-architecture.html> (дата звернення: 20.06.2021);
2. Architecting Android...The clean way? URL: <https://fernandocejas.com/2014/09/03/architecting-android-the-clean-way> (дата звернення: 03.06.2021);
3. Мобільний додаток “Lucky Days - Lunar Calendar” : URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.zhukovartemvl.luckydays> (дата звернення: 01.06.2021);
4. Жуков А. В., Козуб Г.О. Розробка мобільного додатку за допомогою мови програмування Kotlin та сервісу Firebase. Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації : зб. наук.праць Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Переяслав, 2019. Вип №52. С. 273 –275;
5. Kotlin Programming Language. URL: <https://kotlinlang.org> (дата звернення: 05.06.2021);
6. Coroutines Overview. URL: <https://kotlinlang.org/docs/reference/coroutines-overview.html> (дата звернення: 05.06.2021);
7. Android Jetpack. URL: <https://developer.android.com/jetpack> (дата звернення: 06.06.2020);
8. Android Studio. URL: <https://developer.android.com/studio?hl=ru> (дата звернення: 14.06.2021);
9. Android Navigation. URL: <https://developer.android.com/guide/navigation/> (дата звернення: 10.06.2021);
10. Iotable RecyclerView. URL: <https://github.com/AlexGladkov/iotable> (дата звернення: 14.06.2021);
11. Dropbox. URL: <https://www.dropbox.com> (дата звернення: 15.06.2021);

References

1. Robert C. Martin. The Clean Architecture. URL: <https://blog.cleancoder.com/uncle-bob/2012/08/13/the-clean-architecture.html> (data zvernennja: 20.02.2021);
2. Architecting Android...The clean way? URL: <https://fernandocejas.com/2014/09/03/architecting-android-the-clean-way> (data zvernennja: 03.06.2021);
3. Mobil'nyj dodatok “Lucky Days - Lunar Calendar” : URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.zhukovartemvl.luckydays> (data zvernennja: 01.06.2021);
4. Zhukov A. V., Kozub G.O. Rozrobka mobil'nogo dodatku za dopomogoju movy programuvannja Kotlin ta servisu Firebase. Tendencii ta perspektivy rozvytku nauky i osvity v umovah globalizacii' : zb. nauk.prac' Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. Perejaslav, 2019.Vyp №52. S. 273–275;
5. Kotlin Programming Language. URL: <https://kotlinlang.org> (data zvernennja: 05.06.2021);
6. Coroutines Overview. URL: <https://kotlinlang.org/docs/reference/coroutines-overview.html> (data zvernennja: 05.06.2021);
7. Android Jetpack. URL: <https://developer.android.com/jetpack> (data zvernennja: 06.06.2020);
8. Android Studio. URL: <https://developer.android.com/studio?hl=ru> (data zvernennja: 14.02.2021);
9. Android Navigation. URL: <https://developer.android.com/guide/navigation/> (data zvernennja: 10.06.2021);
10. Iotable RecyclerView. URL: <https://github.com/AlexGladkov/iotable> (data zvernennja: 14.06.2021);
11. Dropbox. URL: <https://www.dropbox.com> (data zvernennja: 15.06.2021);

Kozub H. O., Kozub Yu. H., Mohylnyi H. A., Zhukov A. V. Clean Architecture mobile Android supplement with strained principles

In the article the existing methods of developing a mobile Android application using the principles of CLean Architecture in order to optimize the architecture of software products at the start of the project are considered. The conceptual approaches and principles of Clean Architecture are studied, the possibility of building Android-applications according to the layered scheme according to which layers are connected by the Dependency Rule dependence rule is considered. The Android application “Lucky Days - Lunar Calendar” uses Android Studio based on the source code of the IntelliJ IDEA Community Edition product and the Kotlin programming language, which runs on top of the JVM and is compiled into JavaScript. The application codes for the I/O stream are shown, which demonstrates the use of the coroutine. In addition to the capabilities available in IntelliJ IDEA, Android Studio has implemented a new unified subsystem for building, testing, and deploying applications, which is based on Gradle tools and supports the use of continuous integration tools. The description of the program interface is given, the fragments of the codes responsible for the most important functions are resulted. It also includes advanced refactoring tools, compatibility checks with past releases, performance issues, memory usage monitoring, and usability assessment, tailored to the Android platform. A quick edit mode has also been added to the editor. To simplify the design of the application, we used the Android Navigation library from the Jetpack set and created a graph of connections between the application windows. A SQLite database was created and archived for the mobile application, and an EventBus with a set of functions was implemented to organize communication be-

tween unrelated parts of the application. Examples of Event-class and State-class codes used in the developed application are given. The proposed method of creating rational code that meets the principles of Clean Architecture, namely the separation of business logic from the display of list items is implemented for the development of Android-application.

Keywords: : *Android, Kotlin, Clean Architecture, Kotlin Coroutines, Android Jetpack, Dependency Rule, pattern, Dependency Injection.*

Козуб Галина Олександрівна – к. т. н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем Луганського національного університету імені Тараса Шевченка (м. Старобільськ), galina14kz@gmail.com

Козуб Юрій Гордійович – д. т. н., доцент, завідувач кафедри фізико-технічних систем та інформатики Луганського національного університету імені Тараса Шевченка (м. Старобільськ), kosub.yg@gmail.com

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

Жуков Артем Володимирович – магістрант Навчально-наукового інституту фізики, математики та інформаційних технологій Луганського національного університету імені Тараса Шевченка (м. Старобільськ), zhukovartemvl@gmail.com

Стаття подана 12.08.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-11-16>

УДК 621.9.048.6

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ «ВІБРОСЕПАРАТОР – СИПКА СИРОВИНА»

Ребот Д.П., Топільницький В.Г.

MATHEMATICAL MODEL OF SYSTEM «VIBRATORY SEPARATOR - LOOSE MATERIAL»

Rebot D.P., Topilnytsky V.G.

Побудовано розрахункову схему та математичну модель руху довільної точки системи "вібросепаратор - сипка сировина" в процесі сепарації, за умови вертикального коливання сита вібраційного сепаратора. Створена математична модель дає можливість моделювати різного типу нестационарні режими, які виникають під час роботи вібраційного сепаратора та провести дослідження впливу змінних параметрів його роботи і характеристик сипкої сировини на ефективність та інтенсивність процесу сепарації, для можливості їх подальшого коригування.

Ключові слова: вібраційний сепаратор, сипка сировина, математична модель, амплітуда, частота.

Вступ. Швидкий розвиток промисловості зумовлює потребу впровадження нового обладнання з метою оптимізації та автоматизації процесів виробництва. Також це стосується і машин вібраційної дії, а саме, вібраційних сепараторів, сит та грохотів, які застосовуються у всіх галузях промисловості. Таке обладнання необхідне для поділу сипкої сировини за фракціями, видалення сторонніх домішок, збагачення, відсортування браку та інших операцій. На сьогодні існує велика кількість нових покращених сепараторів різних провідних виробників. Це зокрема Jubao Intelligent Manufacturing Co., Lighthouse Technologies, Kason Corporation, SWECO та ін. Вібраційні сита та сепаратори даних та інших фірм мають вдосконалену конструкцію, яка дозволяє проводити якісне відсортування продукції, зменшує час простою на виробництві, експлуатаційні втрати та викиди пилу. Вони прості в експлуатації, малогабаритні, малозумні та мають високу ємність. На відміну від попередніх конструкцій, які створювалися з корпусами квадратної або прямокутної форми із зворотньо-поступальним рухом сита зараз впроваджуються сепаратори та сита із циліндричною фор-

мою робочого корпусу, що дозволяє збільшити ємність на одиницю площі сита.

Проте, незважаючи на вагомий вдосконалення і надалі вібраційне обладнання для сепарації та виробничі процеси при сепарації продовжують досліджуватись з метою покращення конструкційних та експлуатаційних властивостей, продуктивності праці та ефективності процесу переробки сировини. На вищеперелічені показники впливає не лише конструкція вібраційного сепаратора, але й взаємодія його робочої поверхні із оброблювальною сипкою сировиною та процеси, які проходять в оброблюваній сировині під час сепарації.

Постановка проблеми. Процес вібраційної сепарації залежить від багатьох показників, зокрема, виробничих характеристик та конструкційних параметрів вібраційного сепаратора, фізико-механічних характеристик сипкої сировини. Густина, маса, пружні властивості частинок шару завантаження, амплітуда та частота їх коливання, швидкість руху по ситу, їх взаємодія між собою, зі стінками та ситом сепаратора значною мірою впливають на ефективність процесу сепарації та його якість, швидкість проходження частинок сировини крізь отвори сита. Також, значний вплив має кут нахилу сита, частота зовнішнього збурення (коливання сита вібросепаратора) на ефективність розрихлення сировини та її сепарації. З іншого боку, на амплітуду та частоту коливань сита вібраційного сепаратора впливає маса сита та шару сировини, жорсткість пружинної підвіски, частота обертання вібророзбуджувача та ін. Тобто існує певний взаємозв'язок між вище переліченими показниками та залежність продуктивності процесів сепарації від їх значень. Саме тому, дослідження взаємовпливу характеристик сепаратора та сипкої сировини є важливою задачею. Створення розрахункової та

математичної моделі системи “вібросепаратор – сипка сировина” дадуть змогу підібрати параметри вібраційного сепаратора в залежності від характеристик сипкої сировини, яка підлягає сепарації. Це, в свою чергу, забезпечить максимально можливу інтенсивність процесу сепарації. Також дослідження різного типу динамічних процесів у вібросепараторах дасть змогу оптимізувати їх конструкцію та сам процес сепарації, підвищити їх використання на виробництві, а також, в певній мірі, економічну вигоду в галузі експлуатації цих машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Незважаючи на впровадження нових більш вдосконалених та високоефективних моделей вібраційних сепараторів, для підвищення продуктивності та ефективності сепарації проводяться дослідження впливу параметрів вібросепаратора та характеристик сипких матеріалів на процес їх розділення. Зокрема, аналізується вплив кута нахилу сита та пружних, шорстких і геометричних властивостей частинок на швидкість їх сепарації [1,2]. Також актуальними є дослідження взаємодії шару сипкої сировини із поверхнею контейнера та сита сепаратора. Зокрема, вплив сил тертя та сил інерції на проходження частинок крізь отвори сита, вплив амплітудо-частотних характеристик сита на шар сировини [3-5]. Також значна увага приділяється дослідженням руху сипкої сировини у вібросепараторах циліндричної форми [6]. Така форма все частіше використовується через можливість передачі на сито вібрації більшої сили, та значно ефективнішого використання всієї поверхні просіювання. З іншого боку така конструкція, як і попередні забезпечує складний просторовий рух робочого контейнера сепаратора. З врахуванням останнього, через складність моделювання процесу сепарації та дослідження впливу на його ефективність параметрів шару сипкої сировини та контейнера сепаратора, розглядається, як правило, лише один випадок руху сепаратора [6-7]. Разом з тим, визначено, що для налипаючих частинок та важкопрохідних фракцій встановлення подвійних вібробуджувачів на корпусі сепаратора значно підвищує процес розрихлення суміші та її сепарації. Це пов'язано з тим, що за наявності лише одного вібробуджувача, розташування його на периферії сепаратора не дозволяє застосувати вплив вібрації на центр ваги сепаратора. Натомість, подвійні ексцентричні вібробуджувачі генерують вібрацію по всьому об'єму корпусу сепаратора. Відповідно, саме така модель є перспективною і може бути використаною для побудови розрахункової схеми.

Враховуючи вищевказане, а також як показують попередні дослідження [8-9], ефективність процесу сепарації залежить не лише від параметрів вібросепаратора, але від характеристик сипкої сировини та їх взаємодії між собою. Тому важливою задачею є побудова математичної моделі, яка дасть

змогу описати цю взаємодію та в подальшому дослідити її з метою оптимізації процесу сепарації.

Метою роботи є побудова розрахункової схеми та математичної моделі руху будь-якої точки системи “вібросепаратор – сипка сировина”, які дадуть змогу описати залежність процесу сепарації від параметрів сепаратора та характеристик сипкої сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для створення розрахункової та на її основі математичної моделі системи “вібросепаратор – сипка сировина” потрібно розглянути різновид сепараторів, який широко використовується у промисловості та має ряд позитивних відмінностей від інших вібраційних сепараторів. Тобто, для побудови розрахункової моделі вибрано вібраційний сепаратор із двома незалежно-привідними ексцентричними вібробудувачами. Такий вібраційний сепаратор позитивно відрізняється можливістю реалізації коливань різної форми, відносною простотою конструкції та надійністю вузлів в процесі експлуатації, універсальністю для моделювання та впровадження отриманих результатів досліджень для експериментальних даних.

При побудові розрахункової моделі вібраційного сепаратора, вважатимемо, що його робочий контейнер здійснює тільки вертикальні коливання (Рис.)

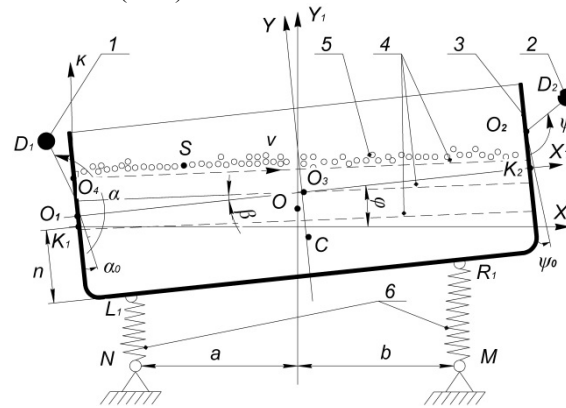


Рис. Розрахункова схема системи “вібросепаратор – сипка сировина”:

1,2 – ексцентрикові вібробудувачі; 3 – контейнер вібросепаратора; 4 – сито; 5 – шар звантаженої сипкої сировини; 6 – пружини; S – деяка точка елементарного перерізу шару сипкої сировини на ситі вібросепаратора; XOY , $X_1O_3Y_1$ – відповідно нерухома та рухома системи координат; O_1 і O_2 – центри обертального руху вібробудувачів; φ – кут нахилу корпусу та сита вібросепаратора від початкового положення, тоді $O_1D_1 = r_1$, $O_2D_2 = r_2$ – радіуси обертання лівого і правого вібробудувачів; α_0 і ψ_0 – початкові фази вібробудувачів в нерухомому положенні, $\alpha = \omega_1 t$ та $\psi = \omega_2 t$ – кути повороту вібробудувачів, NL_1 і MR_1 – довжини пружин (6) під час руху сита сепаратора, NL і MR – довжини даних пружин у початковому положенні, a, b – відстані від опор до осі OY .

Для дослідження руху вібросепаратора (довільної точки його робочого контейнера) побудуємо систему диференціальних рівнянь, які будуть враховувати всі параметри установки і описувати рух робочого контейнера вібросепаратора. При підстановці в неї необхідних заданих параметрів сепаратора, отримаємо рівняння для визначення амплітуди і частоти будь-якої точки робочого контейнера. Основою математичної моделі його руху буде закон руху центру мас. З врахуванням вищевказаного, положення центру мас системи опишеться рівняннями:

$$\begin{aligned} x_{u.m.}(t) &= \frac{M_u x_u(t) + M_{D1} x_{D1}(t) + M_{D2} x_{D2}(t)}{M_u + M_{D1} + M_{D2}}, \\ y_{u.m.}(t) &= \frac{M_u y_u(t) + M_{D1} y_{D1}(t) + M_{D2} y_{D2}(t)}{M_u + M_{D1} + M_{D2}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $x_u(t)$ і $y_u(t)$ - координати центра мас робочого контейнера вібросепаратора, $x_{Di}(t)$, $y_{Di}(t)$ - координати центрів мас відповідно першого і другого віброзбудників.

З (1) можна побачити, що координати які описують центр мас механічної системи є складними функціями кінематичних та геометричних показників контейнера, а також положення віброзбудників. З врахуванням останнього за базову точку необхідно вибрати геометричний центр вібросепаратора.

Координати центру мас віброзбудників та контейнера вібросепаратора відносно $Y_1O_3X_1$ будуть мати вигляд:

- 1) для контейнера: $x_1 = 0$, $y_1 = -P$;
- 2) для першого ексцентрикового віброзбудника – $x_1^{D1} = r_1 \sin(\omega_1 t + \alpha_0) - l_1$, $y_1^{D1} = k_1 - r_1 \cos(\omega_1 t + \alpha_0)$;
- 3) для другого ексцентрикового віброзбудника - $x_2^{D2} = r_2 \sin(\omega_2 t + \psi_0) + l_2$, $y_2^{D2} = k_2 - r_2 \cos(\omega_2 t + \psi_0)$

де ω_1 , ω_2 - кутові швидкості обертання віброзбудників.

Центр мас віброзбудників та контейнера відносно YOX матиме наступні координати:

- 1) для контейнера -

$$\begin{aligned} x_c &= x_{o3} + P \sin \varphi, \\ y_c &= y_{o3} - P \cos \varphi; \end{aligned} \quad (2)$$

- 2) для першого ексцентрикового віброзбудника –

$$\begin{aligned} x_{D1} &= x_{o3} + x_1^{D1} \cos \varphi - y_1^{D1} \sin \varphi = \\ &= x_{o3} + r_1 \sin(\omega_1 t + \varphi + \alpha_0) - l_1 \cos \varphi - u_1 \sin \varphi, \\ y_{D1} &= y_{o3} + x_1^{D1} \sin \varphi + y_1^{D1} \cos \varphi = \\ &= y_{o3} - r_1 \cos(\omega_1 t + \varphi + \alpha_0) - l_1 \sin \varphi + u_1 \cos \varphi; \end{aligned} \quad (3)$$

- 3) для другого ексцентрикового віброзбудника –

$$\begin{aligned} x_{D2} &= x_{o3} + x_2^{D2} \cos \varphi - y_2^{D2} \sin \varphi = \\ &= x_{o3} + r_2 \sin(\omega_2 t + \varphi + \psi_0) + l_2 \cos \varphi - u_2 \sin \varphi, \\ y_{D2} &= y_{o3} + x_2^{D2} \sin \varphi + y_2^{D2} \cos \varphi = \\ &= y_{o3} - r_2 \cos(\omega_2 t + \varphi + \psi_0) + l_2 \sin \varphi + u_2 \cos \varphi. \end{aligned} \quad (4)$$

Виходячи з отриманих залежностей необхідно зазначити, що зміни координат віброзбудників і центру мас вібросепаратора в часі складаються із геометричних даних системи і координат які вказують центр контейнера (O_3), а значить є функціями які описують останніх. Отже, за координати руху системи “вібросепаратор – сипка сировина” варто прийняти лінійні переміщення геометричного центру сепаратора x_{o3} , y_{o3} , а також кут повороту φ контейнера вібросепаратора відносно власного центра мас.

Використавши рівняння Лагранжа II роду отримаємо диференціальне рівняння системи:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial L}{\partial q_j} = 0, \quad (5)$$

де $L = T - (P + P_p)$ - функція-Лангранжиан, $T = T_k + T_{D1} + T_{D2}$ - кінетична енергія системи, що складається з суми кінетичних енергій контейнера сепаратора та енергії двох віброзбудників, P - потенціальна енергія системи (контейнера сепаратора та віброзбудників), P_p - потенціальна енергія пружинної підвіски контейнера сепаратора, q_j - узагальнені координати, тобто $q_1 = x_{o3}$, $q_2 = y_{o3}$, $q_3 = \varphi$, а $\dot{q}_1 = \dot{x}_{o3}$, $\dot{q}_2 = \dot{y}_{o3}$, $\dot{q}_3 = \dot{\varphi}$, відповідно, їх узагальнені швидкості [9].

Кінетична енергія контейнера сепаратора:

$$T_k = \frac{M_k}{2} (\dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2) + \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2, \quad (6)$$

де M_k - маса контейнера, I - момент інерції контейнера відносно точки O_3 .

Кінетична енергія ексцентрикових віброзбудників:

$$T_D = \frac{M_{D1}}{2} (\dot{x}_{D1}^2 + \dot{y}_{D1}^2) + \frac{M_{D2}}{2} (\dot{x}_{D2}^2 + \dot{y}_{D2}^2). \quad (7)$$

Віброзбудники вважаються матеріальними точками, в яких є зосереджена маса кожного з них, і виходячи з цього для запису кінетичної енергії віброзбудників використовуються вирази для знаходження кінетичної енергії матеріальної точки.

Потенціальну енергію контейнера і віброзбудників можна записати у вигляді:

$$P_D = M_{D_1}gh_1 + M_{D_2}gh_2 + M_Kgh_3, \quad (8)$$

де h_1 , h_2 , h_3 - функції, які визначають вертикальні переміщення центрів мас контейнера та віброзбудників впродовж деякого проміжку часу роботи сепаратора, тобто

$$\begin{aligned} h_1 &= y_{o3} + r_1 \cos \alpha_0 - r_1 \cos(\omega_1 t + \varphi + \alpha_0) - \\ &- l_1 \sin \varphi + u_1 \cos \varphi \\ h_2 &= y_{o3} + r_2 \cos \psi_0 - r_2 \cos(\omega_2 t + \varphi + \psi_0) + \\ &+ l_2 \sin \varphi + u_2 \cos \varphi \\ h_3 &= y_{o3} - P \cos \varphi \end{aligned} \quad (9)$$

Потенціальна енергія пружної підвіски сепаратора знаходиться з виразу:

$$P_p = -\frac{C_1}{2}(\Delta_0^2 - \Delta_1^2) - \frac{C_2}{2}(\Delta_0^2 - \Delta_2^2), \quad (10)$$

де Δ_0 - початкова деформація пружин, $\Delta_0 = \frac{Mg}{C}$, для лівої підвіски - $\Delta_1 = WF_1 - L_{np}$, для правої - $\Delta_2 = MQ_1 - L_{np}$

Лагранжиан даної механічної системи з врахуванням (2-4) запишеться наступним чином:

$$\begin{aligned} L &= \frac{M_k}{2}(\dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2) + \frac{1}{2}I\dot{\varphi}^2 + \frac{M_{D_1}}{2}(\dot{x}_{D_1}^2 + \dot{y}_{D_1}^2) + \\ &+ \frac{M_{D_2}}{2}(\dot{x}_{D_2}^2 + \dot{y}_{D_2}^2) - \left[\frac{C_1}{2} \left((L_1 N - L_{np})^2 - \left(-\left(\frac{Mg}{c}\right)^2 \right) \right) + \right. \\ &\left. + \frac{C_2}{2} \left((R_1 M - L_{np})^2 - \left(\frac{Mg}{c}\right)^2 \right) + \right] \\ &+ M_{D_1}gh_1 + M_{D_2}gh_2 + M_Kgh_3 \end{aligned} \quad (11)$$

Продиференціювавши вирази та підставивши отримані похідні по кожній узагальненій координаті в рівняння Лагранжа II-го роду, зведемо їх до наступного вигляду:

$$\begin{cases} \ddot{x}_c + \omega^2 x_c = \mathcal{E}'_x(\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \omega_1 t + \alpha_0, \omega_2 t + \psi_0); \\ \ddot{y}_c + \omega^2 y_c = \mathcal{E}'_y(\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \omega_1 t + \alpha_0, \omega_2 t + \psi_0); \\ \ddot{\varphi} + \omega_\varphi^2(t)\varphi = \mathcal{E}'_\varphi(\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \dot{x}_c, \dot{y}_c), \end{cases} \quad (12)$$

Рівняння (12) і буде математичною моделлю руху робочого контейнера вібраційного сепаратора.

Математична модель дає можливість дослідити різноманітні режими роботи вібросепаратора (вимк-

нення окремих віброзбудників, реверсування приводу, вплив сировини, яка сепарується, при збільшенні маси контейнера за рахунок збільшення маси завантаження), моделювати можливі нестационарні – резонансні режими, які можуть мати місце при роботі вібросепаратора. Використовуючи результати отримані вище, в рамках отриманих асимптотичних розв'язків, можна побудувати траєкторію руху довільної точки P сировини, яка сепарується відносно нерухомої системи координат в площині обертання віброзбудників.

Закон руху поперечного перерізу довільного шару сипкої сировини, що сепарується (наприклад, точки S (рис.1) – елементарної частинки шару сировини) відносно заданої системи координат XOY було знайдено з наступних міркувань:

а) рух точки S в системі координат $\nu O_4 K$, пов'язаної з досліджуваним шаром середовища можна представити рівняннями:

$$\begin{aligned} x_{s04}(t) &= \nu + u(\xi, t), \\ y_{s04}(t) &= 0, \end{aligned} \quad (13)$$

де $\nu = O_4 P$ - положення елемента шару в початковий момент часу, $u(\nu, t)$ - закон руху коливальних шару сировини. Відповідно рівняння руху точки S відносно системи координат $X_1 O_3 Y_1$, пов'язаної з контейнером сепаратора матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} x'_{s03}(t) &= -w + (\nu + u(\nu, t)) \cos \beta, \\ y'_{s03}(t) &= q + (\nu + u(\nu, t)) \sin \beta, \end{aligned} \quad (14)$$

де $w = KO_3$, $q = KO_4$, β - кут нахилу сита сепаратора до дна контейнера. Дані параметри вибираються з геометричних міркувань, з врахуванням того, траєкторію руху якого шару чи точки сипкої сировини контейнера сепаратора необхідно дослідити.

Виходячи з наведених вище міркувань, рух елементарної частинки середовища S відносно системи координат XOY можна описати наступними рівняннями:

$$\begin{aligned} x_{r1}(t) &= x_{03c}(t) - w \cos \varphi(t) - q \sin \varphi(t) + \\ &+ (\nu + u(\nu, t)) \cos(\varphi(t) + \beta), \\ y_{r1}(t) &= y_{03c}(t) - w \sin \varphi(t) + q \cos \varphi(t) + \\ &+ (\nu + u(\nu, t)) \sin(\varphi(t) + \beta), \end{aligned} \quad (15)$$

де

$$\begin{aligned} x_{03c}(t) &= x_{03}(t) + P \sin \varphi(t), \\ y_{03c}(t) &= y_{03}(t) - P \cos \varphi(t) \end{aligned}$$

- координати точки Mc (центра мас середовища відносно системи координат XOY), $x_{03}(t)$, $y_{03}(t)$, $\varphi(t)$ - відповідно координати геометричного центра робочого контейнера сепаратора та кут його поворо-

ту під час руху (кут на який обертається системи координат $X_1O_3Y_1$ відносно XOY (вирази для знаходження цих координат наведено в 13).

В кінцевому результаті матимемо:

$$\begin{aligned} x_S(t) &= x_{03}(t) + P \sin \varphi(t) - w \cos \varphi(t) - q \sin \varphi(t) + \\ &+ (v + u(v,t)) \cos(\varphi(t) + \beta), \\ y_S(t) &= y_{03}(t) - P \cos \varphi(t) - w \sin \varphi(t) + q \cos \varphi(t) + \\ &+ (v + u(v,t)) \sin(\varphi(t) + \beta), \end{aligned} \quad (16)$$

де $P = O_3C$ - відстань від геометричного центру контейнера до центру мас середовища.

Таким чином, за допомогою системи рівнянь 16, використовуючи систему рівнянь 13 – опису руху геометричного центру контейнера сепаратора, та рівняння, які описують відносний колильний рух довільного шару (його поперечного перерізу) сировини у сепараторі можна побудувати абсолютну траєкторію руху та визначити амплітуду коливань системи шар сировини - контейнер сепаратора, а також будь-якої його точки, визначити вплив параметрів системи на амплітудні та амплітудно-частотні характеристики сипкої сировини. Отже, систему рівнянь (16) можна назвати абсолютною моделлю руху системи “вібро-сепаратор – сипка сировина”.

Висновки. Побудовані розрахункова схема та математична модель системи “вібросепаратор – сипка сировина” дають змогу дослідити вплив різних параметрів вібраційного сепаратора та шару сипкої сировини на процес сепарації та відповідно проводити їх регулювання для підвищення ефективності процесу. Також дані моделі можуть бути використані в процесах вібраційної обробки та транспортування.

Література

1. Лукьяненко В.М. Сепарация трудноразделимых семенных смесей. III Международная научно-техническая конференция “Сельскохозяйственные машины”. Харьков. XXIII Вып. 1. - 2015 г. – с. 95-98.
2. Назаренко І.І. Вплив кута нахилу робочої поверхні вібраційного грохота на ефективність його роботи. НУБА, Київ, Вып. 87. – 2016 р. – с. 69-73.
3. T. B. Linhares, C. B. Santos Vimieiro Analysis of the dynamic forces acting on a vibrating screen and its support structure using a scale model. *Measurement*. 2021. Vol. 176.
4. Ray Singh (2004) Vibratory separators still make the grade for screening dry bulk powders. *Filtration and Separation*. Vol.41. Iss.1. 20-21. [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(04\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(04)00107-7)
5. Котов Б.І., Деревенько І.А., Степаненко С.П. Дослідження ефективності сепарації зернових матеріалів на ступінчасто-конічному решітці вібровідцентрових машин. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця. 2017р. Вып.2(85). с. 99-102.

6. Топільницький В.Г., Кусий Я.М., Ребот Д.П. Модель опису технологічного середовища оброблювальних систем вібраційного типу. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця. Вып.1(88). – с. 5 – 11.
7. Омелянов О.М. Обґрунтування впливу механічних коливань на процес обробки сипкої маси. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця. -2019. - Вып.2(93). – с. 68-74.
8. Стоцько З.А., Ребот Д.П., Топільницький В.Г. Визначення впливу властивостей сипкого середовища на ефективність сепарації. *Вісник НУЛП Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні*. Львів. 2018. – Вып.891. – с. 60 – 65.
9. З.А. Стоцько, В.Г. Топільницький, Я.М. Кусий Математична модель опису динаміки вібраційного сепаратора з дебалансним приводом. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2013. Вып. 47. - с.28-36

References

1. Lyk'ianenko V.M. (2015) Separacia trydnorazdelymyh semennyh smiesey. III Megdynarodnaia nauchnotekhnicheskaja konferenciia “Sielskohoziastvennye nayki” Kharkov. XXIII Vyp.1, 95-98. [In Russian]
2. Nazarenko I.I. (2016) Vplyv kyta nahuly robochoi poverhni vibraciinogo grokhota na efektyvnist' iogo roboty. NYBA, Kyiv, № 87, 69-73. [In Ukrainian]
3. T. B. Linhares, C. B. Santos Vimieiro Analysis of the dynamic forces acting on a vibrating screen and its support structure using a scale model. *Measurement*. 2021. Vol. 176.
4. Ray Singh (2004) Vibratory separators still make the grade for screening dry bulk powders. *Filtration and Separation*. Vol.41. Iss.1. 20-21. [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(04\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(04)00107-7)
5. Stotsko Z.A., Rebot D.P., Topilnytsky V.G. (2018) Vyznachennia vplyvy vlastyvostei sypkogo seredovyscha na efektyvnist' separatsii. Visnyk NYLP *Optimizacia vyrobnychych procesiv i technichnyy control y mashynobydyvanni ta prylyadobydyvanni*, 891, 60 – 65. [In Ukrainian]
6. Topilnytsky V.G., Kysyy Ya.M., Rebot D.P. (2019) Model' opysy tekhnologichnogo seredovyscha jbroblyuval'nyh system vibraciynogo typu. *Vibracii v tehnicii ta tehnologiyah*. 1(88), 5-11. [In Ukrainian]
7. Omelyanov O.M. (2019) Obgryntyvannya vplyvy mehanichnyh kolyvan' na proces obrobky sypkoi masy. *Vibracii v tehnicii ta tehnologiyah*. 2(93). 68 – 74 [In Ukrainian]
8. Kotov B.I., Dereven'ko I.A., Stepanenko S.P. (2017) Doslidzennya efektyvnosti separacii zernovyh materialiv na stypinchasto-konichnomu resheti vibrovidcentrovyyh mashyn. *Vibracii v tehnicii ta tehnologiyah*. 2(85). 99-102. [In Ukrainian]
9. Stotsko Z.A., Topilnytsky V.G., Kysyy Ya.M. (2013) Matematychna model' opysy dynamiky vibraciinogo separatora z debalansnym pryvodom. *Avtomatyzacia vyrobnychych procesiv y mashynobydyvanni ta prylyadobydyvanni*. 47. 28 – 36. [In Ukrainian]

Rebot D.P., Topilnytsky V.G. Mathematical model of system “Vibratory separator – loose material”

The process of vibrating separation is quite complex and depends on many factors. In particular, recent studies show that the efficiency of the process depends not only on the design parameters of the vibrating separator but also on their mutual influence and the characteristics of the bulk material. Therefore, the paper proposes to build a mathematical model of the system “vibrating separator - bulk material”

It is constructed the calculation scheme of the vibrating separator with two independently driven eccentric vibrators. Based on the scheme, it is considered that the vibrating separator performs only vertical oscillations in the plane of rotation of eccentric vibrators. A cylindrical vibrating separator is considered, due to the possibility of transmitting vibrations of greater force to the sieve and much more efficient use of the entire screening surface.

Also, a mathematical model of the motion of an arbitrary point of the system “vibrating separator - bulk material” is built. Methods of nonlinear mechanics and Lagrange equations of the second kind are used to build a mathematical model. The basis of the mathematical model of any point motion in the working container of the vibrating separator is taken the law of motion of the mass center. The obtained mathematical model makes it possible to investigate the influence of the parameters of the vibrating separator and the characteristics of the loose material on the efficiency and productivity of the separation process. Differential equations describing the motion of the geometric center of the separator

container and equations describing the motion of an arbitrary point of the loose material layer make it possible to construct the absolute trajectory of its motion and determine the effect of changing the amplitude-frequency characteristics of the vibrating separator on the natural frequency of loose material. Also, when substituting the necessary set parameters of the separator in the mathematical model, we obtain the equation for determining the amplitude and frequency of any point of the working container. The constructed mathematical models can also be used in other machines of vibration volumetric processing.

Key words: *vibrating separator, bulk raw materials, mathematical model, amplitude, frequency.*

Ребот Дарія Петрівна – кандидат технічних наук, асистент кафедри «Проектування та експлуатація машин» Національного університету «Львівська політехніка» (м. Львів), e-mail: dasha_kotlyarova@ukr.net.

Топільницький Володимир Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Проектування та експлуатація машин» Національного університету «Львівська політехніка» (м. Львів), e-mail: topilnvol@gmail.com.

Стаття подана 04.08.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-17-19>

УДК 621.31

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Мелконова І.В., Романченко Ю.А.

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Melkonova I.V., Romanchenko J.A.

На сьогоднішній день завдання підвищення енергоефективності є однією з найважливіших для всіх галузей виробництва і життєдіяльності людини. Однією з провідних галузей виробництва в сучасному світі виступає сфера будівництва. Проблема створення і експлуатації сучасної будівлі полягає в тому, що в більшості випадків при його проектуванні не враховується зовсім або враховується з недостатнім ступенем фактор енергозбереження. Проектування енергоефективних будівель - це складна комплексна робота багатьох фахівців, робота яких заснована на принципах максимального забезпечення енергоефективності, екологічності та економічної ефективності будівлі. У будівлі середньої поверховості, в багатоквартирному будинку забезпечити такі критерії представляється часом більш можливим, ніж в малоповерховому будинку. З огляду на те, що власники квартир як спільно спільно управляють будинком, можливий більш раціональний і вигідний для всіх витрата енергії, води і так далі. Тому в статті розглянуті основні аспекти, та досвід європейських країн, щодо енергоефективності житлових будинків.
Ключові слова: енергетичні ресурси, житлове будівництво, енергоефективний житловий будинок.

Вступ. В даний час питання про економію ресурсів є дуже актуальним і до кінця не вирішеним питанням. Житловий фонд нашої країни умовно можна розділити на житловий фонд, споруду які були збудовані до 2000 року і новобудови (будинки, побудовані після 2000 року) [1]. Старий житловий фонду в більшості випадків не відповідає вимогам сучасності до енергозбереження і енергоефективності. Дану проблему пов'язують зі зведенням будинків за застарілими нормами будівництва. Незаперечним фактом є те, що сучасна новобудова споживає до 70% менше ресурсів, ніж аналогічне будівлю, побудоване до 2000 року.

Більшість країн світу реалізовує власні проекти будівництва будівель із застосуванням енергоефективних технологій, так як географічні особливості і кліматичні чинники в даному напрямку будівельної індустрії надають досить істотний вплив. У багатьох випадках в якості базового будинку прий-

мався типовий проект житлового будинку, для якого фахівці проводили відповідні вимірювання. Потім інженерні групи розробляли заходи, які, на їхню думку, могли б позначитися на підвищенні енергоефективності будинків. Тільки потім будівельні організації отримували завдання на зведення будинків, які найчастіше ставали пілотними проектами.

Сьогодні найбільш перспективними визнаються два напрямки підвищення енергетичної ефективності об'єктів, а саме житлових будинків:

- економія енергетичних ресурсів шляхом мінімізації енергоспоживання і втрат енергії, в т.ч. утилізацією енергетично цінних відходів;
- застосування при експлуатації житлових будинків відновлюваних джерел енергії.

Мета дослідження полягає в аналізі стану житлових будинків та їх енергоефективності.

Результати дослідження. Все більший інтерес у світі викликає концепція енергоефективного будинку. У ньому основна частина загальної потреби в енергії покривається за рахунок сонячної енергії або утилізації тепла, що виділяється побутовою технікою і людьми. В енергоефективних будинках використовуються сучасні будівельні матеріали і конструкції, а також новітнє інженерне обладнання. В даний час такі житлові будинки визнані в Європі найдосконалішими з позицій комфортності, мікроклімату приміщень і енергоспоживання [2].

Головна умова при проектуванні енергоефективного будинку – це забезпечення комфортної внутрішньої температури без застосування систем опалення та вентиляції шляхом герметизації будівлі і застосування альтернативних джерел енергії. Класифікації таких будинків проводиться на основі їх енергоспоживання. При витратах на опалення приміщень в рік менше 90 кВт г/м²

- будинок є енергоефективним; до 45 кВт г/м²
- енергопасивним; до 15 кВт г/м²
- нульового енергоспоживання, тобто на опалення енергія не витрачається, потрібна енергія для підігріву води [1].

Енергоефективність належить до пріоритетних завдань, які безпосередньо пов'язані з економікою будівельної галузі та збереженням енергоресурсів. Проблема обмеженості ресурсів викликає необхідність створення програм по енергозбереженню, не тільки державних, але і регіональних. Безумовно, в підвищенні енергоефективності велику роль відіграють інноваційні матеріали, обладнання та технології, використовувани при будівництві будівель і модернізації устаткування в існуючих будівлях, а також сучасні методи і підходи до енергозбереження. Чимало уваги приділено екологічності матеріалів, використовуваних при будівництві, тому що це важливо для комфортного проживання людей, їх здоров'я, і є перспективним для розвитку енергетичної галузі.

Актуальність теми підвищення енергоефективності також полягає в тому, що сьогодні велика кількість будівель в Україні мають дуже низькі показники енергетичної ефективності і, відповідно, поступаються європейським стандартам при будівництві будинків. Наприклад, на 1 м² житлової площі в Україні витрата теплової енергії в кілька разів більше, ніж в європейських країнах. Основна причина того, що в нашій країні раніше не додавалося серйозного значення питань енергозбереження житлових будинків, пов'язана з низькою вартістю енергоресурсів, але як ми бачимо в останні роки ціни на комунальні послуги різко зросли, керівництво країни та громадяни почали замислюватися над збереженням енергоресурсів та економії.

Досвід таких країн, як Німеччина, Данія, Фінляндія, показує, що навіть в будинках старого житлового фонду можна мінімізувати втрати енергії. Сума ефекту економії тепла у новому житловому фонді становить близько 50-70% [4].

У таблиці наведено порівняння витрат теплоенергії в країнах ЄС і в Україні в залежності від типів будівель

Таблиця

Порівняння витрат теплоенергії в країнах ЄС і в Україні в залежності від типів будівель

Житловий будинок загальною площею 140 м ²	Річні витрати тепла, кВт год / м ²	Питомі витрати тепла, Вт год / м ²
країни ЄС		
Будівля старої споруди	300	136
Будівля споруди 1970-х рр.	200	91
Будівля споруди 1980-х рр.	150	68
Будівля низького енергоспоживання 1990-х рр.	30-70	14-32
Будівля ультранизького енергоспоживання	15-30	7-14
Сучасне енергоефективне будівля	15	7
Україна		
Будівлі старого житлового фонду (до середини 1997 рр.)	600	125
Будівлі нового житлового фонду (2010 -2020 рр.)	350	73

Виходячи з даних, наведених в табл. 1, можна зробити висновок, що будинки нашої країни, здані в експлуатацію після 2010 років, споживають близько 350 кВт * год / (м² × рік), що перевищує аналогічні показники німецьких будівель старого житлового фонду споруди 1970-80-х рр. [5].

В Україні будівництво енергетично ефективних будинків тільки починає розвиватися в порівнянні з країнами Європи, де будівництво таких будинків користується популярністю вже десятки років. Основною причиною, по якій розвиток будівництва енергоефективних будинків в Україні не розвиненим, полягає в тому, що одиниця житлової площі в енергоефективні будинку виходить на 8-13% дорожче, ніж в будинку традиційної побудови. Це є одним з стримуючих чинників реалізації енергоефективних технологій в житлових будинках в нашій країні. В зв'язку з цим багатьом організаціям вигідніше вкладати кошти в будівництво «енерговитратних» житлових будинків, тим самим отримуючи більш високий дохід [4]. З огляду на вищевказаних причин держава розробляє методи стимулювання забудовників до енергоефективності будинків, за останні роки було прийнято ряд законопроектів, щодо енергоефективності та збереження енергетичних ресурсів країни.

Ще одна проблема, що виникає в даній області, це правильна експлуатація енергоефективних житлових будинків. Результати одержуваної економії енергії багато в чому залежать від мешканців, їх бажання берегти тепло і їх грамотності в питаннях експлуатації. Проблема експлуатації енергоефективних житлових будинків - це відсутність мотивації в правильній експлуатації енергозберігаючого обладнання орендарями квартир. За проведеним опитуванням, тимчасовим мешканцям в більшості випадків байдуже, чи відкриті вікна, чи працює припливна система вентиляції, зберігає вона тепло. Всього близько 11% мешканців, причому незалежно від освітнього рівня, розуміють, що в енергоефективні будинку не можна відкривати вікна при працюючій системі вентиляції. Система вентиляції з рекуперацією тепла дає можливість забезпечити постійний приплив в квартири свіжого повітря без необхідності відкривати вікна. При температурі зовнішнього повітря +5 - -5°C система вентиляції з рекуперацією дозволяє скоротити витрати теплової енергії на опалення до 70%. За опалювальний сезон сума економії сягає не менше 50%. При провітрюванні приміщень шляхом відкривання вікон ефект енергозбереження анулюється, так як тепле повітря активно витісняється холодним. Як результат - істотно зростають витрати на опалення і термін окупності інженерного обладнання збільшується в рази.

Дана проблема може бути вирішена тільки за правильної тарифної політики щодо енергетичних ресурсів з наявністю одночасно можливості самого мешканця регулювати фактичні витрати енергоресурсів на опалення і, відповідно, величину фінансових витрат на опалення квартири, або житлового

будинку. Якщо взяти до уваги постійне подорожчання енергоресурсів, то рентабельність енергоефективного будівництва збільшується. В цілому, технологія енергоефективного будинку допомагає максимально раціонально використовувати «внутрішнє» тепло будинку, і прагне звести до мінімуму будь-які енерговитрати з зовнішніх джерел.

Висновки. Таким чином, ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні багато в чому залежить від проведеної політики держави. В нашій країні на законодавчому рівні закріплені основні аспекти ефективного використання енергоресурсів. При вирішенні проблем фінансування будівництва енергоефективних житлових будинків можливе використання досвіду західноєвропейських країн, де вже побудовано від 2 до 10 тисяч таких будинків [6]. Лідерами тут є Данія, Німеччина та Фінляндія. У цих країнах прийняті і ефективно працюють цільові державні програми з енергозбереження та будівництва енергозберігаючих будинків, є багатий досвід в області стимулювання підвищення енергоефективності будівництва житла.

Л і т е р а т у р а

1. Офіційний сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України. Електронний ресурс. Режим доступу. - <http://minregion.gov.ua>
2. Taylor T. Energy efficiency is more than skin deep: Improving construction quality control in new-build housing using thermography / T. Taylor, J. Counsell, S. Gill // *Energy and Buildings*. – 2013. – Vol. 66. – P. 222 – 231. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813004428>
3. Проекти з енергоефективності в Україні. Energy Efficiency Projects in Ukraine. Електронний ресурс. Режим доступу. - <http://www.eeib.org.ua>
4. Korniyenko S. V. The Experimental Analysis and Calculative Assessment of Building Energy Efficiency / S. V. Korniyenko // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 618. – P. 509 – 513. <http://www.scientific.net/AMM.618.5096>.
5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). / В.Н. Богословский. – М.: Высшая школа, 1970. – 376 с.

R e f e r e n c e s

1. Ofitsiynyy sayt Ministerstva rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovokomunal'noho hospodarstva Ukrayiny. Elektronnyy resurs. Rezhym dostupu. - <http://minregion.gov.ua>
2. Taylor T. Energy efficiency is more than skin deep: Improving construction quality control in new-build housing using thermography / T. Taylor, J. Counsell, S. Gill // *Energy and Buildings*. – 2013. – Vol. 66. – P. 222 – 231. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813004428>
3. Proekty z enerhoefektyvnosti v Ukrayini. Energy Efficiency Projects in Ukraine. Elektronnyy resurs. Rezhym dostupu. - <http://www.eeib.org.ua>
4. Korniyenko S. V. The Experimental Analysis and Calculative Assessment of Building Energy Efficiency / S. V. Korniyenko // *Applied Mechanics and Materials*. –

2014. – Vol. 618. – P. 509 – 513. <http://www.scientific.net/AMM.618.5096>.

5. Bogoslovskiy V.N. Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskiye osnovy otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha). / V.N. Bogoslovskiy. – М.: Vysshaya shkola, 1970. – 376 s.

Melkonova I. V., Romanchenko J.A. Improving energy efficiency in residential buildings.

Today, the task of increasing energy efficiency is one of the most important for all industries and human life. Construction is one of the leading industries in the modern world. The problem of creating and operating a modern building is that in most cases, when designing it, the factor of energy saving is not taken into account at all or is taken into account with insufficient degree. Designing energy efficient buildings is a complex and complex work of many specialists, whose work is based on the principles of maximizing energy efficiency, environmental friendliness and economic efficiency of a building. In a mid-rise building, in an apartment building, it seems all the more possible to provide such criteria than in a low-rise building. Considering that apartment owners as a community jointly manage the house, a more rational and beneficial use of energy, water and so on is possible for everyone. Therefore, the article discusses the main aspects, and the experience of European countries, on the energy efficiency of residential buildings. The paper shows that the energy efficiency of a residential building is ensured through the implementation of the following measures: reliable thermal insulation, using enclosing structures of high thermal insulation characteristics, "warm" windows; the use of a ventilation system with heat recovery from ventilation emissions, the use of secondary and renewable sources of thermal energy for heating and hot water supply, such as solar collectors or heat pumps, the use of internal sources of heat and energy of a residential building. Additional savings in thermal energy occurs due to the use of an automated control system for all technical devices in the building. The direction of solving the problem is proposed - this is the construction of residential buildings with energy efficient design, but without expensive energy-saving engineering equipment, but with the stipulated project the possibility of its installation at any time. Windows are provided with three-chamber double-glazed windows filled with inert gas and a special low-emission glass coating that preserves indoors, more than 50% of the solar energy falling on the glass. In the course of operation, if the owner wishes, it is possible to connect energy efficient systems to such a residential building when his financial condition improves or when cheaper analogs of engineering equipment appear on the market. Such residential buildings have average price characteristics or slightly above average. And in case of mass construction, the cost of 1 m² will decline.

Key words: : energy resources, housing construction, energy-efficient residential building.

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

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

Стаття подана 20.08.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-20-23>

УДК 621.18

ЦИФРОВІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ В МЕХАТРОННИХ СИСТЕМАХ

Морнева М.О., Голубєва С.М., Торопов А.С.

DIGITAL AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS IN MECHATRONIC SYSTEMS

Morneva M.O., Golubieva S.M., Toropov A.S.

У статті розглянуто питання щодо цифрових систем автоматичного керування, які відносяться до класу лінійних імпульсних систем, але мають свої особливості. Також знайдені різницеві рівняння і Z-перетворення передавальної функції двома способами: класичним і за допомогою білінійних перетворень. Побудовані перехідні і частотні характеристики системи автоматичного керування (САК). За допомогою математичного моделювання підтверджено, що при порівнянні характеристик безперервного і дискретного фільтрів з ростом частоти відмінність в характеристиках зростає.

Ключові слова: мехатронні системи, автоматична система керування, мікропроцесори, автоматичні пристрої, електромеханічні перетворювачі.

Вступ. Автоматична система керування – це сукупність керованого об'єкта й автоматичних вимірювальних та керуючих пристроїв[1]. На відміну від автоматизованої системи керування ця система самодіюча і реалізує встановлені функції процесу автоматично, без участі людини (крім етапів пуску та налагодження). На практиці часто послуговуються терміном-аналогом система автоматичного керування (САК).

Основними компонентами САК є:

- об'єкт керування (ОК), яким система повинна керувати;
- датчики, які забезпечують отримання інформації про об'єкт;
- пристрій керування,
- головний компонент системи керування, який порівнює задані і вимірювані на об'єкті дані та формує вхідні змінні, які поступають на об'єкт. Задані дані подаються в пристрій керування. Вихідні дані з об'єкта керування вимірюються за допомогою датчиків, і вимірювані значення поступають в пристрій керування[2]. Пристрій керування формує вхідні дані, які поступають на вхід об'єкту керування.

Цифрові САК відносяться до дискретних, в яких вхідні або вихідні сигнали є послідовністю імпульсів.

В цифрових системах проводиться квантування сигналів за часом та рівнем. В цифрових системах, крім об'єкту керування, є аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі, таймер часу та комп'ютер (мікропроцесор, мікроконтролер)[3].

В даний час цифрові САК набули широкого поширення в різних галузях промисловості. Ці системи, як правило, мають вбудовані керуючі мікроЕОМ або мікропроцесори. Робота цифрових САК здійснюється під управління робочої програми, яка міститься в пам'яті ЕОМ, або вводиться ззовні[4]. Перевагою цифрових САУ є висока точність роботи, малі габарити керуючої частини, можливість оперативне змінювати алгоритм роботи САУ за рахунок зміни керуючої програми.

Мета дослідження полягає в спробі знайти різницеві рівняння і Z-перетворення передавальної функції двома способами: класичним і за допомогою білінійних перетворень (використовуючи пакет прикладних програм для вирішення задач технічних обчислень Matlab) та побудувати перехідні і частотні характеристики.

Результати дослідження. Цифрові САК відносяться до класу лінійних імпульсних систем, але мають свої особливості. Так в імпульсних системах інформація про вхідну дію визначається в дискретні моменти часу ($t = t_i(0, 1, 2, 3, \dots)$) і модулюється різними способами (амплітудна, фазова, широтно-імпульсна).

У цифрових САК моменти часу рівновіддалені, тобто $t_i = iT$, де T - період квантування, а i - модуляція амплітудна[5]. Наявність і вид інформації в проміжках між моментами виміру залежить від типу екстраполятора, який визначає закон зміни інформації між моментами виміру інформації. Екстрапо-

лятор бувають нульового, першого і більш високого порядку. Екстраполятор нульового порядку зберігає після виміру сигнал постійним до наступного виміру, екстраполятор першого порядку реалізує тенденцію зміни сигналу по першій похідній і т.д.

В основі теорії імпульсних, а отже і цифрових систем, лежать різниці рівняння (аналог диференціальних рівнянь) і Z - передавальні функції (аналог передавальних функцій безперервних систем)[6].

Для імпульсних систем існує також поняття рівняння в кінцевих різницях. Воно може бути отримано з лінійного диференціального рівняння шляхом заміни символу диференціювання d на кінцеве прирощення Δ , а поточного часу t на період квантування T . Наприклад для лінійного диференціального рівняння 2-го порядку

$$a_2 \frac{d^2x}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0x = b_1 \frac{dg}{dt} + b_0g, \quad (1)$$

рівняння в кінцевих різницях матиме вигляд:

$$\frac{a_2}{T} \Delta^2 x + \frac{a_1}{T} \Delta x + a_0x = \frac{b_1}{T} \Delta g + b_0g. \quad (2)$$

У зв'язку з тим, що цифрова система керування оперує не різницями, а абсолютними значеннями змінних - рівняння в кінцевих різницях непридатне для використання в прикладних програмах і його перетворюють у різниці рівняння. Різницеве рівняння для нашого прикладу складається таким чином. Нехай в деякий поточний момент часу $t = Tn$ вхідна змінна $g(t) = g(Tn)$, а в попередній момент знімання інформації $g(t) = g(T(n-1))$. Аналогічно, якщо в поточний момент вихідна змінна $x(t) = x(Tn)$, то в попередній і предпозадній моменти значення $x(t)$ відповідно були: $x(t) = x(T(n-1))$ і $x(t) = x(T(n-2))$ (рис. 1).

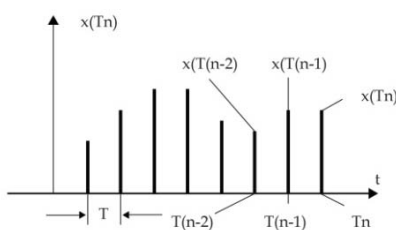


Рис. 1. Дискретний сигнал (решітчаста функція)

Через ці значення змінних можуть бути виражені різниці:

$$\begin{aligned} \Delta g &= g(Tn) - g(T(n-1)), \\ \Delta x_1 &= \Delta x = x(Tn) - x(T(n-1)), \\ \Delta x_2 &= x(T(n-1)) - x(T(n-2)), \\ \Delta^2 x &= \Delta_1 x - \Delta_2 x = x(Tn) - 2x(T(n-1)) + x(T(n-2)). \end{aligned} \quad (3)$$

Після підстановки виразів (3) в (2) і деяких очевидних перетворень отримаємо:

$$x(nT) = d_0 g(nT) + d_1 g(T(n-1)) - c_1 x(T(n-1)) - c_2 x(T(n-2)), \quad (4)$$

де

$$c_1 = \frac{-(2a_2 + a_1 T)}{a^2 + a_1 T + a_0 T^2}, \quad c_2 = \frac{a_2}{a_2 + a_1 T + a_0 T^2},$$

$$d_0 = \frac{b_1 T + b_0 T^2}{a_2 + a_1 T + a_0 T^2}, \quad d_1 = \frac{-b_1 T}{a_2 + a_1 T + a_0 T^2}.$$

У загальному вигляді рівняння лінійного дискретного фільтра буде мати вигляд:

$$x(nT) = \sum_{k=0}^N d_k g(nT - kT) - \sum_{m=1}^M c_m x(nT - mT), \quad (5)$$

де n - порядок правій частині диференціального рівняння фільтра, а m - порядок лівій частині. Вираз (5) по суті є алгоритмом для обчислення чергової поточної змінної x за значеннями поточної вхідної змінної g , її попередніх значень, кількість яких одно порядку правій частині вихідного диференціального рівняння, а також попередніх значень вихідних змінних x , кількість яких одно порядку лівій частині вихідного диференціального рівняння. Різницеве рівняння у виразах (3,5) безпосередньо застосовується в прикладних керуючих програмах цифрових САК. Різницеві рівняння у виразі (5) можна отримати з Z - передавальних функцій. Нагадаємо, що Z - передатну функцію отримують застосовуючи дискретне перетворення Лапласа до вхідних і вихідних змінних розглянутого динамічного ланки, наприклад

$$X^*(s) = \sum_{n=0}^{\infty} x T_n e^{-s T n}, \text{ або}$$

$$Z(x(Tn)) = X(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(Tn) z^{-n},$$

де $z = e^{sT}$, і беручи їх ставлення. Для різницевого рівняння (5), з огляду на, що у теоремі змішання

$$Z(x(T(n-m))) = z^{-m} X(z),$$

а

$$Z(g(T(n-k))) = z^{-k} G(z),$$

отримаємо:

$$W(z) = \frac{X(z)}{G(z)} = \frac{\sum_{k=0}^N d_k z^{-k}}{1 + \sum_{m=1}^M c_m z^{-m}} \quad (6)$$

Для приватного рівняння Z - передавальна функція матиме вигляд

$$W(z) = \frac{X(z)}{G(z)} = \frac{d_0 + d_1 z^{-1}}{1 + c_{-1} z^{-1} + c_2 z^{-2}} \quad (7)$$

Як бачимо коефіцієнти c і d в виразах (5) і (7) мають одні і ті ж значення, проте отримати безпосе-

редньо різницеве рівняння високого порядку (як ми отримали для другого порядку) зазвичай буває складно і ці коефіцієнти беруть з Z - передавальної функції. Останню можна отримати кількома різними способами. В інженерній практиці Z - передавальну функцію найчастіше отримують зі звичайної передавальної функції за допомогою білінійної перетворення [] шляхом підстановки:

$$p = \frac{2}{T} \cdot \frac{(1 - z^{-1})}{(1 + z^{-1})}, \tag{8}$$

з якої випливає, що

$$z = \frac{1 + \frac{T s}{2}}{1 - \frac{T s}{2}} \tag{9}$$

Таким чином проведена заміна трансцендентного значення на лінійний вираз (9). Правомірність такої заміни заснована на припущенні, що гранична частота входного впливу і частота зрізу САК набагато менше частоти квантування ЦВМ $\omega_{кв} = 2\pi / T$.

Дійсно поклавши $s = j\omega$ маємо

$$z = e^{j\omega T} = \cos \omega T + j \sin \omega T = \frac{1 + jt g \frac{\omega T}{2}}{1 - jt g \frac{\omega T}{2}}$$

При $\omega T / 2 = 1$, або отримаємо z , що в операторній формі відповідає 9.


З теорії імпульсних систем відомо, що смуга

відтворюваних частот лежить в межах $0 \leq \omega_s \leq \frac{\omega_{кв}}{2}$.

Застосування виразу (8) дозволяє при аналізі і синтезі дискретних систем використовувати апарат частотних характеристик, розроблений для безперервних лінійних систем.

Прикладом реалізації подібної моделі може бути дискретний фільтр бібліотеки Simulink прикладного пакета Matlab [7].

1. Використовуючи процедуру "bilinear" пакета Matlab знайдемо коефіцієнти Z -передавальної функції для коригуючої ланки $W_k(s) = \frac{bs + 1}{as + 1}$, в якому $b = 0,05$, $a = 0,7$. Для їх знаходження відкриємо вікно редагування М-файлів і внесемо в нього програму (а). У цьому ж вікні «клацнемо» мишкою по кнопці

 (RUN). Результат обчислень (коефіцієнти ad і bd) з'явиться в командному (первинному) вікні (б).

2. З розділу Discrete (дискретні елементи) бібліотеки Simulink використовуємо блок Discrete Filter, ввівши в нього коефіцієнти bd (чисельник) і ad (знаменник) по зростаючим ступеням і період квантування $T=0,005$ с (рис. 2). Коефіцієнти bd і ad відповідають коефіцієнтам "d" і "c" в рівняннях (6) і (7).

```

b=[0.05 1]      a
a=[0.7 1]
Fs=200;
[bd, ad]=bilinear(b, a, Fs).

b =          bd =          6
0.0500  1.0000          0.0747 -0.0676

a =          ad =
0.7000  1.0000          1.0000 -0.9929
    
```

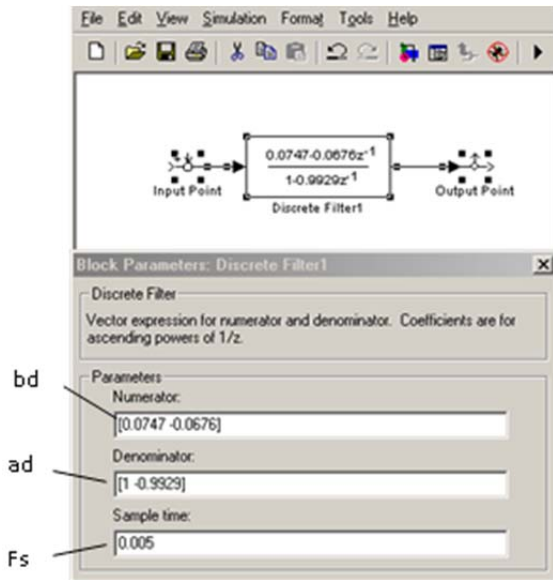


Рис. 2. Дискретний фільтр

3. При розгляді і порівняння частотних характеристик амплітудних і фазочастотних для пристроїв різних видів виникає проблема їх компактного представлення, так як значення амплітуд і частот істотно відрізняються один від одного. Вирішення цієї проблеми лежить у використанні логарифмічних масштабів в частотних характеристиках.

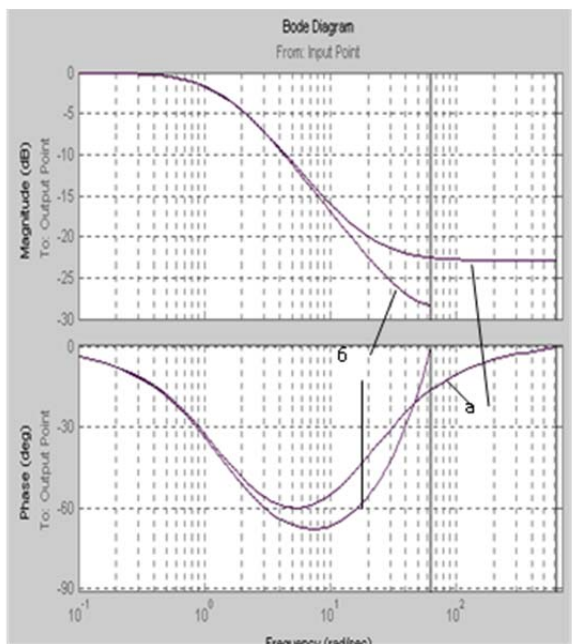


Рис. 3. ЛАЧХ та ЛФЧХ безперервного (а) та дискретного (б) фільтрів

Логарифмічною амплітудною частотною характеристикою (ЛАЧХ) динамічної ланки називають таке уявлення амплітудної частотної характеристики (АЧХ), в якому модуль (амплітуда) частотної характеристики виражений в децибелах, а частота - в логарифмічному масштабі.

Логарифмічною фазовою частотною характеристикою (ЛФЧХ) динамічної ланки називають таке уявлення фазочастотної характеристики (ФЧХ), в якому частота виражена в логарифмічному масштабі.

Визначимо і зафіксуємо частотні характеристики безперервного і аналогічного дискретного фільтрів відповідно до методики визначення ЛАЧХ і ЛФЧХ безперервних ланок (рис.3).

Висновки. Використовуючи процедуру "bilieniar" пакета Matlab знайдені коефіцієнти Z-передавальної функції для коригуючої ланки. Відповідно до методики визначення ЛАЧХ і ЛФЧХ безперервних ланок визначені частотні характеристики безперервного і аналогічного дискретного фільтрів. При порівнянні характеристик безперервного і дискретного фільтрів можливо переконатися, що з ростом частоти відмінність в характеристиках зростає.

Л і т е р а т у р а

1. <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
2. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника / Ю.Ф. Опадчий // М.: Горячая линия - Телеком, 2017. - 768 с.
3. Подураев, Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение / Ю. В. Подураев // Учеб. пособие для вузов - М.: Машиностроение, 2006. - 256 с.
4. Карнауков Н.Ф. Электромеханические и мехатронные системы / Н.Ф. Карнауков // Учеб. пособие для вузов - Ростов н/Д.: Феникс, 2006. - 320 с.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов // - СПб.: Изд-во «Профессия», - 2003. - 768 с.
6. Иванов А.О. Теория автоматического керування / А.О. Иванов // Підручник Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, - 2003. - 250 с.
7. Голубева С.М., Морнева М.О. Порівняльна оцінка програмних пакетів комп'ютерного моделювання інженерних процесів / С.М. Голубева, М.О. Морнева // Вісник СХУ ім. В. Даля, вип. 3(233), 2017, с. 44-48.

R e f e r e n c e s

1. <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
2. Opadchij Ju.F., Gludkin O.P., Gurov A.I. Analogovaja i cifrovaja elektronika / Ju.F. Opadchij // М.:Gorjachaja linija - Telekom, 2017. - 768 s.
3. Poduraev, Ju.V. Mehatronika: osnovy, metody, primenenie / Ju. V. Poduraev // Ucheb. posobie dlja vuzov - М.: Mashinostroenie, 2006. - 256 s.
4. Karnaukov N.F. Jelektromehaničeskie i mehatronnye sistemy / N.F. Karnaukov // Ucheb. posobie dlja vuzov - Rostov n/D.: Feniks, 2006. - 320 s.
5. Besekerskij V.A., Popov E.P. Teorija sistem avtomatičeskogo upravlenija / V.A. Besekerskij, E.P. Popov // - SPb.: Izd-vo «Professija», - 2003. - 768 s.
6. Ivanov A.O. Teorija avtomatičeskogo keruvannja / A.O. Iva-nov // Pidručnik Dnipropetrovs'k: Nacional'nij girnichij universitet, - 2003. - 250 s.

7. Golubieva S.M., Morneva M.O. Porivnjal'na ocinka programnih paketiv komp'juternogo modeljuvannja inženernih procesiv / S.M. Golubieva, M.O. Morneva // Visnik SNU im..V. Dalja, vip. 3(233), 2017, s.44-48.

Morneva M.O., Golubieva S.M., Toropov A.S. Digital automatic control systems in mechatronic systems

The article deals with the issues of digital automatic control systems, which belong to the class of linear impulse systems, but have their own characteristics. Automatic control systems (ACS), as a rule, are equipped with built-in control micro-computers or microprocessors. The advantage of digital automatic control systems is high accuracy of operation, small dimensions of the control part, the ability to quickly change the algorithm of the ACS operation by changing the control program. The computer operates not with differences, but with the absolute values of the variables of the equation in finite differences; therefore, it is unsuitable for use in applied programs and is converted into difference equations. The presence and type of information in the intervals between the moments of measurement depends on the type of extrapolator (in a computer, this is a program that determines the law of information change between the moments of measurement of information). Extrapolators are of zero, first and higher order. The zero-order extrapolator keeps the signal constant after measurement until the next measurement. The first-order extrapolator implements the tendency of the signal to change according to the first derivative, etc. The theory of impulse, and therefore digital systems, is based on difference equations (analogue of differential equations) and z-transfer functions (analogs of transfer functions of continuous systems). Difference equations and Z-transformations of the transfer function were also found in two ways: classical and using bilinear transformations; transient and frequency characteristics were also constructed. Using the "bilieniar" procedure of the Matlab package, you can find the coefficients of the Z-transfer function for the correcting link. Using the "bilieniar" procedure of the Matlab package, the coefficients of the Z-transfer function for the correcting link are found.. By means of mathematical modeling, it was confirmed that when comparing the characteristics of continuous and discrete filters with increasing frequency, the difference in characteristics increases.

Key words: mechatronic systems, automatic control system, microprocessors, automatic devices, electromechanical converters.

Морнева М.О. – доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, morneva@gmail.com

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

Торопов А.С. – старший викладач кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, andrei4ik86@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-24-28>

УДК 62-83

MATHEMATICAL MODEL OF AN ASYNCHRONOUS MACHINE IN REAL COORDINATES OF STATE

Rudniev Y.S., Shevchenko I.S., Romanchenko J.A.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ У РЕАЛЬНИХ КООРДИНАТАХ СТАНУ

Руднєв Є.С., Шевченко І.С., Романченко Ю.А.

A mathematical description of an asynchronous machine with unreduced parameters in the space of real phase coordinates is given. When studying an asynchronous motor in a dual power supply system with controlled converters in rotor and stator circuits, there is a need for an AM model without parameters, in which the processes in the stator and rotor circuits will correspond to reality in magnitude. In addition, such a model is necessary when analyzing the energy parameters of the whole electric drive controlled by the rotor. To observe real processes in the stator and rotor, the model should be designed in separate spatial coordinate systems. In reference books for AM with a wound rotor (WR), as a rule, the real parameters (resistances, currents and voltages) of the stator and rotor and the voltage reduction coefficient (k_e) are given. Bringing currents and resistances (inductances) is carried out by coefficients $k_i = k_e$ and $k_r = k_e^2$ respectively. Let's consider the description of the machine without reduction of parameters. For the convenience of further consideration, let's introduce the general value of the mutual inductance.

We obtain an equation for the electromagnetic moment in real coordinates. Let's design a model in the MATLAB dynamic modeling environment using vector-matrix representation. Matrix algebraic operations with vector variables are implemented by Matlab Fn blocks, which are the calls to user-defined functions described in the form of M-files. The content of Matlab Fn functions is considered. On the model, the processes of starting of an AM with a phase rotor of AK-52-6 type were. Shows the graphs of start-up transients. The processes in the obtained model coincided with the results of modeling of this engine in the model with the coordinates reduced to the rotor. Thus, the energy processes described by this model correspond to the processes to the model with the given parameters, and the processes of currents and flux linkages changing of the stator and rotor are real.

The model designed in the MATLAB/Simulink dynamic modeling environment can be used to study double-powered asynchronous electric drives.

Keywords: mathematical model, asynchronous machine, starting process, stator, rotor, given parameters.

Introduction. When constructing mathematical models of asynchronous machines (AM), the generally accepted and most common is to consider the processes reduced to a stator or a rotor. In this case, the model uses the parameters reduced, respectively, to the stator or rotor. In addition, to simplify the mathematical description, the stator and rotor processes are considered in a single spatial coordinate system (including a triaxial one) [1]. This eliminates variable mutual inductances that depend on the angle of rotor position.

When studying electric drives (ED) controlled by a stator, it is advisable to use models with a fixed generalized coordinate system, and parameters reduced to the stator; when rotor control – with the coordinate system associated with rotor and parameters reduced to the rotor.

However, when studying an asynchronous motor in a dual power supply system with controlled converters in rotor and stator circuits, there is a need for an AM model without parameters, in which the processes in the stator and rotor circuits will correspond to reality in magnitude. In addition, such a model is necessary when analyzing the energy parameters of the whole electric drive controlled by the rotor. To observe real processes in the stator and rotor, the model should be designed in separate spatial coordinate systems. At present, software packages allow to design models of any complexity; therefore, the AM model in separate spatial coordinate systems is quite realizable.

The objective of this work is to design a mathematical model of AM with real processes in the rotor and stator, both by level and in frequency.

Research results. The electrical part of the AM with separate triaxial spatial coordinates, using the reduced (to stator or rotor) parameters, is described by the following equations

$$\mathbf{u}_S = R_S \mathbf{i}_S + \frac{d}{dt} \Psi_S; \quad \mathbf{u}_R = R_R \mathbf{i}_R + \frac{d}{dt} \Psi_R, \quad (1)$$

where $\mathbf{u}_S = [U_A \ U_B \ U_C]^T$; $\mathbf{u}_R = [U_X \ U_Y \ U_Z]^T$;
 $\mathbf{i}_S = [I_A \ I_B \ I_C]^T$; $\mathbf{i}_R = [I_X \ I_Y \ I_Z]^T$;
 $\Psi_S = [\Psi_A \ \Psi_B \ \Psi_C]^T$; $\Psi_R = [\Psi_X \ \Psi_Y \ \Psi_Z]^T$ –
 vectors of voltages, currents and flux linkages of the stator and rotor in oblique coordinate systems associated with the stator (A, B, C) and the rotor (x, y, z), respectively.

Flux linkages are defined as follows

$$\begin{bmatrix} \Psi_S \\ \Psi_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{L}_S & \mathbf{M}_C \\ \mathbf{M}_C^T & \mathbf{L}_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{i}_S \\ \mathbf{i}_R \end{bmatrix} = \mathbf{L} \begin{bmatrix} \mathbf{i}_S \\ \mathbf{i}_R \end{bmatrix} \quad (2)$$

where $\mathbf{L}_S = \text{diag}(L_S \ L_S \ L_S)$; $\mathbf{L}_R = \text{diag}(L_R \ L_R \ L_R)$;

$$L_S = L_m + L_{\sigma S}; \quad L_R = L_m + L_{\sigma R};$$

$$\mathbf{M}_C = M_{12} \mathbf{C}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} c1 & c2 & c3 \\ c3 & c1 & c2 \\ c2 & c3 & c1 \end{bmatrix},$$

$c1 = \cos \gamma_e$; $c2 = \cos(\gamma_e + 2\pi/3)$; $c3 = \cos(\gamma_e - 2\pi/3)$,
 where M_{12} – is the maximum value of the mutual inductance between the stator and rotor windings,
 $M_{12} = \frac{2}{3} L_m$;

L_m – inductance of magnetizing;

γ_e – electric angle of rotation of the motor shaft

$$\gamma_e = \int \omega_e dt = Z_p \int \omega dt.$$

The electromagnetic moment developed by the asynchronous motor is determined from the stator and rotor currents

$$M_e = -Z_p \mathbf{i}_S^T \mathbf{M}_S \mathbf{i}_R, \quad (3)$$

where $\mathbf{M}_S = M_{12} \mathbf{S}$, $\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s1 & s2 & s3 \\ s3 & s1 & s2 \\ s2 & s3 & s1 \end{bmatrix}$,

$$s1 = \sin \gamma_e; \quad s2 = \sin(\gamma_e + 2\pi/3); \quad s3 = \sin(\gamma_e - 2\pi/3).$$

In reference books for AM with a wound rotor (WR), as a rule, the real parameters (resistances, currents and voltages) of the stator and rotor and the voltage reduction coefficient (k_e) are given. Bringing currents and resistances (inductances) is carried out by coefficients $k_i = k_e$ and $k_r = k_e^2$ respectively.

Let's consider the description of the machine without reduction of parameters. Further, the upper symbols will indicate the reduction: s – to the stator, r – to the rotor.

The system of equations (1) will have the same form

$$\mathbf{u}_S^s = R_S^s \mathbf{i}_S^s + \frac{d}{dt} \Psi_S^s; \quad \mathbf{u}_R^r = R_R^r \mathbf{i}_R^r + \frac{d}{dt} \Psi_R^r. \quad (4)$$

Knowing that inductances are given in the same way as resistances, we can write

$$M_{12}^s = M_{12}^r \cdot k_r.$$

For the convenience of further consideration, let's introduce the general value of the mutual inductance

$$M_{12}^0 = \frac{M_{12}^s}{k_i} = \frac{M_{12}^r}{\sqrt{k_r}} = M_{12}^r \sqrt{k_r} = M_{12}^r k_i.$$

Let's change the components of equations (2) into real coordinates of the state

$$\begin{aligned} \Psi_S^s &= \mathbf{L}_S^s \mathbf{i}_S^s + \mathbf{M}_C^s \mathbf{i}_R^r = \mathbf{L}_S^s \mathbf{i}_S^s + \mathbf{M}_C^s \frac{\mathbf{i}_R^r}{k_i} = \\ &= \mathbf{L}_S^s \mathbf{i}_S^s + \frac{\mathbf{M}_C^s}{k_i} \mathbf{i}_R^r = \mathbf{L}_S^s \mathbf{i}_S^s + \mathbf{M}_C^s \mathbf{i}_R^r, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Psi_R^r &= \mathbf{L}_R^r \mathbf{i}_R^r + \mathbf{M}_C^{rT} \mathbf{i}_S^s = \mathbf{L}_R^r \mathbf{i}_R^r + \mathbf{M}_C^r k_i \mathbf{i}_S^s = \\ &= \mathbf{L}_R^r \mathbf{i}_R^r + \mathbf{M}_C^{rT} k_i \mathbf{i}_S^s = \mathbf{L}_R^r \mathbf{i}_R^r + \mathbf{M}_C^{0rT} \mathbf{i}_S^s \end{aligned}$$

where $\mathbf{M}_C^0 = M_{12}^0 \mathbf{C}$.

Arguing in a similar way, we obtain an equation for the electromagnetic moment in real coordinates:

$$M_e = -Z_p \mathbf{i}_S^{sT} \mathbf{M}_S^0 \mathbf{i}_R^r, \quad (6)$$

where $\mathbf{M}_S^0 = M_{12}^0 \mathbf{S}$.

The rotor speed is defined as the solution to motion equation

$$M_e - M_c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (7)$$

Equations (4-7) represent a mathematical model of AM with real parameters.

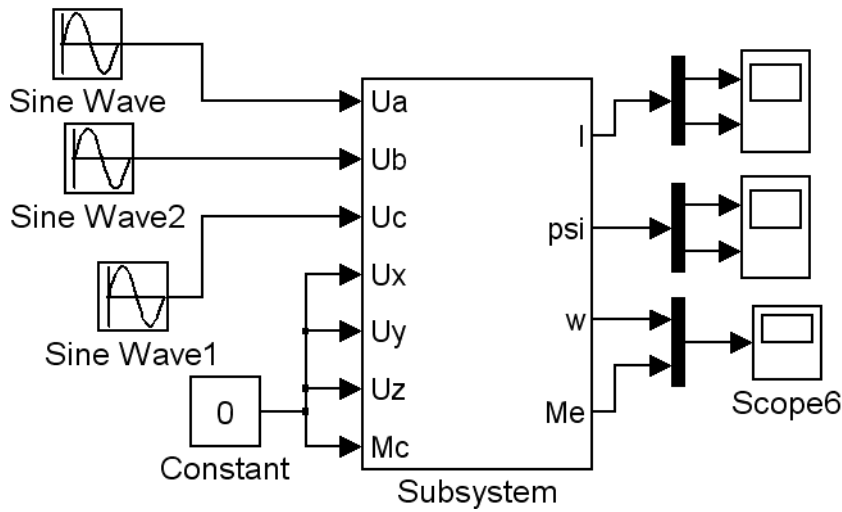
Let's design a model in the MATLAB dynamic modeling environment using vector-matrix representation [2,3]. Matrix algebraic operations with vector variables are implemented by Matlab Fn blocks, which are the calls to user-defined functions described in the form of M-files. The model in phase coordinates « $I_S^s - I_R^r$ » is shown in Figure 1.

Here functions of Matlab Fn have the following content:

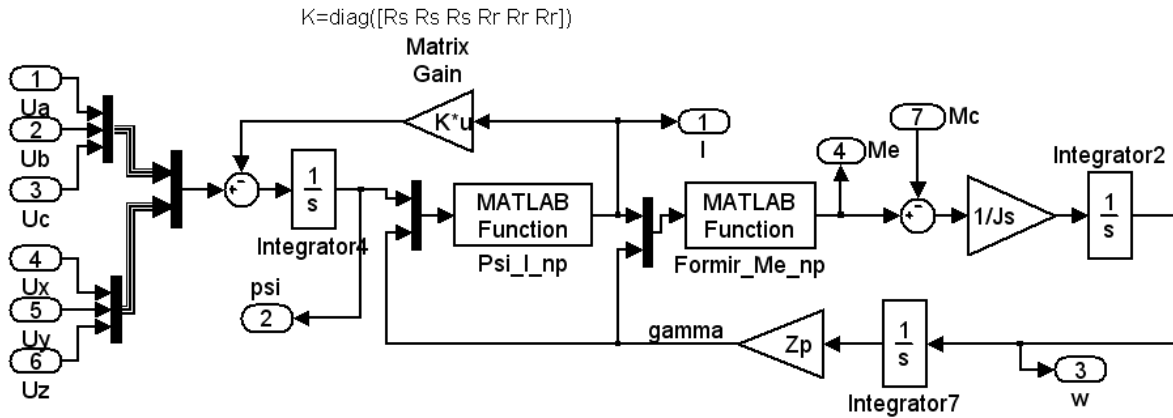
1) Matlab Fn (Psi_I_np) forms from flux linkage vector $[\Psi_S \ \Psi_R]^T$ and the angular position of the rotor, according to the equation

$$\begin{bmatrix} \mathbf{i}_S \\ \mathbf{i}_R \end{bmatrix} = \mathbf{L}^{-1} \begin{bmatrix} \Psi_S \\ \Psi_R \end{bmatrix};$$

2) Matlab Fn (Formir_Me_np) forms the electromagnetic moment (6) from the vector of currents and the position of the rotor shaft.



a



b

Fig. 1. AM model in the MATLAB dynamic modeling environment: a – conection of the block-subsystem of the AM model; b – the structure of the subsystem

Table

Matlab Fn function content

Matlab Fn (Psi_I_np)	Matlab Fn (Formir_Me_np)
<pre>function Io=Psi_I(u) global Ls Lr M12_0 Psio=u(1:6); Gamma=u(7); c1=M12_0*cos(Gamma); c2=M12_0*cos(Gamma+2*pi/3); c3=M12_0*cos(Gamma+4*pi/3); Lo=[Ls 0 0 c1 c2 c3; 0 Ls 0 c3 c1 c2; 0 0 Ls c2 c3 c1; c1 c3 c2 Lr 0 0; c2 c1 c3 0 Lr 0; c3 c2 c1 0 0 Lr]; Psio=Psio(:); Io=inv(Lo)*Psio; Io=[Io];</pre>	<pre>function Mem=Formir_Me(u) global Zp M12_0 Is=u(1:3); Ir=u(4:6); Gamma=u(7); m1=M12_0*sin(Gamma); m2=M12_0*sin(Gamma+2*pi/3); m3=M12_0*sin(Gamma+4*pi/3); MM=[m1 m2 m3; m3 m1 m2; m2 m3 m1]; Mem=-Zp*Is*MM*Ir;</pre>

On the model, the processes of starting of an AM with a phase rotor of AK-52-6 type with the following parameters were investigated

$$U_{1H} = 380 \text{ V}; \quad E_{2H} = 85 \text{ V}; \quad I_{1H} = 8 \text{ A}; \quad I_{2H} = 21,2 \text{ A};$$

$$k_r = k_e^2 = 18;$$

$$J = 0,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2; \quad n_H = 910 \text{ rpm}; \quad R_s^s = 1,23 \text{ } \Omega;$$

$$R_r^r = 0,15 \text{ } \Omega;$$

$$x_m^r = 5,5 \text{ } \Omega; \quad x_1^r = 0,3 \text{ } \Omega; \quad x_2^r = 0,18 \text{ } \Omega.$$

As a result of the calculation:

$$L_s^s = 0,332 \text{ H}; \quad L_r^r = 0,0181 \text{ H}; \quad M_{12}^0 = 0,0495 \text{ H}.$$

Figure 2 shows the graphs of start-up transients. The processes $M_e(t)$ and $\omega(t)$ in the obtained model coincided with the results of modeling of this engine in the model with the coordinates reduced to the rotor [4, 5].

Thus, the energy processes described by this model correspond to the processes to the model with the given

parameters, and the processes of currents and flux link- ages changing of the stator and rotor are real.

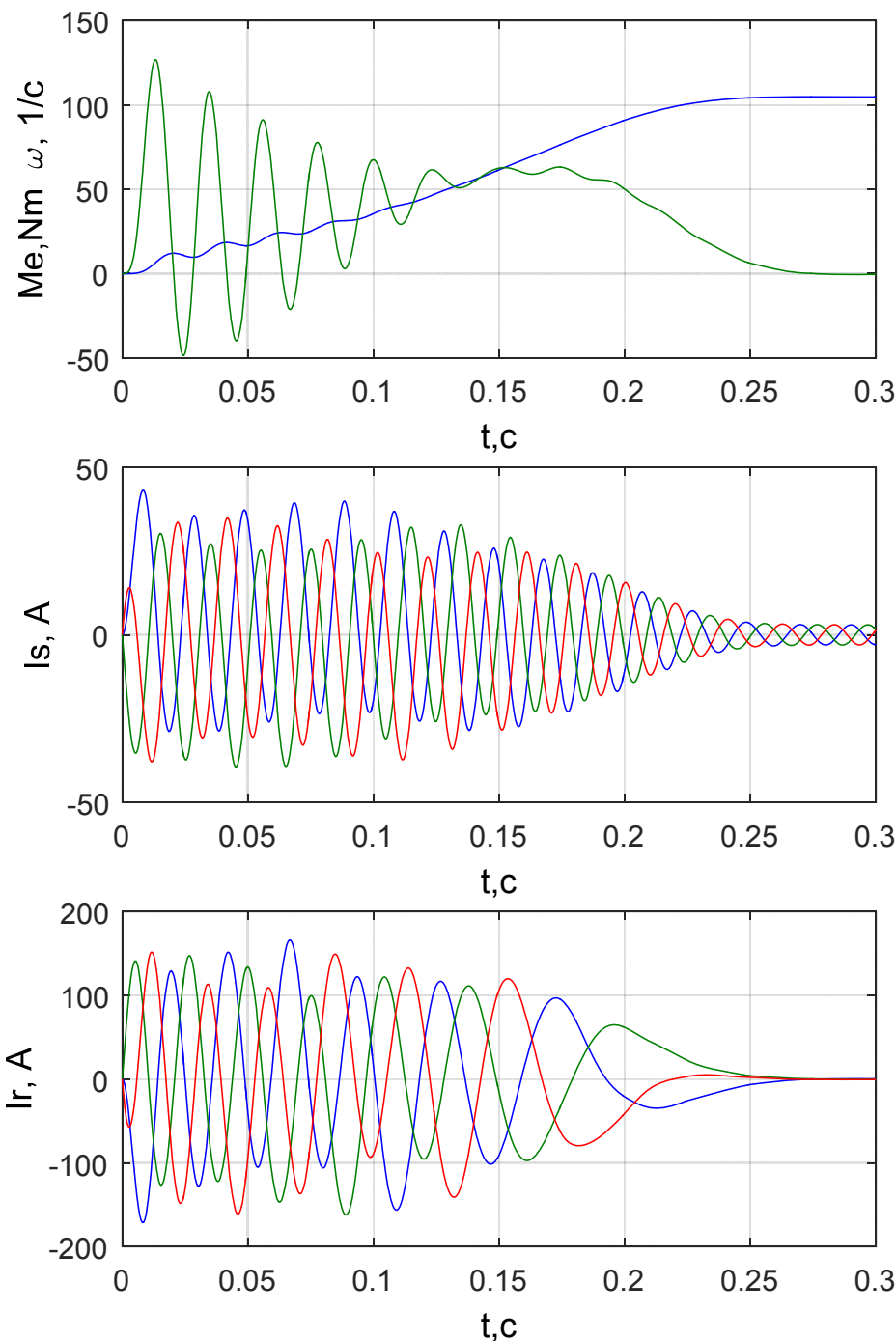


Fig. 2. Transient processes during starting the AK-52-6 machine

Conclusions. A mathematical description of an asynchronous machine in the space of real phase coordinates with unreduced parameters is obtained.

To take into account the mutual magnetic influence of the stator and the rotor, the concept of general mutual inductance is proposed.

Modeling has confirmed the correctness of the accepted approach.

The resulting model can be used in the study of asynchronous electric drives designed by system of a dual power supply.

References

1. Sandler A.S., Tarasenko L.M. *Dinamika kaskadnyh asinhronnyh jelektroprivodov.* – M.: Jenergija, 1977. – 200 s.
2. Tolochko O.I., Chekavs'kyj G.S., Miroshnyk D.M. *Vektorni modeli asynhronnogo dvyguna u seredovyshhi paketa MATLAB // Vestnik HGPU: Jelektrotehnika jelektронika i jelektroprivod – Problemy AJeP: Teorija i*

- praktika / gl. red. V.B. Klepikov. – Har'kov, HGTV. – 2000. – S.34-38.
3. Morozov D.I., Karpuk I.A., Golubeva S.M. Osobnosti cifrovogo modelirovanija asinhronnoj mashiny s peremennymi parametrami v mnogomassovoj jelectromehaničeskoj sisteme // Vestnik NTU «HPI» – Problemy avtomatizirovannogo jelectroprivoda. – Har'kov: NTU «HPI», 2005. – №45. – S. 164-167.
 4. Karpuk I.A., Morozov D.I., Shevchenko I.S., Samcheljejev Ju.P. Vybir pidhodiv dlja cyfrovogo modeljuvanija asynhronnoi' mashyny z ventyl'nymy peretvorjuvachamy v rotornomu koli // Elektrotehnika ta elektroenergetyka. – 2003. – №2. – S. 60-67.
 5. Morozov D. I., Andreeva N. I., Umanskaja L. I. Model' neprivedennoj asinhronnoj mashiny v prostranstve real'nyh fazovyh koordinat // Sbornik nauchnyh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Vypusk 27. – Alchevsk, DonGTU. – 2008. – S.427-433.

Руднев Є.С., Шевченко І.С., Романченко Ю.А.
Математична модель асинхронної машини у реальних координатах стану

Наведено математичний опис асинхронної машини з неприведеними параметрами в просторі реальних фазових координат. У довідниках для АМ з фазним ротором (ФР), як правило, наводяться реальні параметри (опору, струми і напруги) статора і ротора і коефіцієнт приведення напруг. Приведення струмів і опорів (індуктивностей) здійснюється коефіцієнтами $k_i = k_e$ та $k_r = k_e^2$ відповідно. У даній статті розглянуто опис машини без приведення цих параметрів. Для зручності подальшого розгляду введено загальне значення взаємної індуктивності.

Отримано вираз для електромагнітного моменту в реальних координатах. Побудована модель в середовищі динамічного моделювання MATLAB, використовуючи векторно-матричне представлення. Матричні алгебри з векторними змінними реалізуються блоками Matlab Fn, що представляють собою звернення до призначених для користувача функцій, описаних у вигляді М-файлів. Розглянуто зміст функцій Matlab Fn. На моделі досліджувалися процеси пуску АМ з фазним ротором типу АК-52-6. Наведено графіки перехідних процесів пуску. Процеси в отриманій моделі співпали з результатами моделювання цього двигуна в моделі з координатами, наведеними до ротора. Енергетичні процеси, описувані цією моделлю, відповідають процесам в моделі з наведеними параметрами, а процеси зміни струмів і поточкозчеплення статора і ротора є реальними.

Побудована в середовищі динамічного моделювання MATLAB / Simulink модель може використовуватися при дослідженні асинхронних електроприводів подвійного живлення.

Ключові слова: математична модель, асинхронна машина, процес пуску, статор, ротор, наведені параметри.

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

Шевченко І.С. – к.т.н., професор кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, shevchenko_is@snu.edu.ua

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

Стаття подана 05.08.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-29-33>

УДК 621.316

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМ ІЗ ОГЛЯДУ НА НАЯВНІСТЬ В ЇХНЬОМУ СКЛАДІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Філімоненко Н. М., Філімоненко К. В.

POWER SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS REGARDING OF POWER TRANSFORMERS BEING PART OF IT

Filimonenko N. M., Filimonenko K. V.

Стаття присвячена результатам дослідження щодо роботи силових трансформаторів, які входять до складу ОЕС України. Визначено причини та характер ушкоджень елементів системи, розглянуто питання надійності електропостачання енергосистеми в цілому і, зокрема, від якості роботи трансформаторів. Пошкодження трансформаторів безпосередньо впливає на надійність енергосистеми в цілому, тому необхідно приділяти особливу увагу моніторингу їхнього стану та своєчасного підтримання працездатності. Підвищення надійності роботи трансформаторів є ефективним заходом запобігання аварійних наслідків в системі ОЕС України.

Ключеві слова: система ОЕС України, енергосистема, силовий трансформатор, частота відмов окремого підстанційного обладнання.

Вступ. У процесі експлуатації електричної системи можливі різні види порушень нормального режиму – спади напруги, перевантаження, короткі замикання (КЗ), що можуть призвести до пошкодження і, навіть, руйнування електричної апаратури та струмопроводів. Безпосередніми чинниками виникнення аварій можуть бути пошкодження ізоляції або помилкові дії персоналу в разі оперативних перемикачів (наприклад, вимикання роз'єднувачем значних струмів навантаження, вмикання лінії під напругу, залишене після ремонту заземлення тощо).

Для зменшення збитків, які спричинені КЗ, елемент, що є пошкодженим, слід вимкнути якомога швидше – задля цього захист електроустановок від аварій або порушень нормального режиму здійснює спеціальний автоматичний пристрій – релейний захист. Релейний захист (РЗ) – частина електричної автоматики, що призначена для виявлення й автоматичного вимкнення електроустановки, яке є пошкодженням.

Постановка проблеми. Важливою особливістю систем електропостачання є неможливість створен-

ня запасів основного використовуваного продукту – електроенергії. Вся отримувана електроенергія негайно споживається. При виникненні непередбачуваної аварійної ситуації виникає дефіцит постачання електроенергії і, як наслідок, зупинка виробництв, відключення лікарень й інших важливих об'єктів інфраструктури.

Системі електропостачання є притаманною наявність глибоких внутрішніх зв'язків, які не дозволяють розщеплювати системний, комплексний підхід, що враховує взаємний вплив факторів і урахування їхньої динамічності. Під впливом різноманітних збурень відбувається безперервна зміна стану системи.

Забезпечення надійності електропостачання електроенергетичних систем (ЕЕС), мереж промислових підприємств, інфраструктури міст і селищ займає центральне місце як при експлуатації, так і при плануванні проектних рішень.

Слід зауважити важливість передбачуваності і безаварійності роботи такої важливої складової електроенергетичної системи як силові трансформатори. Безпосередніми чинниками виникнення аварій можуть бути різного виду пошкодження або помилкові дії персоналу, наприклад, в разі оперативних перемикачів. Однією з можливостей вирішення проблеми є аналіз можливих відмов в роботі, а також частота цих відмов, для забезпечення безперебійної та безпечної роботи ОЕС України.

Метою роботи є аналіз причин та статистики пошкоджуваності силових трансформаторів, що входять в систему ОЕС України, що дозволить виявити динаміку аварійності системи і її чинники. Забезпечення ефективного прийняття рішень щодо стратегії ефективної та безаварійної експлуатації енергосистеми.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Зазвичай в електричній частині енергосистеми

терміни «пошкодження» і «коротке замикання» є синонімами, хоча, це не завжди так. КЗ завжди є пошкодженням, а пошкодження не завжди є коротким замиканням. Наприклад, обрив фази – це пошкодження, але не КЗ. Як виключення, до пристроїв РЗ відносяться деякі пристрої, що призначені не для виявлення та вимикання пошкодженого електроустаткування, а для виявлення ненормальних режимів роботи електроустаткування (наприклад, захист від перевантаження трансформатора). Крім того, у деяких випадках, які не вимагають швидкого автоматичного відключення пошкодженого устаткування, пристрої РЗ можуть діяти не на вимикання, а на сигнал (наприклад, захист від замикань на землю в мережах із ізольованою нейтраллю).

Пристрої релейного захисту та противарійної автоматики можуть бути віднесені до пристроїв зі статичною готовністю до дії (на відміну від пристроїв безперервної дії).

Релейний захист і противарійна автоматика виконують свої функції на вимогу, якою є коротке замикання або інші порушення нормального режиму роботи об'єкта. Тому необхідно розрізнити відмову пристроїв захисту та автоматики як подію втрати працездатності та відмови функціонування, як подію невиконання заданої функції при виникненні відповідної вимоги. В загальному випадку відмова пристрою відбувається не одночасно із виникненням вимоги до функціонування та, отже, відмова функціонування може бути відвернена, якщо в інтервалі між моментом виникнення відмови й моментом виникнення вимоги буде проведена профілактична перевірка. Тому потік відмов функціонування залежить не тільки від потоку відмов пристрою, але й від організації технічного обслуговування, а, отже, і від якості проведення моніторингу. Таким чином, оскільки відмова пристрою може перетворитися у відмову функціонування лише при виникненні вимоги до функціонування, потік відмов функціонування залежить від потоку вимог до функціонування [1].

Підвищення надійності системи РЗА є ефективним заходом запобігання аварійних наслідків, які викликані відмовами в її функціонуванні. Більшість фірм виробників устаткування РЗА припиняють випуск електромеханічних реле і пристроїв і переходять на цифрову елементну базу. Перехід на нову елементну базу не приводить до зміни принципів релейного захисту і електроавтоматики, а тільки розширює їх функціональні можливості, спрощує експлуатацію та знижує її вартість [2].

Швидке зростання частки обладнання, що відпрацювало нормативний термін служби, зумовлює необхідність продовження його працездатності, підвищення економічності та підтримки надійності роботи енергосистеми в цілому. У багатьох промислово розвинених країнах, зокрема і в Україні, частка такого обладнання на сьогодні перевищує половину його складу.

Отже, 17,3% обладнання підстанцій і 56% ліній електропередач експлуатуються понад 40 років. Такий стан значно впливає на збільшення втрат електричної енергії в системі передачі та обмежує можливість запобігання технологічним порушенням – пошкодженням електротехнічного обладнання або порушенням його працездатності, що призводить до порушення нормальної та надійної роботи електроустановок об'єктів електроенергетики і об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України в цілому. Витрати електроенергії в основній мережі 220 - 750 кВ ОЕС України у 2017 р. дорівнюють 2,45% від надходження електроенергії в мережу без внутрішнього обігу, що значно перевищує аналогічні показники в системах передачі європейських країн. Терміни експлуатації основного обладнання показано в табл. 1 [3].

За відомостями [4,5] в енергосистемах України знаходяться в експлуатації 131 трансформаторних підстанцій класу напруги 220кВ і вище. Кожній із підстанцій притаманні свої умови роботи, що обумовлені кліматичними умовами, ступенем забрудненості навколишнього середовища, засобами й якістю контролю обладнання, своєчасністю виконання профілактичних робіт тощо.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що вкрай необхідно підвищувати надійність роботи силових трансформаторів як важливої складової електроенергетичної системи та забезпечувати безперебійну й безаварійну роботу ОЕС.

Результати дослідження.

Швидке зростання частки обладнання, що відпрацювало нормативний термін служби, зумовлює необхідність продовження його працездатності, підвищення економічності та підтримки надійності роботи енергосистеми в цілому. У багатьох промислово розвинених країнах, зокрема і в Україні, частка такого обладнання на сьогодні перевищує половину його складу.

Отже, 17,3% обладнання підстанцій і 56% ліній електропередач експлуатуються понад 40 років. Такий стан значно впливає на збільшення втрат електричної енергії в системі передачі та обмежує можливість запобігання технологічним порушенням – пошкодженням електротехнічного обладнання або порушенням його працездатності, що призводить до порушення нормальної та надійної роботи електроустановок об'єктів електроенергетики і об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України в цілому. Витрати електроенергії в основній мережі 220 - 750 кВ ОЕС України у 2017 р. дорівнюють 2,45% від надходження електроенергії в мережу без внутрішнього обігу, що значно перевищує аналогічні показники в системах передачі європейських країн. Терміни експлуатації основного обладнання показано в табл. 1 [3].

За відомостями [4,5] в енергосистемах України знаходяться в експлуатації 131 трансформаторних підстанцій класу напруги 220кВ і вище. Кожній із підстанцій притаманні свої умови роботи, що обумовлені кліматичними умовами, ступенем забрудненості навколишнього середовища, засобами й якістю контролю обладнання, своєчасністю виконання профілактичних робіт тощо.

мовлені кліматичними умовами, ступенем забрудненості навколишнього середовища, засобами й якістю контролю обладнання, своєчасністю виконання профілактичних робіт тощо.

Із урахуванням великої кількості обладнання й апаратів високої напруги різного призначення, що становить систему мережі підстанції, при оцінці надійності роботи підстанції в якості показника приймається питома частота відмов однієї підстанції:

$$F = \frac{n}{N \cdot t} \tag{1}$$

де n – число відмов оцінюваної підстанції;
 N – число обстежуваних підстанцій;
 t – період контролю, років.

Аналогічним чином визначається питома частота відмов окремого підстанційного обладнання, тільки при цьому у виразі (1) приймається: $n = n_{об}$, де $n_{об}$ – число відмов обладнання, яке нас цікавить, на конкретній підстанції.

Дані про кількість одиниць обладнання, що використовується, та термін його роботи зведені в таблицю.

Таблиця

Зведені дані по обладнанню, що використовується

Назва обладнання	Сумарна потужність, МВА	Кількість одиниць	Зокрема в експлуатації (років), одиниць			
			до 25	25 -30	30 -40	40 і більше
1. Автотрансформатори (220–750кВ) загалом, у тому числі:	74178	342	55	8	139	65
220 кВ	11508	67	3	12	28	24
330 кВ	44030	214	38	56	94	26
400 кВ	399	3	0	0	0	3
500 кВ	1753	10	3	3	4	0
750 кВ	16488	48	11	12	13	12
2. Трансформаторисилові (35–220кВ загалом, у тому числі:	4569,5	102	22	13	25	42
35 кВ	276,5	24	1	2	7	14
110 кВ	1604,5	39	14	6	6	13
154 кВ	710	13	4	3	2	4
220 кВ	1978,5	26	3	2	10	11

Зведені дані за питоною частотою відмов за певний період показують, що величина F на різних підстанціях коливається в діапазоні від нуля до одиниці відмов у рік. При цьому було виявлено, що частота відмов на підстанціях з великим класом напруги помітно вище, ніж на підстанціях нижчої напруги. Як приклад, на рисунку наведено розподіл

питомої частоти відмов по кожному обладнанню підстанцій 330кВ. Ці дані є результатом аналізу 58 розглянутих підстанцій цього класу напруги, тому репрезентуються за найбільш об'єктивні.

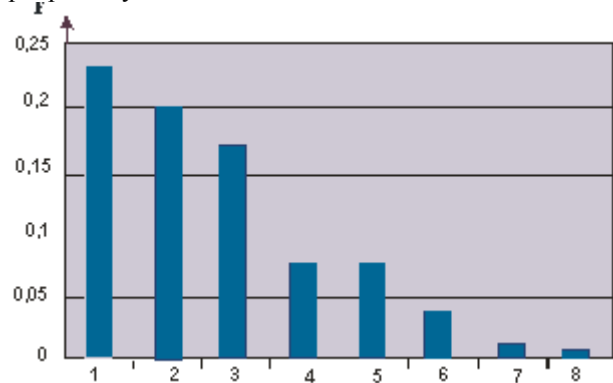


Рис. Розподіл питомиї частоти відмов по кожному обладнанню підстанцій 330кВ:

- 1 – вимикачі повітряні, 2 – силові трансформатори,
- 3 – роз'єднувачі, 4 – вимикачі оливні, 5 – трансформатори струму, 6 – збірні шини, 7 – трансформатори напруги, 8 – розрядники

Як видно з цього рисунку, найчастіше виходять з нормального режиму роботи вимикачі, силові трансформатори та роз'єднувачі. Така тенденція спостерігається і для обладнання на підстанціях 750кВ і 220кВ.

Для силових трансформаторів на 750 кВ найчастіше відбувається порушення внутрішньої ізоляції – до 43%; на другому місці за значимістю – до 19%, зареєстровано перекриття зовнішньої ізоляції; на третьому місці – потрапляння птахів і сторонніх предметів – до 14%; близько 10% відмов трансформаторів викликані пошкодженням високовольтних вводів і опорних ізоляторів. У той же час, для трансформаторів класу 330кВ на перше місце по вагомості причин відмов виходить пошкодження високовольтних вводів – до 44%; на внутрішні КЗ відносять відмови – до 20%, на перекриття і руйнування опорних ізоляторів – до 5%.

Вагомі складові причин відмов роз'єднувачів для різних класів також значно відрізняються між собою.

В цілому, якщо ранжувати причини аварій на підстанціях за рівнем пошкоджуваності елементів, то можна скласти наступну послідовність:

- 1 – внутрішня ізоляція трансформаторів;
- 2 – високовольтні вводи;
- 3 – приводи комутаційних апаратів;
- 4 – опорні ізолятори;
- 5 – дугогасильні камери;
- 6 – гумові ущільнення високовольтних вимикачів;
- 7 – порожністі дроти.

Спираючись на виявлені порушення нормального режиму експлуатації обладнання, слід зауважити, що зростає роль наявності високоякісного релейного захисту в системі. Релейний захист і протиаварійна автоматика виконують свої функції на

вимогу, якою є КЗ або інші порушення нормально-го режиму роботи об'єкта. Тому необхідно розрізняти відмову пристроїв захисту та автоматики як подію втрати працездатності та відмови функціонування, як подію невиконання заданої функції при виникненні відповідної вимоги. В загальному випадку відмова пристрою відбувається не одночасно із виникненням вимоги до функціонування та, отже, відмова функціонування може бути відвернена, якщо в інтервалі між моментом виникнення відмови й моментом виникнення вимоги буде проведена профілактична перевірка. Тому потік відмов функціонування залежить не тільки від потоку відмов пристрою, але й від організації технічного обслуговування, а, отже, і від якості проведення перевірки. Таким чином, оскільки відмова пристрою може перетворитися у відмову функціонування лише при виникненні вимоги до функціонування, потік відмов функціонування залежить від потоку вимог до функціонування [1].

Зазвичай в електричній частині енергосистеми терміни «пошкодження» і «коротке замикання» є синонімами, хоча, це не завжди так. КЗ завжди є пошкодженням, а пошкодження не завжди є коротким замиканням. Наприклад, обрив фази – це пошкодження, але не КЗ. Як виключення, до пристроїв РЗ відносяться деякі пристрої, що призначені не для виявлення та вимикання пошкодженого електроустаткування, а для виявлення ненормальних режимів роботи електроустаткування (наприклад, захист від перевантаження трансформатора). Крім того, у деяких випадках, які не вимагають швидкого автоматичного відключення пошкодженого устаткування, пристрої РЗ можуть діяти не на вимикання, а на сигнал (наприклад, захист від замикань на землю в мережах із ізольованою нейтраллю).

Підвищення надійності системи РЗА є ефективним заходом запобігання аварійних наслідків, які викликані відмовами в її функціонуванні. Більшість фірм виробників устаткування РЗА припиняють випуск електромеханічних реле і пристроїв і переходять на цифрову елементну базу. Перехід на нову елементну базу не приводить до зміни принципів релейного захисту і електроавтоматики, а тільки розширює їх функціональні можливості, спрощує експлуатацію та знижує її вартість [2].

Висновки. Виконано аналіз роботи силових трансформаторів, що входять до складу енергосистеми. Визначено причини та характер ушкоджень елементів системи, розглянуто питання надійності електропостачання енергосистеми в цілому і, зокрема, від якості роботи трансформаторів.

Узагальнюючи, можна зауважити, що пошкоджуваність трансформаторів безпосередньо впливає на надійність енергосистеми в цілому, тому необхідно приділяти особливу увагу щодо підтримання їхньої працездатності.

Аналіз статистики пошкоджуваності силових трансформаторів дозволяє стверджувати про динаміку підвищення аварійності внаслідок суттєвого

ступеня зношеності та закінчення ресурсу їх функціонування. Є необхідність у вдосконаленні моніторингу і діагностики їхнього стану задля забезпечення ефективного прийняття рішень щодо стратегії їх експлуатації або заміни.

Підвищення надійності роботи трансформаторів є ефективним заходом запобігання аварійних наслідків в системі ОЕС України. Таке підвищення багато в чому забезпечується покращенням роботи РЗА.

Література

1. ГКД 34.35.604-96 Технічне обслуговування пристроїв релейного захисту, протиаварійної автоматики, електроавтоматики, дистанційного керування та сигналізації електричних станцій і підстанцій 110 кВ - 750 кВ. Правила [Текст]. – Київ: 1996р. – 116 с.
2. Бун'ко В. Я. Аналіз методів та засобів підвищення надійності елементів релейного захисту. Технологический аудит и резервы производства — № 3/1(23), 2015 С.26-30.
3. СОУ НЕК стандарт підприємства 20.261:2018 Технічна політика ДП "НЕК"УКРЕНЕРГО" у сфері розвитку та експлуатації магістральних та міждержавних електричних мереж. [Текст]. – Київ: 2018. – 119 с.
4. Дар К.Е. Статистические данные по аварийности энергетического оборудования распределительных устройств 220 кв и выше / К.Е. Дар, В.Н. Таран // Вісники НТУ ХП. – 2010.– Вісник № 45.– С. 111-115.
5. Плешков П. Г. Організація системи моніторингу силових трансформаторів / П. Г. Плешков, В. Ф. Мануйлов, І. В. Савеленко // Наукові записки : зб. наук. пр. - Кіровоград : КНТУ, 2010. - Вип. 10, ч. 2. - С. 250-255.
6. Wallnerström C., Hilber P., Stenberg S. Asset management framework applied to power distribution for cost-effective resource allocation. International Transactions on Electrical Energy Systems, 2014. Vol. 24(12). P. 1791–1804.
7. Бардик Є. І. Імовірно-статистичне моделювання ЕЕС для оцінки ризику відмови силового трансформатора при короткому замиканні в електричній мережі / Є. І. Бардик, М. В. Костерев, М. П. Болотний // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Вінниця. – 2016.– С.105–109.

References

1. HKD 34.35.604-96 Tekhnichne obsluhovuvannya prystroyiv releynoho zakhystu, protyavariynoyi avtomatyky, elektroavtomatyky, dystantsiynoho keruvannya ta syhnalizatsiyi elektrychnykh stantsiy i pidstantsiy 110 kV - 750 kV. Pravyla [Tekst]. – Kyiv: 1996r. – 116 s.
2. Bun'ko V. YA. Analiz metodiv ta zasobiv pidvyshchennya nadiynosti elementiv releynoho zakhystu. Tekhnolohycheskyu audyt y rezervy proyzvodstva — № 3/1(23), 2015 S.26-30.
3. SOU NEK standart pidpryyemstva 20.261:2018 Tekhnichna polityka DP "NEK"UKRENERHO" u sferi rozvytku ta ekspluatatsiyi mahistral'nykh ta mizhderzhavnykh elektrychnykh merezh. [Tekst]. – Kyiv: 2018. – 119 s.

4. Dar K.Ye. Statisticheskiye dannyye po avariynosti energeticheskogo oborudovaniya raspredelitel'nykh ustroystv 220 kv i vyshe / K.Ye. Dar, V.N. Taran // Visniki NTU KHPÍ. – 2010. – Visnik № 45. – S. 111-115.
5. Plyeshkov P. H. Orhanizatsiya systemy monitorynhu sylovykh transformatoriv / P. H. Plyeshkov, V. F. Manuylov, I. V. Savelenko // Naukovi zapysky : zb. nauk. pr. - Kirovohrad : KNTU, 2010. – Vyp. 10, ch. 2. – S. 250-255.
6. Wallnerström C., Hilber P., Stenberg S. Asset management framework applied to power distribution for cost-effective resource allocation. International Transactions on Electrical Energy Systems, 2014. Vol. 24(12). P. 1791–1804.
7. Bardyk YE. I. Imovirnisno-statystychno modelyuvannya EES dlya otsinky ryzyku vidmovy sylovoho transformatora pry korotkomu zamykanni v elektrychniy merezhi / YE. I. Bardyk, M. V. Kosteryev, M. P. Bolotnyy // Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. Vinnytsya. – 2016. – S.105–109.

Filimonenko N. M., Filimonenko K. V. Power system reliability analysis regarding of power transformers being part of it

The article is dedicated to the results of a study on the operation of Power Transformers, which are part of the UES of Ukraine. The causes and nature of damage of system elements are considered, the issues of reliability of power supply of the power system in general, in particular from the quality of Power Transformers are considered. Damage of transformers that are in the composition of the Power Electrical System effect on the reliability of the Power System as a whole, so it is necessary to pay special attention to monitoring their condition and urgent replacement.

Improving the reliability of Relay Protection Systems is an effective measure to prevent emergency systems that have caused its failure. Most of Relay Protection and Automatic Equipment manufacturers stop producing electromechanical relays and devices and change-over to digital element base.

The change-over to a new element base does not change the principles of relay protection and electrical automation, but only expands its functionality, in order to operate and use its value.

Take into account the large number of equipment and High-Voltage Devices for various purposes, which are at the System of the Substation Power Network, when assessing the reliability of the substation as an indicator is taken as the specific failure rate of one substation. Is proven that Switches, Power Transformers and Disconnectors most often go out of normal operation. This trend is also observed for equipment at 750 kV and 220 kV substations. 131 Transformer Substations of voltage class 220,0 kV and higher are in operation in the Power Systems of Ukraine. Each of the them is characterized by working conditions, characterized by climatic conditions, the degree of pollution of the equipment environment, means and control, the timeliness of preventive maintenance and more.

The condition of Transformers provides efficiency for the reliability of the Power System as a whole, so it is necessary to pay special attention to maintaining their operation. Improving the reliability of the Transformers is an effective measure to prevent accidents in the UES of Ukraine.

Key words: reliability of power system, power system, high-voltage devices, power transformers, reliability of relay protection systems.

Філімоненко Ніна Миколаївна – к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, kostiantyn.kun@gmail.com

Філімоненко Костянтин Вадимович – к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, kostiantyn.kun@gmail.com

Стаття подана 19.08.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-34-37>

УДК 681.5.08

ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ З ІНОВАЦІЙНОЮ ЖИТТЄЗБЕРІГАЮЧОЮ АВТОМАТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ

Лорія М. Г., Целіщев О. Б., Міллер В. В.

ELECTRIC CAR WITH INNOVATIVE LIFE-SAVING AUTOMATIC SYSTEM.

Loriii M.G., Tselishchev O.B., Miller V.V.

В статті було запропоновано конструкцію електромобілю з покращеними характеристиками, удосконалено технологію виробництва та створено макет за допомогою якого можливо дослідити його роботу у реальних умовах для створення сучасного вітчизняного виробництва електромобілів. Проаналізовано технологію виробництва автомобілів с традиційним несучим кузовом, що дозволило виявити вагомні недоліки. Запропоновано замість традиційного несучого кузова зробити алюмінієву раму, за технологією frame-sprase, на якій будуть встановлені елементи кузова та інші компоненти. Елементи кузова пропонується виготовляти з полімерного матеріалу, який не вимагає лакування і не піддається корозії, за технологією вакуумної витяжки, це дозволяє суттєво, майже вдвічі, скоротити витрати на організацію виробництва та витрати на технічне обслуговування обладнання, що істотно впливає на кінцеву вартість електромобілю. Це дозволяє зменшити вагу автомобіля до 1100 кг. Виготовлення елементів кузова з полімерних матеріалів відкриває можливості рециклінгу матеріалів, що використовуються при виробництві. Запропоновано встановити сонячні батареї на кришу та капот електромобілю, які будуть підзаряджати основну батарею і забезпечувати додаткових 0-30 км в день, що в міських умовах істотно впливатиме на витрату батареї і збільшує її пробіг. Запропоновано забезпечити електромобіль додатковою батареєю, що стало можливим завдяки рамній конструкції. Це дозволить збільшити пробіг на одній зарядці до 500 км. Запропоновано унікальна система безпеки як для самого автомобіля так і для пішоходів, велосипедистів тощо. Ця технологія запатентована і вперше буде використана в автомобільному транспорті. Життєзберігаюча бамперна система електромобілю виконана з можливістю утримання удару при виникненні дорожньо-транспортної події щонайбільше при швидкості руху транспортного засобу 30 км/год без спрацювання подушки безпеки. Система виконана із можливістю визначення відстані до іншого транспортного засобу, перешкоди, пішохода на шляху транспортного засобу системи. Також система

містить щонайменше один датчик удару, який підключено до системи керування.

Ключові слова: Життєзберігаюча бамперна система, електромобіль, сонячні батареї, полімерний матеріал, вакуумна витяжка, рециклінг, алюмінієва рама.

Вступ. Автомобілізація є ключовим фактором розвитку та процвітання розвинутих країн світу, тому наявність конкурентоспроможного та сформованого автомобільного ринку є важливою умовою успішного економічного розвитку. На ринку електромобільного транспорту відбувається новий стрибок. Електромобілі є актуальною темою для стратегічного розвитку, як автомобільного виробництва, так і країни у цілому. Перехід на електрокари в цілому перспективний, але його реалізація в світі поки що є досить складним процесом. Тому побудова сучасного, економічного та безпечного вітчизняного електромобіля є актуальною проблемою.

Було розроблено та створено макет електромобілю з покращеними характеристиками, за допомогою якого можливо удосконалити технологію його виробництва, та дослідити роботу електромобілю у реальних умовах. Макет електромобіля є цілком функціонуючим та в запропонованому вигляді здатний проїхати до 100 км та розвивати швидкість до 80 км/год. Швидкість обмежена програмно. Автомобіль оснащено електродвигуном, електробатареею (конструкцією передбачено встановлення до двох батарей). Автомобіль має рамну конструкцію. Кузов автомобіля виготовлено зі склопластику.

Метою роботи є створення першого українського електромобілю, який за технічними характеристиками буде відповідати світовим стандартам, а з безпеки і комфорту буде мати покращені характеристики. Удосконалення існуючих технологій автомо-

білебудування дозволить суттєво зменшити вартість автомобіля у порівнянні зі світовими аналогами.

Задачами роботи є:

- спроектувати конструкцію електромобілю з покращеними характеристиками,
- удосконалити технологію виробництва
- створити макет за допомогою якого можливо дослідити його роботу у реальних умовах для створення сучасного вітчизняного виробництва електромобілів.

Аналіз цієї технології виробництва автомобілів с традиційним несучим кузовом дозволяє виявити вагомий недолік:

- Складність виготовлення друкованих форм та штампованих сталевих деталей для кузова
- Складність процесу зварювання та монтажу, яка потребує великих капіталовкладень
- Необхідність захисту кузова від корозії та лакування

Технологія та принципи створення запропонованого електромобілю (рис. 1), позбавлена недоліків автомобіля с традиційним несучим кузовом.

У електромобілі пропонується замість традиційного несучого кузова зробити алюмінієву раму, за технологією frame-spase, на якій будуть встановлені елементи кузова та інші компоненти.

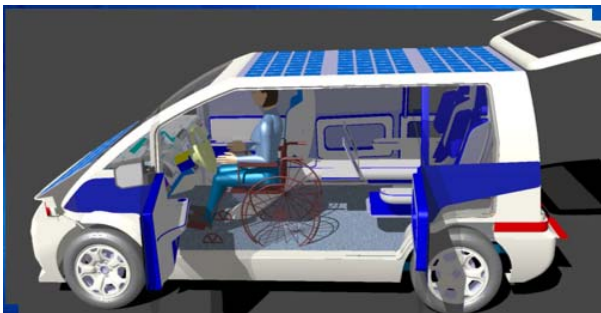


Рис.1. Зображення запропонованого електромобілю

Елементи кузова пропонується виготовляти з полімерного матеріалу, який не вимагає лакування і не піддається корозії, за технологією вакуумної витяжки, це дозволяє суттєво, майже вдвічі, скоротити витрати на організацію виробництва та витрати на технічне обслуговування обладнання, що істотно впливає на кінцеву вартість електромобілю. Це дозволяє зменшити вагу автомобіля до 1100 кг.

Виготовлення елементів кузова з полімерних матеріалів відкриває можливості рециклінгу матеріалів, що використовуються при виробництві.

Пропонується встановити сонячні батареї на кришу та капот електромобілю, які будуть підзаряджати основну батарею і забезпечувати додаткових 0-30 км в день, що в міських умовах істотно впливатиме на витрату батареї і збільшує її пробіг.

Пропонується забезпечити електромобіль додатковою батареєю, що стало можливим завдяки рамній конструкції. Це дозволить збільшити пробіг на одній зарядці до 500 км.

Завдяки запропонованій технології виготовлення кузова, електромобіль може використовуватися людьми з обмеженими можливостями на інвалідних візках, не залишаючи самих візків. Педаль газу та гальма для цих категорій осіб, будуть переміщені з ножною областю в область керма.

Пропонується унікальна система безпеки як для самого автомобіля так і для пішоходів, велосипедистів тощо. Ця технологія запатентована і вперше буде використана в автомобільному транспорті.

Система належить до транспорту, а саме стосується пристроїв пасивної безпеки транспортних засобів та інших учасників дорожньо-транспортних подій та може бути використана для встановлення у транспортних засобах для підвищення ступеню захисту, водія та пасажирів у разі виникнення аварійних ситуацій (лобового зіткнення) на дорозі. Було зроблено огляд літератури

Відома конструкція комплексу буферів легкового автомобіля [2], що містить окремо передній та задній буфери. Кожен буфер виконано у вигляді об'ємної панелі, що закріплено у чотирьох точках на кузові. Між панеллю буфера і кузовом автомобіля встановлено енергопоглинаючі елементи.

Недоліком цієї конструкції є її складність та висока вартість при виготовленні, а також те, що вона не дозволяє зменшити силу удару при лобовому зіткненні транспортних засобів при швидкості більше 5 км/год.

Відома також конструкція ударних висувних подушок безпеки для автомобілів [3], які включають в себе висування подушки безпеки для заповнення простору між висувним бампером. Пристрій виявляє та визначає небезпечну швидкість транспортного засобу або об'єкта, що наближається на шляху транспортного засобу і висуває бампер вперед або назад від кузова транспортного засобу, в той же час заповнюючи простір між кузовом і бампером надутою подушкою безпеки.

Недоліком цієї конструкції є її складність, висока вартість, а також те, що вона не зменшує силу удару при лобовому зіткненні транспортних засобів.

Життєзберігаюча бамперна система [4] містить основу, яка за допомогою амортизаційних елементів прикріплена до рами кузова автомобіля та встановлена між кузовом та його бампером, а між кузовом і основою встановлено щонайменше одну подушку безпеки. Але недоліком цієї конструкції є те, що вона в недостатній мірі захищає транспортний засіб, водія та пасажирів, не виключає значне пошкодження транспортного засобу, а також не захищає інші транспортні засоби при виникненні дорожньо-транспортних подій (лобове зіткнення).

Нами була поставлена задача розробки нової життєзберігаючої захисної системи, що спрацює при лобовому зіткненні, яка би забезпечувала підвищений захист транспортних засобів пасажирів та водіїв при зіткненнях на великих швидкостях шляхом конструкційного вдосконалення та введенням додаткових елементів конструкції.

Життєзберігаюча бамперна система електромобілю виконана з можливістю утримання удару при виникненні дорожньо-транспортної події щонайбільше при швидкості руху транспортного засобу 30 км/год без спрацювання подушки безпеки. Система виконана із можливістю визначення відстані до іншого транспортного засобу, перешкоди, пішохода на шляху транспортного засобу системи. Також система містить щонайменше один датчик удару, який підключено до системи керування. Суть запропонованої системи пояснюється нижче із посиланням на рис. 2 схематично зображений один з можливих, але не виключний, варіант виконання життєзберігаючої бамперної системи.

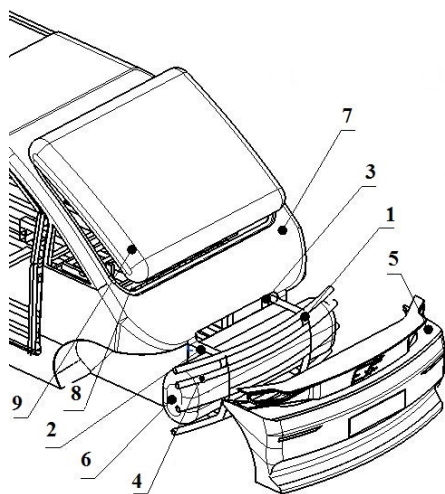


Рис. 2. Схематичне зображення життєзберігаючої бамперної системи

У одному з можливих варіантів, що не є обмежувальним, життєзберігаюча бамперна система містить основу 1. Основа 1 за допомогою амортизаційних елементів 2 прикріплена до рами 3 кузова транспортного засобу. У варіантах виконання основа 1 може складатись з кількох елементів та включати у варіанті виконання обмежувальні елементи 4.

Амортизаційні елементи 2 можуть бути пружинними, газовими, гідравлічними або їх комбінацією. А з іншого боку система закрита бампером 5 транспортного засобу. Бампер 5 може бути закріплений на основі 1 або на закріпленому чи закріплених на основі 3 проміжних елементах.

Між основою 1 та кузовом 7 транспортного засобу встановлена подушка безпеки 6 з піропатроном (на фігурі не показаний). Над лобовим склом 8 транспортного засобу встановлена додаткова подушка безпеки 9 з піропатроном, яка для наочності зображена в розкритому (робочому) стані із її розташуванням на лобовому склі у варіанті виконання.

Система працює наступним чином. При виникненні дорожньо-транспортної події при швидкості руху транспортного засобу до 30 км/год утримання удару здійснюється за рахунок розподілення навантаження на основу 1 та амортизаційні елементи 2,

при цьому спрацьовує від піропатрона щонайменше одна додаткова подушка безпеки 9, розташована над лобовим склом транспортного засобу або над його заднім склом.

Сигнали на спрацювання піропатрону усіх подушок безпеки надходять від датчиків удару та від системи із засобом вимірювання відстані для можливості спрацювання та розкриття подушок 6, 9 перед зіткненням із іншими транспортними засобами, будь якою перешкодою, наприклад конструкціями, будинками чи іншим, або пішоходом чи пішоходами.

При зіткненні транспортного засобу із пішоходом або велосипедом, мопедом чи мотоциклом, де людина відкрита, подушки безпеки 6 та додаткові подушки безпеки 9, які фактично закривають транспортний засіб системи спереду та ззаду, поглинають та пом'якшують удар пішохода або велосипедиста із зменшенням його травмування, що підвищує безпечність системи для пішоходів або людей, що знаходяться зовні транспортного засобу.

Таким чином, заявлена життєзберігаюча бамперна система проста у виготовленні та використанні, має високу ефективність і може бути виконана як з невеликими розмірами, так із більшими в залежності від розмірів транспортного засобу, що робить її універсальною та дозволяє використовувати її на багатьох видах транспортних засобів.

При цьому проста конструкція, технологічність, можливість встановлення на транспортні засоби, що експлуатуються, особливо ті, які ще не обладнані системами безпеки, роблять з систему гарною альтернативною існуючим аналогам.

При довжині 4 м автомобіль має абсолютно рівну підлогу довжиною 3.1 м та внутрішню висоту салону, яка дозволяє здійснювати будь-яку трансформацію салону починаючи від вантажного двомісного варіанта з корисним об'ємом, який відповідає повноцінному п'ятимісному автомобілю з розміром салону на рівні бізнес-седанів. Наявність додаткового джерела енергії та кліматичної системи разом з можливістю бистрої та легкої трансформації салону дозволяє реалізувати в запропонованому макеті електромобіля мобільний офіс, що є дуже актуальним в сучасних умовах.

Запропонований автомобіль може заповнити сегмент ринку бюджетних автомобілів вартістю від 12 000 долл. США.

Завдяки запропонованій «модульній платформі» базовий автомобіль можна буде за бажанням користувача достатньо легко перетворювати протягом експлуатації. Так, наприклад, може бути встановлена батарея та двигун більшої ємності або додаткова батарея, привід на два колеса доповнити до повнопривідної версії тощо за рахунок використання готових інженерних рішень, які легко будуть інтегруватися в базовий автомобіль.

Таким чином, ми пропонуємо новий підхід до виробництва електромобілів, що дозволяє отримати в малих габаритних розмірах недорогий конкурент-

ний автомобіль з великим салоном, що має можливість трансформації та модифікації.

Висновок. Спроектовано конструкцію електромобіля з покращеними характеристиками, вдосконалено технологію виробництва, створено макет за допомогою якого можливо дослідити його роботу у реальних умовах для створення сучасного вітчизняного виробництва електромобілів.

Л і т е р а т у р а

1. Карамян О.Ю., Чебанов К.А., Соловьева Ж.А. Электромобиль и перспективы его развития // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12-4. – С. 693-696; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39606> (дата обращения: 01.11.2021).
2. Патент Росії № 20069, МПК В60R 19/02, опубл.20.10.2001р.
3. Патент України № 55543, МПК (7) В60R 19/02, опубл. 15.04.2003р.
4. Патент США № 4518183, МПК (2006) В60R 19/40, В60R 19/24, В60R 21/01, В60R 19/18, В60R 19/20, В60R 19/10, опубл. 21.05.1985р.
5. Безпека дорожнього руху: комплексне дослідження основних факторів впливу / Маркетингові дослідження. – 2013. – № 5. – С. 11–25.
6. Транспорт і зв'язок України у 2012 році: Статистичний збірник / Відп. за вип. І. В. Калачова. – К.: Державна служба статистики України, 2013. – 269 с.
7. Чисельність населення на 1 січня 2004 року [Електронне видання

Reference

1. Karamian O.Iu., Chebanov K.A., Soloveva Zh.A. Elektromobyl u perspektyvy ego razvytyia // Fundamentalnye yssledovaniya. – 2015. – № 12-4. – S. 693-696; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/viewid=39606> (data obrashcheniya: 01.11.2021).
2. Patent Rosii № 20069, MPK В60R 19/02, opubl.20.10.2001r.
3. Patent Ukrainy № 55543, MPK (7) В60R 19/02, opubl. 15.04.2003r.
4. Patent SShA № 4518183, MPK (2006) В60R 19/40, В60R 19/24, В60R 21/01, В60R 19/18, В60R 19/20, В60R 19/10, opubl. 21.05.1985r.
5. Bezpeka dorozhnoho rukhu: kompleksne doslidzhennia osnovnykh faktoriv vplyvu / Marketynhovi doslidzhennia. – 2013. – № 5. – S. 11–25.
6. Transport i zviazok Ukrainy u 2012 rotsi: Statystychnyi zbirnyk / Vidp. za vyp. I. V. Kalachova. – K.: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2013. – 269 s.
7. Chyselnist naselennia na 1 sichnia 2004 roku [Elektronne vydannia

Loriia M.G., Tselishchev O.B., Miller V.V. Electric car with innovative life-saving automatic system.

The article was suggested the electric car with the improved characteristics is designed, the production technology is improved and the model by means of which it is possible to investigate its work in real conditions for creation of modern domestic production of electric cars is created. The technology of production of cars with a traditional bearing body is analyzed, which allowed to reveal significant shortcomings. It is proposed to make an aluminum frame instead of the traditional load-bearing body, using frame-space technology, on which body elements and other components will be installed. Body elements are proposed to be made of polymeric material that does not require varnishing and does not corrode, using vacuum technology, which can significantly, almost halve the cost of organizing production and maintenance costs of equipment, which significantly affects the final cost of the electric car. This allows you to reduce the weight of the car to 1100 kg. The manufacture of body elements from polymeric materials opens up opportunities for recycling of materials used in production. It is proposed to install solar panels on the roof and hood of the electric car, which will recharge the main battery and provide an additional 0-30 km per day, which in urban conditions will significantly affect the consumption of the battery and increase its mileage. It is proposed to provide the electric car with an additional battery, which became possible due to the frame design. This will increase the mileage on a single charge to 500 km. A unique safety system is offered for the car itself as well as for pedestrians, cyclists, etc. This technology is patented and will be used for the first time in road transport. The life-saving bumper system of the electric car is made with the possibility of holding the impact in the event of a traffic accident at a maximum speed of 30 km / h without the airbag deployment. The system is made with the ability to determine the distance to another vehicle, obstacle, pedestrian in the path of the vehicle system. The system also contains at least one shock sensor that is connected to the control system.

Keywords: Life-saving bumper system, electric car, solar panels, polymeric material, vacuum hood, recycling, aluminum frame.

Лорія Марина Геннадіївна – д.т.н., проф. кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. atp01@ukr.net

Целіщев Олексій Борисович - д.т.н., проф., проректор з наукової роботи Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля atp00@ukr.net

Міллер Віталій Володимирович – аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля miller@ukr.net

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-38-41>

УДК 389.62

ІНФОРМАЦІЙНА НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ, ЩО КАЛІБРУЮТЬСЯ

Манко Г.І., Тітова О.В., Кравець В.І., Іброхімова А.А.

INFORMATION UNCERTAINTY OF THE CALIBRATED MEASUREMENTS INSTRUMENTS

Manko G.I., Titova E.V., Kravets V.I., Ibrokhimova A.A.

Концепція невизначеності стала стандартом у метрології. Вітчизняні та міжнародні нормативні документи передбачають застосування процедур оцінки невизначеності в ході калібрування засобів вимірювання. У цій статті розглядаються проблеми використання концепції невизначеності в процесі калібрування. Відмічено, що в ряді дослідницьких робіт показані слабкі сторони рекомендованих підходів до оцінки невизначеності та пропонується використання альтернативних методів оцінки.

Разом з тим, поняття невизначеності має безпосередній зв'язок із методами оцінки кількості інформації. Тому є доцільним використанням інформаційної невизначеності при калібруванні засобів вимірювання.

Показано, що має місце колізія між намаганням авторів нормативних документів слідувати модним течіям у метрології та прозою життя, що складається у необхідності вирішення реальних практичних завдань оцінки придатності каліброваних приладів. Для розв'язання цієї колізії запропоновано використовувати інформаційні критерії, що базуються на поняттях корисної інформації Бонгарда. Якість засобів вимірювання можна характеризувати невизначеністю Бонгарда, яка оцінює відмінність розподілу ймовірностей вимірюваної величини від розподілу ймовірностей результатів вимірів. Якщо ці розподіли є однаковими, невизначеність щодо значень вимірюваної величини може бути охарактеризована інформаційною ентропією Шеннона. Внаслідок недосконалої засобів вимірювання вноситься дезінформація (негативна корисна інформація Бонгарда), яка оцінюється різницею невизначеності Бонгарда та ентропії Шеннона. Максимальна кількість дезінформації відповідає випадкам нульової апріорної невизначеності вимірюваної величини, тобто нульовій ентропії. Відношення кількості дезінформації, отриманої при вимірах, до максимально можливої кількості, являє собою відносну інформаційну невизначеність засобів вимірювання. Якщо це буде виражено у відсотках, то вона буде служити кількісною характеристикою якості засобів вимірювань і може бути повноцінною заміною традиційного класу точності в повній відповідності до концепції невизначеності.

Ключові слова: калібрування, концепція невизначеності, закон розподілу, вимірювання, інформаційна невизначеність.

*Neurosis is the inability to tolerate uncertainty
Sigmund Freud*

Вступ. Відповідно до ДСТУ ISO / IEC 17025: 2017 [1], «Лабораторія, що здійснює калібрування, в тому числі власного обладнання, повинна оцінювати невизначеність вимірювання для всіх калібрувань».

Основним нормативним посібником з оцінювання невизначеності в ході калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) є документ Європейських організацій з акредитації EA-4/02 [2]. У преамбулі до нього вказується, що «Він повинен встановлювати спеціальні вимоги, які повинні пред'являтися до вказівкою невизначеності вимірювань в свідченнях калібрівки, що видаються акредитованими лабораторіями, і він також повинен одночасно сприяти Органам з акредитації в єдиній (уніфікованій) вказівці найменших, що видаються, невизначеностей вимірювань в акредитованих ними калібрувальних лабораторіях». Представлене в цьому документі трактування повністю відповідає Керівництву з вираження невизначеності вимірювання [3, 4], і тому на EA-4/02 поширюються всі обмеження, властиві GUM:

- допущення, що випадкова величина повністю характеризується стандартним відхиленням, що не справедливо, коли реальний закон розподілу істотно відрізняється від нормального;
- застосовність лише для лінійних (або добре лінеаризованих) модельних функцій;
- у багатьох випадках не виправдано завищені оцінки невизначеності.

В роботі [5] ставиться питання про відповідність калібрування за GUM головній меті забезпечення єдності вимірювань. Стверджується, що впровадження GUM не підвищило якості вимірювань, але привернуло увагу до проблеми достовірності результатів. При цьому стаття [5] ставить проблему, але не пропонує шляхів її вирішення.

Як показано в [6], в даний час, крім загальноприйнятого закону поширення невизначеності, що ле-

жить в основі філософії GUM і є однією з реалізацій модельного підходу, існують альтернативні методи оцінювання невизначеності, які мають свою достовірність і діапазони застосовності. Зокрема, альтернативні методи розглянуті в технічному звіті EUROLAB 1/2007 "Перегляд невизначеності вимірювання: Альтернативні підходи до оцінювання невизначеності" [7]. Тут виконана класифікація підходів до оцінювання невизначеності. Як альтернативні запропоновані експериментальні підходи до оцінювання точності вимірювань, що базуються на результатах внутрішньолабораторних і міжлабораторних випробувань.

У [8] зазначається, що в даний час існує два основні підходи до оцінювання невизначеності вимірювань: Неймановський (частотний) і байєсівський (суб'єктивний). Відповідно до байєсівського підходу оцінюваному параметру (вимірюваній величині) може бути зіставлена густина розподілу ймовірностей її можливих значень і, як показує практика, оцінки невизначеності при малому числі вимірювань при використанні байєсівського підходу більш достовірні. Тому актуальним завданням є розробка методів оцінювання невизначеності вимірювань, заснованих на такому підході.

Для кількісної оцінки невизначеності природним є використання інформаційних критеріїв, оскільки інформацію зазвичай розглядають як міру зменшення невизначеності знань про будь-який об'єкт у процесі його пізнання. В [9] запропоновано використовувати поняття ентропії випадкової величини як міри невизначеності (множинної сукупності її можливих значень), для вибору оптимальної кількості вимірів і класу точності ЗВТ. У роботах [10] та [11] введено поняття інформаційної невизначеності і запропоновані методи її вимірювання.

Метою статті є обґрунтування доцільності використання інформаційної невизначеності під час калібрування засобів вимірювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно ДСТУ 2681-94 калібрування – це сукупність операцій, які виконуються з метою визначення метрологічних характеристик і придатності засобів вимірювальної техніки до використання в певних умовах.

Як метрологічні характеристики можуть виступати значення мір, похибки (систематичні) вимірювальних приладів, відхилення від номінальних значень калібрувальних характеристик ЗВТ та ін. При виконанні калібрування ЗВТ метрологічні характеристики повинні вказуватися з відповідними невизначеностями.

Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [12], передбачає два етапи калібрування:

- на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, які забезпечуються еталонами з властивою їм невизначеністю вимірювань, і відповідними показаннями ЗВТ з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань;

- на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показань.

При калібруванні відбувається передача розміру одиниці величини, що відтворюється та/або зберігається еталонами, засобу вимірювання шляхом визначення співвідношення між значеннями величини, отриманими із застосуванням еталона, і відповідними показаннями каліброваного ЗВТ.

Відповідно до ЕА-4/02 оцінювання результату вимірювань і його невизначеності починається зі складання рівняння вимірювань, після оцінюють вхідні і вихідні величин та їх невизначеності. Наостанок складають результат невизначеності у вигляді таблиць, які включають в себе опис складових рівняння вимірювання та вклади, які вносять кожна зі складових в загальну оцінку невизначеності. Останній етап калібрування – оформлення та представлення результатів. В ЕА рекомендується в свідцтві калібрування вказувати повний результат вимірювання, який складається з оцінки у вимірюваній величині і пов'язаної з нею розширеної невизначеності вимірювання U і представляється в формі $y \pm U$. При цьому залишається відкритим питання, як це використовувати для визначення придатності засобу вимірювальної техніки до використання.

Таким чином, виникає колізія між прагненням авторів нормативних документів слідувати модним течіям в метрології і прозою життя, що полягає в необхідності вирішення безлічі реальних завдань, для яких поколіннями метрологів були вироблені рішення на основі усталених понять.

Спробами вирішення цієї колізії займається Регіональна метрологічна організація КООМЕТ. Рекомендація [13] являє собою еkleктику двох підходів: традиційного і нового. Зокрема, в п. 5.1.5 вказується: «При калібруванні засобів вимірювальної техніки встановлюють за певних умов співвідношення між значеннями величини за показаннями засобу вимірювання і відповідними значеннями, реалізованими за допомогою еталона. За результатами калібрування можуть бути внесені поправки до показань засобів вимірювання або уточнені значення, реалізовані засобами вимірювання. Показником точності визначення метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки під час калібрування є невизначеність. Але в сусідньому п. 5.1.6 читаємо: «Нормування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки здійснюють, оперуючи поняттям "похибка" або "клас точності"». Як загальна рекомендація пропонується точність результатів вимірювання в більшості метрологічних завдань характеризувати невизначеністю, а точність засобів вимірювань характеризувати межами похибок.

У багатьох підручниках клас точності називають основною метрологічною характеристикою СІ. Відмова від цієї характеристики веде до появи маси незручностей в практичній діяльності. Що, наприклад, показувати на шкалах стрілочних приладів замість таких звичних позначень типу «1,0»?

Для вирішення описаної колізії раціонально використовувати інформаційні критерії, які базуються на понятті корисної інформації Бонгарда [14]. Бонгард пов'язує міру корисності повідомлення з завданням, яке вирішує одержувач, із запасом його знань до приходу повідомлення і способом тлумачення повідомлення. Згідно Бонгарду, невизначеність певного завдання з розподілом ймовірностей $P = \{p_j\}$ для спостерігача, що виходить із гіпотези, що має місце розподіл $Q = \{q_j\}$, оцінюється виразом:

$$N(p/q) = \sum_j p_j \log q_j. \quad (1)$$

В [10] запропоновано розглядати (1) як інформаційну невизначеність зміни величини, що має розподіл ймовірностей $P = \{p_j\}$, якщо розподілом ймовірностей результатів вимірювань є $Q = \{q_j\}$. Показано, що такій оцінці невизначеності вищеописані обмеження GUM не є властивими.

Якщо спостерігач отримує ззовні деяке повідомлення, що змінює вихідну (апостеріорну) невизначеність завдання у вигляді ентропії $H(p)$ на апостеріорну невизначеність $N(p/q)$, то корисна інформація, яка міститься в повідомленні, є різницею невизначеностей:

$$I_k = H(p) - N(p/q) = \sum_j p_j \log(q_j / p_j). \quad (2)$$

Апостеріорна невизначеність $N(p/q)$ може бути, як меншою, так і більшою, ніж апостеріорна $H(p)$. В останньому випадку повідомлення несе дезінформацію для спостерігача.

Реальні засоби і методи вимірювань завжди вносять дезінформацію (негативну корисну інформацію) в кількості:

$$D = N(p/q) - H(p) = \sum_j p_j \log(p_j / q_j). \quad (3)$$

Характеристикою якості ЗВТ може служити відношення дезінформації, що вноситься ним, до максимально можливої кількості, яка має місце тоді, коли від'ємник в різниці (3) дорівнює нулю:

$$D_{\max} = N(p/q) = \sum_j p_j \log q_j. \quad (4)$$

Таким чином, маємо відносну інформаційну невизначеність:

$$v = \frac{D}{D_{\max}} = 1 - \frac{\sum_j p_j \log p_j}{\sum_j p_j \log q_j}. \quad (5)$$

Очевидно, що відносна невизначеність змінюється в інтервалі $[0; 1]$. Якщо v прагне до нуля, то

невизначеність зникає, засіб вимірювання є ідеальним.

Цей показник слід виражати у відсотках, для чого отриманий результат досить помножити на 100.

Висновки. Відносна інформаційна невизначеність (5) може з'явитися повноцінною заміною традиційного класу точності. Її значення необхідно вказувати в технічній документації на ЗВТ. Не складе проблеми і вказівка її на шкалах приладів. Згодом, коли концепція невизначеності остаточно утвердиться, то, можливо, відносна невизначеність v стане основною метрологічною характеристикою, замінивши звичний нам термін «клас точності».

Література

1. ДСТУ ISO/IEC 17025: 2017 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025: 2017, IDT).
2. EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. – EA, 1999. – 79 p.
3. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - Geneva : ISO, 1993. – 101 p.
4. РМГ 43-2001. Рекомендации по межгосударственной стандартизации, ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».
5. Левин, С.Ф. Концепция неопределенности и теория погрешностей: философия и математика / С.Ф. Левин // Український метрологічний журнал. – 2019. – № 2. – С. 16-29.
6. Захаров, И.П. Оценивание неопределенности измерений: 10 лет спустя / И.П.Захаров // Системи обробки інформації. – Харків, 2013. – Вип. 3. – С. 2–7.
7. Measurement uncertainty revisited: Alternative approaches to uncertainty evaluation. EUROLAB Technical Report No. 1/2007. – 62 p.
8. Боцюра, О.А. Ревизия GUM: проблемы и пути решения / О.А. Боцюра, И.П. Захаров // IX Міжнародна науково-технічна конференція «Метрологія та вимірювальна техніка (МЕТРОЛОГІЯ – 2014)». – Харків, 2014. – С. 31–34.
9. Игнаткин, В.У. Оценивание неопределенности при выборе оптимального количества измерений и класса точности средств измерительной техники / В.У. Игнаткин, Л.М. Виткин, В.А. Литвиненко, О.И. Белый // Системи обробки інформації. – Харків, 2009. – Вип. 5. – С. 33–36.
10. Манко, Г.И. Использование информационных характеристик для оценки неопределенности измерений / Г.И. Манко, Н.С. Шевчук // Системи обробки інформації. – Харків, 2008. – Вип. 8. – С. 82–84.
11. Манко, Г.И. Методы оценки информационной неопределенности средств измерений / Г.И. Манко, Н.С. Шевчук, Н.А. Минакова, Е.В. Лещенко // Системи обробки інформації. – Харків, 2009. – Вип. 3. – С. 46–49.
12. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» // Відомості Верховної Ради, 2014. – № 30. – С. 1008.
13. СОМЕТ R/GM/21:2011. Использование понятий “погрешность измерения” и “неопределенность измерения”. Общие принципы.
14. Бонгард М.М. Проблемы узнавания. – М.: Наука, 1967 – 320 с

References

1. DSTU ISO/IEC 17025:2017 Zahalni vymohy do kompetentnosti vyprobuvalnykh ta kalibruvalnykh laboratorii (ISO/IEC 17025:2017, IDT).
2. EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. EA, 1999. 79 p.
3. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - Geneva : ISO, 1993. 101 p.
4. RMH 43-2001. Rekomendatsyy po mezhhosudarstvennoi standartyzatsyyi, HSY. Prymenenye «Rukovodstva po vyrazheniyu neopredelennosti yzmereniy».
5. Levyn, S.F. Kontseptsyia neopredelennosti y teoryia pohreshnosti: fylosofiya y matematyka / S.F. Levyn // Ukrainskiy metrolohichnyi zhurnal. 2019. # 2. S. 16-29.
6. Zakharov, Y.P. Otsenyvanye neopredelennosti yzmereniy: 10 let spustia / Y.P.Zakharov // Systemy obrobky informatsii. Kharkiv, 2013. Vyp. 3. S. 2-7.
7. Measurement uncertainty revisited: Alternative approaches to uncertainty evaluation. EUROLAB Technical Report No. 1/2007. 62 p.
8. Botsiura, O.A.Revyziya GUM: problemy y puty resheniya / O.A. Botsiura, Y.P. Zakharov // IX Mizhnarodna naukovy-tekhnichna konferentsiia «Metrolohiia ta vymiriuvalna tekhnika (METROLOHIIA – 2014)». Kharkiv, 2014. S. 31-34.
9. Yhnatkyn, V.U. Otsenyvanye neopredelennosti pry vyboire optymalnogo kolychestva yzmereniy y klassa tochnosti sredstv yzmeritelnoi tekhniky / V.U. Yhnatkyn, L.M. Vytkyn, V.A. Lytvynenko, O.Y. Belyi // Systemy obrobky informatsii. Kharkiv, 2009. Vyp. 5. S. 33-36. Zakon Ukrainy «O metrologii i metrologicheskomy upravlenii» // Vidomosti Verkhovnoi Rady, 2014. - № 30. - S. 1008.
10. Manko, H.Y. Yspolzovanye ynformatsyonnykh kharakterystyk dlia otsenky neopredelennosti yzmereniy / H.Y. Manko, N.S. Shevchuk // Systemy obrobky informatsii. Kharkiv, 2008. Vyp. 8. S. 82-84.
11. Manko, H.Y. Metody otsenky ynformatsyonnoi neopredelennosti sredstv yzmereniy / H.Y. Manko, N.S. Shevchuk, N.A. Mynakova, E.V. Leshchenko // Systemy obrobky informatsii. Kharkiv, 2009. Vyp. 3. S. 46-49.
12. Zakon Ukrainy «Pro metrolohiuu ta metrolohichnu diialnist» // Vidomosti Verkhovnoi Rady, 2014. # 30. S. 1008.
13. COOMET R/GM/21:2011. Yspolzovanye ponyatiy "pohreshnost yzmereniy" y "neopredelennost yzmereniy". Obshcheye pryntsypy.
14. Bonhard M.M. Problemy uznavaniya. M.: Nauka, 1967. 320 s.

Manko G.I., Titova E.V., Kravets V.I., Ibrokhimova A.A. Information Uncertainty Of The Calibrated Measuring Instruments.

The Uncertainty Approach has become a standard in metrology. Ukrainian and international regulatory documents prescribe the application of the uncertainty assessment procedure during the calibration of measuring instruments. This paper discusses the problems of using of the Uncertainty Approach during calibration. There is noted that in a number of research works the weaknesses of the recommended ap-

proaches to uncertainty assessment are shown, and the use of alternative methods of its estimation is recommended.

At the same time, the concept of uncertainty is directly related to methods of the information amount estimation. Therefore, it is advisable to use information uncertainty when calibrating of measuring instruments.

It is shown that there is a conflict between the desire of the authors of normative documents to follow fashionable trends in metrology and the prose of life, which consists in the need to solve real practical problems of assessing of the calibrated instruments suitability. To resolve this conflict, it is proposed to use information criteria, which are based on the concept of Bongard's useful information. The quality of a measuring instrument can be characterized by the Bongard uncertainty, which estimates the difference between the probability distribution of the measured quantity and the probability distribution of the measurement results. If these distributions coincided, the uncertainty about the values of the measured quantity could be estimated by the Shannon informational entropy. Due to the imperfection of the measuring instrument, disinformation is introduced (negative useful information of Bongard), which is estimated by the difference between Bongard's uncertainty and Shannon's entropy. The maximum amount of disinformation corresponds to the case of zero prior uncertainty of the measured value i.e. zero entropy. The ratio of the amount of disinformation obtained during measurements to the maximum possible amount is the relative information uncertainty of the measuring instrument. If expressed as a percentage, then it will serve as a quantitative characteristic of the measuring instruments quality and it can be a full replacement for the traditional accuracy class in full accordance with the Uncertainty Approach.

Keywords: calibration, concept of uncertainty, distribution law, measurement, information uncertainty.

Манко Геннадій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна).
e-mail: bsoft@a-teleport.com

Тітова Олена Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна).
e-mail: elenatitova@gmail.com

Кравець Василь Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна),
e-mail: kravets_vi@outlook.com

Іброхімова Аліка Аїнідівівна – студент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна).
e-mail: nilufkaibroh99@gmail.com

Стаття подана 10.08.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-42-46>

УДК 681.5.08 : 681.05.011

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ

Тарасов В.Р., Сотнікова Т.Г.

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF ROOM COOLING SYSTEMS

Tarasov V.R., Sotnikova T.G.

В роботі було досліджено альтернативні види систем формування клімату на основі таких видів систем охолодження як: адіабатичне охолодження; холодна стеля; абсорбційна холодильна машина з використанням броміду літію; система з використанням елемента Пельтьє. Запропоновано та розроблено схему, яка враховує недоліки розглянутих систем. Запропонована система має просту конструкцію, більш екологічна, в неї відсутній холодоагент. Розраховано кількість елементів Пельтьє необхідну для формування заданої температури в приміщенні. Розробка альтернативних систем охолодження дуже актуальна проблема на сьогоднішній час. У житлових приміщеннях набув широкий попит на кондиціонери з використанням фреону у якості холодоагенту. Дані системи не є надійними через те, що є ризик витоку фреону. Також є проблема в тому, що кондиціонер є осередком підвищеної вологості, що в свою чергу спричиняє розмноженню бактерій та грибків. Разом з посиленням санітарних вимог до житлових приміщень та тих приміщень де перебуває людина та заборонами використання старих різновидів фреонів змусили науковців та виробників шукати нові, більш екологічні, види охолодження приміщення без використання фреонів. Серед них це: використання води та її розчинів в якості холодоагентів; використання різниці температур навколишнього середовища; теплонасосів заснованих на ефекті Пельтьє.

В результаті досліджень було встановлено, для охолодження приміщення краще використати елемент Пельтьє, так як він екологічний (відсутні викиди CO_2 , CO , CFH_3 , $CFCIH_2$), відсутні механічні деталі. Для охолодження приміщення площею 10 м^2 потрібно близько 8 шт. Для точного керування системою краще використовувати точні датчики температури.

Отримані дані є корисними та важливими: доведено, що система з використанням елемента Пельтьє може працювати на генерацію холоду; запропонований розрахунок є універсальними, тому, що має можливість розрахувати потужності елементів Пельтьє. Використання елемента Пельтьє дозволить використати силу сонця для зменшення негативних впливів на людину, зокрема вплив високої температури.

Ключові слова: альтернативні системи охолодження, абсорбційна холодильна машина, елемент Пельтьє.

Вступ. Проблема забруднення природи викидами оксиду вуглецю, сполук азоту та інших шкідливих сполучень гостро відчувається на нашому житті.

Зі збільшенням кількості викидів вуглекислого газу стало наслідком глобального потепління. На даний час (протягом останніх 5 років) в Східній Європі спостерігається аномальна спека та засуха через велику кількість сонячних днів в літку та техногенних явищ. [1] Під час спеки у людей підвищується тиск, виникає великий ризик інфаркту та інших хвороб. Але є можливість використати енергію сонця для формування клімату в будинку, а саме перетворювати її в електричну енергію.

Розробка альтернативних систем охолодження дуже актуальна на сьогоднішній час. У переважній більшості для охолодження приміщень використовують кондиціонери з фреоном. Ці системи не є надійними, так як виникає ризик витоку фреону. Через постійні заборони фреонів науковці змушені шукати альтернативні види охолодження.

В ході дослідження були розглянуті такі системи формування клімату в будівлі:

1. Системи в яких використовується вода в якості холодоагенту: адіабатичне охолодження [2] та холодна стеля [3].

Переваги таких систем: екологічність; економія електроенергії (до 30%); безшумна робота; підвищення енергоефективності систем кондиціонування в теплий сезон, екологічність.

Недоліки систем: можливість роботи лише в теплий сезон; використання води в якості теплоносія, що під час поломки може призвести до серйозних витрат, залежність ККД від діаметра одержуваних крапель; залежність від вологості повітря; складність системи; складна конструкція системи охолодження; нестійкість системи.

2. Система з використанням абсорбенту: абсорбційна холодильна машина [4].

Перевагами є: малий шум; тривалий термін служби, який становить десятки років; пожежо-і вибухонебезпечність; повна автоматизація; нескладне обслуговування.

Недоліками є: підігрів абсорбційного розчину для роботи системи (газом, вугіллям, електричним струмом і т.п.); складність інтегрування в систему керування будівлі; використання токсичних матеріалів в теплоносії.

3. Система охолодження з використанням елемента Пельтьє [5] [6].

Переваги: немає рухомих частин, що підвищує його термін служби; є можливість з'єднання безліч елементів в один каскад, що дозволяє зменшувати температуру дуже гарячих деталей; при зміні полярності напруги живлення елемент стане працювати в зворотному напрямку, тобто, сторони охолодження і нагріву поміняються місцями.

Недоліком є недостатній коефіцієнт корисної дії, що впливає на збільшення підведеного струму, для досягнення необхідного перепаду температур.

В ході дослідження було виявлено, що система адіабатичного охолодження та система «холодна стеля» використовують воду в якості теплоносія, що є великим недоліком через фізичні властивості води. В абсорбційній холодильній машині в якості теплоносія використовується водний розчин аміаку та водний розчин броміду літію, які є токсичними для людини та їх потрібно підігрівати до відносно великих температур для роботи системи. Через це система з використанням елемента Пельтьє віддається найбільша перевага з-за відсутності вищезазначених недоліків.

Зараз в світі актуальним є курс на екологічність. Сучасна екологічна ситуація в світі та Україні зокрема загострюється з кожним днем. Забруднення атмосфери шкідливими викидами разом зі збільшеною сонячною активністю призводять до парникового ефекту який негативно впливає на здоров'я людини. Використання елемента Пельтьє дозволить використати силу сонця для зменшення негативних впливів на людину, зокрема вплив високої температури.

Огляд літератури.

В роботі [7] були отримані результати, які показують, що розроблена система виявилася неспроможною точно регулювати температуру в будинку. Причиною цього можуть бути об'єктивні труднощі які пов'язані з тим, що в системі використовувався датчик температури з великою похибкою (~2%), низькою дискретизацією та відсутній пристрій охолодження/нагріву приміщення.

Варіантом подолання цих труднощів є: використання більш точного цифрового датчика температури, використання пристрою котрий в собі має елемент Пельтьє.

Саме такий підхід використаний у роботі "Розробка системи керування життєзабезпеченням "Розумний будинок"" призвів до того, що система була спроектована без розрахунків тепловтрат.

Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення досліджень визначенню ККД системи включно з елементом Пельтьє та високоточних, цифрових датчиків температури.

В роботі [8] отримані результати, які доводять, що розроблений пристрій не в змозі в достатній мірі охолодити температуру повітря в приміщенні. При температурі 22 °C в кімнаті, пристрій на зміг його охолодити навіть 0.5 °C. Причиною цього можуть бути об'єктивні труднощі пов'язані з тим, що в системі відсутні датчики температури та використанням 1 елемента Пельтьє з такими характеристиками: 12 В, 6 А що дасть 72Вт потужності елемента, що робить відповідне дослідження недоцільним, так як теоретично потрібно близько 100 Вт на м².

Варіантом подолання цих труднощів може бути: збільшення кількості елементів Пельтьє; використання додаткових датчиків температури на вході та виході потоку повітря в пристрої, для більш точного керування пристроєм.

Саме такий підхід використаний у роботі "Кондиціонер на базі елемента Пельтьє" призвів до того, що пристрій був сконструйований без необхідних розрахунків.

Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення дослідження спрямоване на збільшення ККД системи з використанням елемента Пельтьє зі збільшеною кількістю елементів, датчиків температури та розрахунки.

Мета та задачі. Метою роботи є розробка системи яка базується на елементі Пельтьє з підвищеним ККД. Для вирішення цієї мети потрібно розв'язати такі задачі:

- розробити схему, яка б була позбавлена недоліків як інших систем охолодження приміщення так і тих, що базуються на елементі Пельтьє;

- розрахувати необхідну кількість елементів Пельтьє для охолодження приміщення площею 10 м².

При розгляді систем на основі елемента Пельтьє було розроблено схематичне зображення автоматизованої системи яка позбавить недоліків попередніх системи (рис.1).

Розроблена схема автоматизованої системи складається з таких блоків та елементів: Блок 1 – перетворює сонячну енергію в електричну, запасе її, конвертує в 220 В та живить Блок 2.

Блок 2 – аналізує температуру та вологість в приміщенні та на основі отриманої інформації вирішує, потрібно охолоджувати повітря або нагрівати його.

Комбінований датчик температури та вологості DHT 22 (12). Цифровий датчик температури та вологості підвищеної точності. Датчик має заводське калібрування і характеризується низьким енергоспоживанням.

Датчик струму ACS712 (5) складається з датчика Холла і мідного провідника. ACS712 датчик побудований на ефекті Холла і має лінійну залежність вимірюваного струму і вихідної сигнальної напруги. Рівень вихідної напруги сенсора пропорційно залежить від вимірюваного струму.

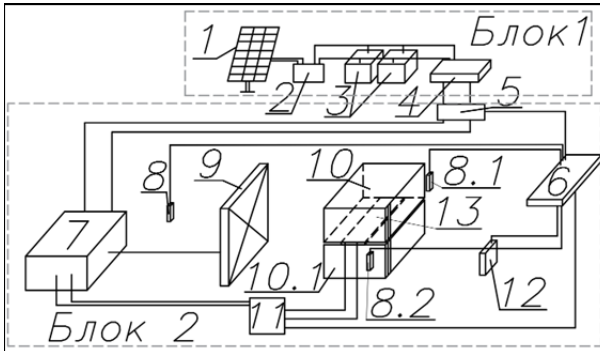


Рис. 1. Схематичне зображення автоматизованої системи охолодження приміщенням:

1 – сонячна панель; 2 – МРРТ контролер заряду; 3 – акумулятор; 4 – інвертор; 5 – Датчик напруги/струму; 6 – Мікроконтролер/ мікрокомп'ютер; 7 – Блок живлення; 8-8.2 – Датчик температури; 9 – Вентилятор; 10-10.1 – Радіатор; 11 – Реле; 12 – Комбінований датчик температури та вологості; 13 – Елемент Пельтьє

Датчик напруги ZMPT101B (5) модуль на основі понижувального трансформатора напруги ZMPT101B, що дозволяє вимірювати напругу змінного струму від 195 до 250 В. Модуль простий у використанні і має на платі багатооборотний потенціометр для регулювання виходу АЦП.

Основний матеріал. Модуль Пельтьє, являє собою термоелектричний холодильник, що складається з послідовно з'єднаних напівпровідників р- і n-типу, що утворюють р-n- і n-p-переходи. Кожен з таких переходів має тепловий контакт з одним з двох радіаторів. В результаті проходження електричного струму певної полярності утворюється перепад температур між радіаторами модуля Пельтьє: один радіатор працює як холодильник, інший радіатор нагрівається і служить для відводу тепла. Також слід зазначити одну закономірність. Якщо примусово відводити тепло з гарячою боку (наприклад за допомогою радіатора), то температура холодної сторони буде знижуватися ще більше.

Переваги: тривалий термін роботи, малі габарити (40*40*4 мм), проста конструкція приладу, можливість роботи в зворотному напрямку.

Недоліки: низький ККД в порівнянні з іншими системами охолодження приміщення, високий струм живлення $I > 20$ А.

Для переконання, що прилад буде працювати належним чином було зроблено математичний розрахунок [9]. Охолодження та нагрівання за рахунок термоелектричного ефекту задається за допомогою рівняння (ефект Пельтьє):

$$Q_c = \alpha I T_c \quad (1)$$

$$Q_c = \alpha I T_h \quad (2)$$

Рівняння для холодного спою:

$$Q_c + 0.5I^2R + U(T_h - T_c) = \alpha I T_c \quad (3)$$

Рівняння для гарячого спою:

$$Q_h + U(T_h - T_c) = \alpha I T_h + 0.5I^2R \quad (4)$$

Таким чином, термоелектричне охолодження є:

$$Q_c = \alpha I T_c - 0.5I^2R - K(T_h - T_c) \quad (5)$$

Термоелектричне опалення є:

$$Q_h = \alpha I T_h + 0.5I^2R - K(T_h - T_c) \quad (6)$$

Теоретичний розрахунок.

Енергія поставляється для холодного спою:

$$P = \alpha I (T_h - T_c) - I^2R \quad (7)$$

$$P = 10 * (60 - 10) - 10^2(-2) = 700 \text{ Вт}$$

Енергія поставляється до гарячого спою:

$$P = \alpha I (T_h - T_c) + I^2R \quad (8)$$

$$P = 10 * (60 - 10) + 10^2(-2) = 300 \text{ Вт}$$

Теоретичний розрахунок необхідної потужності для охолодження приміщення $\sim 10 \text{ м}^2$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1.55 \text{ кВт}$$

$$Q_1 = \frac{S * h * q}{1000} = \frac{10 \text{ м}^2 * 2,75 \text{ м} * 40}{1000} = 1,1 \text{ кВт}$$

де S – площа приміщення, h – висота приміщення, q – коефіцієнт для приміщень, в які потрапляє багато сонячного світла;

$Q_2 = 0.1 \text{ кВт}$, теплопритоки від однієї людини в спокійному стані складуть $0,1 \text{ кВт}$;

$Q_3 = 0.35 \text{ кВт}$, теплопритоки від побутової техніки (комп'ютер).

Розрахунок потужності кондиціонера був зроблений за допомогою електронного ресурсу (Рис.2) для того, щоб дізнатися, яка кількість елементів Пельтьє необхідна для охолодження приміщення площею 10 м^2 .

Розрахунок потужності кондиціонера

Розрахункова потужність охолодження

Основні параметри	Додаткові параметри		
Площа приміщення, м ²	10	Враховувати вентиляцію	<input type="checkbox"/>
Висота стелі, м	2.75	Кратність воздухообміну	1.0
Ізоляція	Середня	Гарантовані 20°C	<input type="checkbox"/>
Кількість людей	1	Верхній поверх	<input type="checkbox"/>
Кількість комп'ютерів	1	Велике вікно	<input type="checkbox"/>
Кількість телевізорів	0	Площа скління, м ²	2.5
Потужність іншої побутової техніки, кВт	0		
Потужність охолодження Q:	1.36 кВт		
Рекомендований діапазон Q _{range} :	1.3 - 1.6 кВт		

Рис. 2. Фрагмент розрахунку потужності пристрою

Висновки. Досліджено системи формування кліматом на основі адіабатичного охолодження, холодної стелі, абсорбційної холодильної машини, елемента Пельтьє.

В результаті отриманих теоретичних розрахунків можна констатувати, що вирішені наступні завдання:

- розроблено схему, яка враховує недоліки вищезазначених систем охолодження приміщення;

- розрахована необхідна кількість елементів Пельтьє для приміщення площею 10 м² й вони відмінні від роботи "Кондиціонер на базі елемента Пельтьє". Це пов'язано з тим, що в роботі не використовували розрахунки потужності елемента для площі приміщення.

Основними перевагами запропонованої схеми є: використання енергії сонця для формування сприятливого клімату в приміщенні; використання збільшеної кількості елементів Пельтьє ніж в роботі "Кондиціонер на базі елемента Пельтьє"; використання більш точних комбінованих датчиків температури та вологості; впровадження точних датчиків напруги та струму.

Основний напрямок подальшої роботи полягає в розробці експериментальної установки, отриманні теоретичних даних, їх обробка.

Література

1. Deutsche Welle. Східна Європа потерпає від нестачі вологості більше інших [Електронний ресурс] / Deutsche Welle. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/4cQvxxkT>.
2. Втумані. Адіабатичне охолодження чілерів, драйкулери [Електронний ресурс] / Втумані. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/AcLsQLA>.
3. Vencon. Що таке холодна стеля і як вона працює [Електронний ресурс] / Vencon. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/gcLdYiR>.
4. TopClimat. Що таке абсорбція холодильної машини [Електронний ресурс] / TopClimat. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/RcLd66I>.
5. Школа для електрика. Елемент Пельтьє - як влаштувати і працює, як перевірити і підключити [Електронний ресурс] / Школа для електрика. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/ScLgoQw>.
6. Електросам. Елементи Пельтьє. Робота і застосування. Зворотній ефект [Електронний ресурс] / Електросам. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/scLgkeu>.
7. Розробка системи керування життєзабезпеченням "Розумний будинок". // Всеукраїнський конкурс студентських робіт. – 2014.
8. Кондиціонер на базі елемента Пельтьє / М. В. Чусовитин, О. Л. Наумов., 2018. – 13 с.
9. Nair A. REVIEW PAPER ON THERMOELECTRIC AIR-CONDITIONER USING PELTIER MODULES / Anu Nair. // International Journal of Mechanical Engineering (IJME). – 2015. – С. 49–56.

References

1. Deutsche Welle. Skhidna Yevropa poterpaie vid nestachi volohy bilshe inshykh [Elektronnyi resurs] / Deutsche Welle. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/4cQvxxkT>.
2. Vtumani. Adiabatychne okholodzhennia chileriv, draikulery [Elektronnyi resurs] / Vtumani. – 2020. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/AcLsQLA>.
3. Vencon. Shcho take kholodna stelia i yak vona pratsiuie [Elektronnyi resurs] / Vencon. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/gcLdYiR>.
4. TopClimat. Shcho take absorbttsiia kholodylni mashyny [Elektronnyi resurs] / TopClimat. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/RcLd66I>.
5. Shkola dlia elektryka. Element Peltie - yak vlashtovanyi i pratsiuie, yak pereviryty i pidkliuchyty [Elektronnyi resurs] / Shkola dlia elektryka. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/ScLgoQw>.
6. Elektrosam. Elementy Peltie. Robota i zastosuvannia. Zvortnii efekt [Elektronnyi resurs] / Elektrosam. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/scLgkeu>.
7. Rozrobka systemy keruvannia zhyttiezabezpechenniam "Rozumnyi budynok". // Vseukrainskyi konkurs studentskykh robit. – 2014.
8. Kondytsioner na bazi elementa Peltie / M. V. Chusovytyin, O. L. Naumov., 2018. – 13 s.
9. Nair A. REVIEW PAPER ON THERMOELECTRIC AIR-CONDITIONER USING PELTIER MODULES / Anu Nair. // International Journal of Mechanical Engineering (IJME). – 2015. – С. 49–56.

Tarasov V.R., Sotnikova T.G. Analysis of the current state of room cooling systems

The paper investigated alternative types of climate formation systems based on such types of cooling systems as: adiabatic cooling; cold ceiling; absorption refrigeration machine using lithium bromide; system using the Peltier element. A scheme is proposed and developed, which takes into account the shortcomings of the considered systems. The proposed system has a simple design, more environmentally friendly, it has no refrigerant. The number of Peltier elements required for the formation of a given temperature in the room is calculated. The development of alternative cooling systems is a very important issue today. In residential areas, there is a widespread demand for air conditioners using freon as a refrigerant. These systems are not reliable due to the risk of freon leakage. There is also a problem that the air conditioner is a source of high humidity, which in turn causes the growth of bacteria and fungi. Along with the tightening of sanitary requirements for living quarters and living quarters and bans on the use of old varieties of CFCs, scientists and manufacturers have been forced to look for new, more environmentally friendly types of refrigeration without the use of CFCs. These include: the use of water and its solutions as refrigerants; use of the difference of ambient temperatures; heat pumps based on the Peltier effect.

As a result of research it was found that it is better to use the Peltier element to cool the room, as it is environmentally friendly (no emissions of CO₂, CO, CFH₃, CFCI₂), no mechanical parts. To cool a room of 10 m² requires about 8 pcs. It is better to use accurate temperature sensors for precise system control.

The obtained data are useful and important: it is proved that the system using the Peltier element can work on cold generation; The proposed calculations are universal because it has the ability to calculate the power of Peltier elements.

The use of the Peltier element will allow you to use the power of the sun to reduce the negative effects on humans, in particular the effects of high temperatures.

Key words: *alternative cooling systems, absorption refrigeration machine, Peltier element.*

Тарасов Володимир Русланович – аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, асистент кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, tarasov_v@snu.edu.ua

Сотнікова Тетяна Генадіївна – к.т.н., доц. кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.

Стаття подана 12.08.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-47-60>

УДК 622.7:541.6

ПРО ВИБІР ПОКАЗНИКІВ СТУПЕНЯ МЕТАМОРФІЗМУ ВУГІЛЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАХТОПЛАСТУ

Антощенко М.І., Руднєв Є.С., Філатьєва Е.М., Мелконова І.В., Мелконов Г.Л.

ON THE SELECTION OF INDICATORS OF THE DEGREE OF COAL METAMORPHISM FOR THE FORECAST OF DANGEROUS PROPERTIES OF SHAKTOPLAST

Antoshchenko M.I., Rudniev Y.S., Filatyeva E.M., Melkonova I.V., Melkonov H.L.

Ідея роботи полягає у вивченні статистичних моделей окремих показників пилоутворювальної здатності вугільних шахтопластів, відомих з нормативно-довідкових даних за якістю і властивостями викопного вугілля. Зокрема в посібнику [4] наведені дані (каталог) про пилоутворювальні здатності більш ніж для двох тисяч шахтопластів. Чинниками першого блоку, що визначають склад і властивості вугілля є вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря (V^{daf}), вологість вугілля (W), вміст пилу в відбитому вугіллі (N) і питоме пилотидлення (q). Крім цих показників першого блоку, при визначенні груп пластів за пиловим фактором враховувалися фактори другого блоку - потужність пласта (m) та кут його падіння (α) з градацією відповідно до 35° і більше 35° [4]. По своїй суті значення застосовуваних показників першого блоку (V^{daf} , W , N , q) є наслідком впливу метаморфічних процесів перетворення вугільних шахтопластів, а другого (α , m) - відносяться до гірничо-геологічними умовами залягання пластів. Статистичні моделі розподілу цих факторів дозволяють встановити зв'язки між ними і можливість їх використання для вдосконалення прогнозу пилоутворення та інших небезпечних властивостей шахтопластів.

Ключові слова: шахтопласт, властивості, пилоутворення, волога, метаморфізм, нормативні документи.

Вступ. До теперішнього часу прогноз виникнення можливих небезпечних явищ при відпрацюванні вугільних пластів і ефективна реалізація профілактичних заходів щодо недопущення аварійних ситуацій в підземних умовах залишається до кінця не вирішеною науково-практичною проблемою для вугільної промисловості України і всіх вугледобувних країн світу. Прояв небезпечних властивостей вугільних шахтопластів полягає у виділенні вибухових газів, раптових викидах вугілля і газу, виникненні вогнищ самозаймання вугілля, підвищеному

виділенні пилу і її вибуховості і деякі інші явища, що відбуваються при веденні гірських робіт.

Аналіз діючої нормативно-правової бази щодо безпечного ведення гірничих робіт у вугільних шахтах [1-7] показує, що всі небезпечні прояви шахтопластов при веденні гірських робіт виникають під впливом, щодо незалежних між собою за своєю природою, трьох блоків факторів, що впливають.

Фактори першого блоку характеризують склад, хімічну активність і фізико-механічні властивості вугілля на різних стадіях метаморфічних перетворень пластів.

До другого блоку факторів, що впливають відносяться гірничо-геологічні умови залягання пластів. Він включає розташування вугільних пластів відносно один одного, глибину їх залягання, потужність і кут падіння, властивості порід, що вміщують, наявність геологічних порушень і інші особливості, що визначають вибір можливих технологічних параметрів ведення гірських робіт.

На підставі інформації про фактори першого і другого блоків на стадіях проектування і експлуатації вугільного підприємства приймаються ті чи інші технічні рішення про способи розтину і підготовки до експлуатації вугільного родовища. Вони визначають технологію проведення гірничих виробок, особливості ведення робіт в очисних і підготовчих вибоях, схеми їх провітрювання, транспорт вугілля і породи, доставку людей і матеріалів і деякі інші операції, необхідні для здійснення нормального функціонування вугільного підприємства.

Рівень безпечної експлуатації вугільного родовища, виходячи з логічних міркувань, повинен визначатися за оптимальними співвідношенням між параметрами всіх трьох блоків факторів, що впливають. В кінцевому підсумку безпеку ведення гірських робіт залежить від параметрів факторів третього

блоку, значення яких закладаються в технологічну схему функціонування вугільного підприємства на підставі даних про фактори першого і другого блоків. Гірничо-геологічні умови, що характеризуються факторами другого блоку, в більшості випадків достовірно відомі на підставі даних геологічної розвідки вугільного родовища. Найменш вивченими на прояви небезпечних властивостей шахтопластів є чинники першого блоку, що характеризують їх перетворення при метаморфічних процесах в надрах Землі. Така ситуація склалася внаслідок відсутності можливості, в більшості випадків, проведення необхідних експериментів безпосередньо при виникненні аварій. В деякій мірі винятком є можливість вивчення факторів, що визначають пилоутворення при веденні гірських робіт.

Пилоутворювальна здатність шахтопластів це практично єдиний негативний і небезпечний їх прояв, який можна оцінити при веденні гірських робіт з використанням безпосередніх чинників до виникнення аварійних ситуацій. Не викликає сумнівів, що пилоутворювальна здатність пов'язана з дробильністю вугілля, а вона, в свою чергу, визначає ендегенну пожежонебезпеку шахтопластів [8]. Аварійність і травматизм на високопродуктивних вугільних шахтах України за останні роки показав, що катастрофічні вибухи метану і вугільного пилу супроводжувалися пожежами [9, 10]. При цьому аварії носили комплексний характер, при якому реалізовувалось кілька небезпечних явищ: газо- і пиловиділення, раптові викиди вугілля і газу, пожежі. З огляду на наведені факти взаємозв'язку прояви небезпечних властивостей шахтопластів і аварій, що відбулися, вивчаючи процеси пилоутворення і встановивши впливаючі на них фактори, можна в цілому судити про можливість прояву інших небезпечних властивостей шахтопластів при веденні гірських робіт.

Мета дослідження - встановити, виходячи з пилоутворювальної здатності вугілля при його відбою, показники ступеня метаморфізму, які необхідні для прогнозу взаємопов'язаних між собою небезпечних властивостей шахтопластів при веденні гірських робіт, тобто виявити впливають фактори першого блоку.

Методика проведення досліджень заснована на вивченні статистичних моделей чинників, що визначають пилоутворювальну здатність шахтопластів згідно каталогу [4].

Результати дослідження. В даний час відомо більше 20 кваліфікаційних показників для встановлення ступеня метаморфічних перетворень вугілля. Для встановлення небезпечних властивостей шахтопластів в нормативних базах, що регламентують їх безпечно відпрацювання, використовується в загальному випадку від одного до трьох показників. Наряду з цим, при визначенні небезпечних властивостей недопустима взаємозамінність застосовуваних показників. Це обумовлено тим, що кожен з класифікаційних показників відображає одну, характерну

тільки для нього сторону перетворення вихідної органічної речовини. Між окремими показниками, як правило, відсутній тісна прямо або обернено пропорційна взаємозалежність [11]. Ця обставина не брала до уваги при розробці всіх нормативних документів в цілому і, при оцінці пилоутворювальної здатності вугілля зокрема [4, 12]. З цієї причини помилково ставили знак рівності між оцінкою ступеня метаморфізму за марочною приналежності вугілля, виходу легких речовин (V^{daf}), вологою (W^*) і пилоутворювальною здатністю шахтопластів (N, q). В результаті такого підходу до взаємозамінності показників ступеня метаморфізму виникли протиріччя в кількісній оцінці окремих факторів на процеси пилоутворення. Наприклад, стверджується [12], що метаморфізм (марка вугілля) при однофакторній схемі з імовірністю 0,99 на 85% визначає запиленість повітря, а опір різанню на 49,8% і пластова вологість вугілля на 10,6%. Паралельно з цим наведено дані трехфакторного дисперсного аналізу при угрупованні марки вугілля - опору різання - вологість. Згідно з ним вплив марки на запиленість повітря несуттєва, а відмінність запиленості повітря і пилоутворювальної здатності вугілля в ряду метаморфізму визначається їх міцністю і вологістю. Разом з цим при визначенні залежності питомого пиловиділення вироблено групування шахтопластів за значеннями V^{daf} , відповідним певним маркам вугілля. Таке групування не є коректним і науково обгрунтованим з наступних причин:

- згідно ГОСТ [13] марка - це умовне позначення різновидів вугілля, близьких за генетичними ознаками і основним енергетичним і технологічними характеристиками;

- значення V^{daf} однозначно не визначає марку вугілля. Згідно ГОСТ [14] V^{daf} використовується для встановлення марочного складу вугілля тільки в обмеженому діапазоні від 8% до 40% зміни цього показника. При $V^{daf} < 8\%$ цей показник для антрацитів замінений на об'ємний вихід легких речовин (V_v^{daf}), а при $V^{daf} > 40\%$ - на максимальну вологоємність (W_{max}) для розмежування марок на кам'яне і буре вугілля.

З наведених даних випливає, що максимальна вологоємність (W_{max}), як і вихід летючих речовин (V^{daf}), є самостійним показником однієї зі сторін ступеня метаморфізму вугілля. За аналогією до показників метаморфічних перетворень вугілля, очевидно, відносяться вміст пилу в відбитому куті (N) і питоме пиловиділення (q). Вони відображають зовсім інші властивості вугілля в порівнянні з показниками V^{daf} і W_{max} . Крім розглянутих показників першого блоку (V^{daf}, W_{max}, N, q) при складанні каталогу [4] враховувався вплив на пилоутворення потужності пластів (m) і кутів їх падіння (α). По своїй суті ці показники не можуть безпосередньо впливати на схильність шахтопластів до пилоутворення. Вони відносяться до другого блоку чинників, що ха-

рактизують тільки гірничо-геологічні умови, згідно з якими виробляють вибір технології та оснащення вибоїв відповідними засобами відбою вугілля. Таке припущення підтверджується і авторами роботи [12] за результатами оцінки запиленості повітря. Вплив потужності пласта ними оцінено в 4,1%, а кута падіння - в 1,0%. Ця оцінка не суперечить результатам роздільної статистичної обробки даних каталогу [4] залежно N і q від потужності пластів пологого і крутопадаючими залягання (рис. 1).

У всіх випадках помітних кореляційних зв'язків між розглянутими показниками не встановлено, як для пологого залягання пластів ($\alpha < 35^\circ$), так і для крутопадаючих ($\alpha > 35^\circ$). Значення коефіцієнтів кореляції (r) залежностей N та q від потужності пластів складають у всіх випадках менше 0,2. Відсутність реальних залежностей не дозволяють встановити різницю впливу потужності пластів на пилоутворювальну здатність при відпрацюванні як пологих, так і крутозалегаючих пластів. Згідно ж зі статистичними моделями (табл. 1) відмінність сукупності пологих пластів згідно каталогу [4] від сукупності пластів крутого падіння істотно відрізняються тільки середньою потужністю пластів (\bar{m}). При загальній кількості 1372 пологих шахтопластів їх середня потужність (\bar{m}) складає 1,30 м, а крутого падіння - 0,85 м. За іншими параметрами статистичні моделі розподілу потужності шахтопластів для пологого і крутопадаючого залягання мало відрізняються між собою (табл. 1, рис. 2). Це, на додаток до відсутності кореляційних залежностей (рис. 1), не дає підстав вважати гірничо-геологічні чинники m та α , безпосередньо визначальними пилоутворювальною здатність шахтопластів.

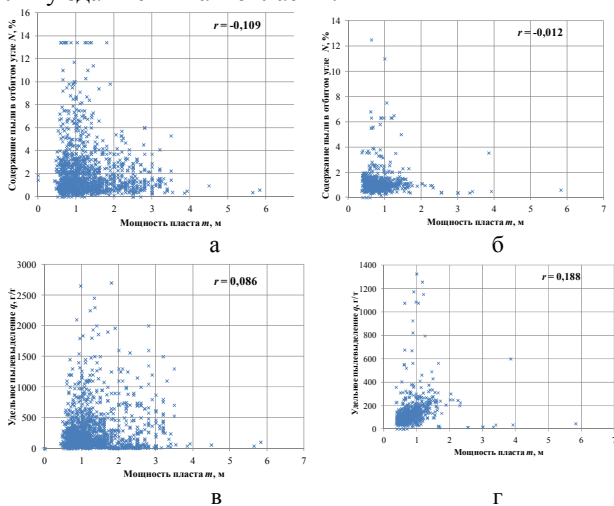


Рис. 1. Залежність змісту пилу у відбитому куті (N) і питомого пиловиділення (q) від потужності пластів (m) відповідно для пологого (а, в) і крутопадаючого (б, г) їх залягання:

× - дані згідно каталогу [4]; r - коефіцієнт кореляції

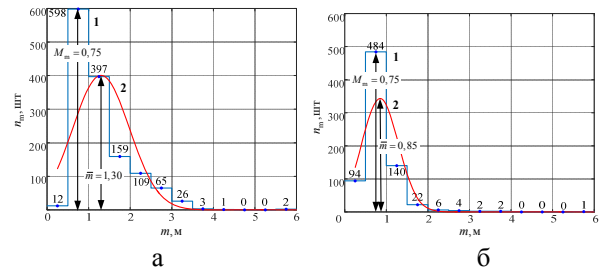


Рис. 2. Гістограми фактичного розподілу і теоретичні криві нормального розподілу випадкової величини потужності шахтопластів для пологого (а) і крутопадаючих (б) їх залягання згідно каталогу [4]:

- 1 – криві фактичних гістограм розподілу;
- 2 – теоретичні криві нормального розподілу;
- n_m – кількість даних у відповідних інтервалах розподілу шахтопластів по їх потужності (m);
- \bar{m} – середня потужність шахтопластів, м;
- M_m – мода для гістограм фактичного розподілу

Таке припущення побічно підтверджується схожим характером розподілу по потужності (m) і однаковими їх модами ($M_m = 0,75m$) для шахтопластів пологого і крутопадаючого залягання (рис. 2). Виходячи з порівняння критичних значень критеріїв Пірсона ($\chi^2_{кр}$) і їх величин для зазначених виборок ($\chi^2_{в}$), в обох випадках розподілу, не підкоряються нормальному закону розподілу (табл. 1). В обох випадках на це вказують співвідношення $\chi^2_{в} \square \chi^2_{кр}$.

Не встановлені помітні залежності змісту пилу в відбитому куті (N) і питомого пиловиділення (q) і від виходу летких речовин як для пологого (рис. 3, а), так і для крутопадаючого (рис. 3, б) залягання пластів. Коефіцієнти кореляції для пластів пологого падіння становили $r = -0,341 \div -0,345$, а для крутопадаючого залягання вони були близькі до нуля ($r = -0,010 \div 0,040$). Деякі відмінності в коефіцієнтах кореляції для пластів з різними кутами їх залягання пояснюються різними статистичними моделями їх розподілу за показником V^{daf} .

Максимальна кількість шахтопластів (255) пологого падіння знаходилося в інтервалі зміни виходу летючих речовин 40–45% ($M_l = 42,5\%$), що відповідає досить близькій їх розташуванню до максимально можливих значеннях V^{daf} для кам'яного вугілля (рис. 4, а). Поряд з цим в протилежний інтервал від 0 до 5%, відповідним мінімально можливих значеннях V^{daf} для кам'яного вугілля і антрацитів, потрапило також істотна кількість шахтопластів (217). Така концентрація значної кількості шахтопластів пологого падіння в протилежних кінцях ряду розподілу істотно відрізняється від фактичної гістограми розподілу крутопадаючих пластів (рис. 4, б). У інтервал значень V^{daf} від 0 до 5% потрапило всього 9 крутопадаючих шахтопластів. Це свідчить про те, що основною відмінністю шахтопластів пологого падіння від крутопадаючих по фактору V^{daf} є істотна

Таблиця 1

Статистичні моделі розподілу шахтопластів по їх потужності (m) при визначенні пилоутворювальної здатності вугілля [4]

залягання пластів	сукупність вибірок	Значення m в вибірках, %				Обсяг сукупності даних, шт	Показники математичної статистики рядів розподілу						критерій Пірсона	
		мінімальне	максимальне	середнє	Мода,		Розмах, %	дисперсія	Середнє квадратичне відхилення,	Коефіцієнт варіації, частки	асиметрія	ексцес	критичне значення	вибірки
		m_{\min}	m_{\max}	\bar{m}	M_m		n_m	R_m	D_m	σ_m	k_v	A_s	E_K	$\chi^2_{кр}$
пологе	шахтопластів всіх родовищ	0,31	5,83	1,30	0,75	1372	5,52	0,47	0,683	0,52	1,58	3,39	16,919	$1,56 \times 10^7$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,31	3,00	0,99	0,7	984	2,69	0,11	0,332	0,33	1,08	1,51	21,026	516,536
круте	шахтопластів всіх родовищ	0,35	5,83	0,85	0,75	755	5,48	0,19	0,439	0,52	4,17	31,63	16,919	$3,5 \times 10^{24}$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,35	4,50	0,82	0,7	745	4,15	0,11	0,332	0,41	2,14	10,9	31,410	$4,4 \times 10^{16}$
Пологе і круте	шахтопластів всіх родовищ	0,31	5,83	1,14	0,6	2127	5,52	0,42	0,646	0,57	1,96	5,62	16,919	$1,53 \times 10^9$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,31	4,50	0,92	0,75	1729	4,19	0,12	0,346	0,37	1,38	4,43	23,685	$6,7 \times 10^{13}$

різниця в кількості відпрацьовуваних антрацитових і полуантрацитових шахтопластів. Якщо брати до уваги, що до цієї категорії відносяться шахтопласти при значеннях $V^{daf} < 10\%$, то при пологому заляганні відпрацьовувалось в три рази більше шахтопластів з більш високим ступенем метаморфічних перетворень вугілля в порівнянні з крутопадаючих заляганням. Так в діапазоні V^{daf} від 0 до 10% знаходилося 299 шахтопластів пологого залягання, в кількість крутопадаючих в цьому діапазоні склало тільки 100 (рис. 4).

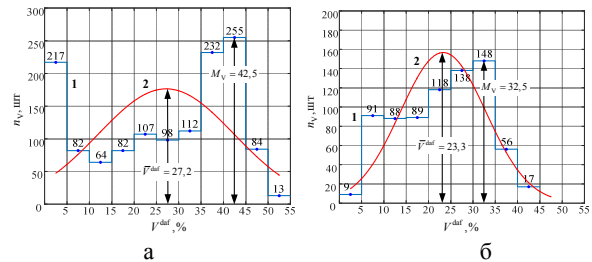


Рис. 4. Гістограми фактичного розподілу і теоретичні криві нормального розподілу випадкової величини виходу летючих речовин (V^{daf}) для пологого (а) і крутопадаючого (б) залягання пластів згідно каталогу [4]:

- 1 – криві фактичних гістограм розподілу;
- 2 – теоретичні криві нормального розподілу;
- n_v – кількість даних у відповідних інтервалах розподілу шахтопластів по їх виходу летючих речовин (V^{daf});
- \bar{V}^{daf} – середній вихід летючих речовин, %;
- M_v – мода для гістограм фактичного розподілу

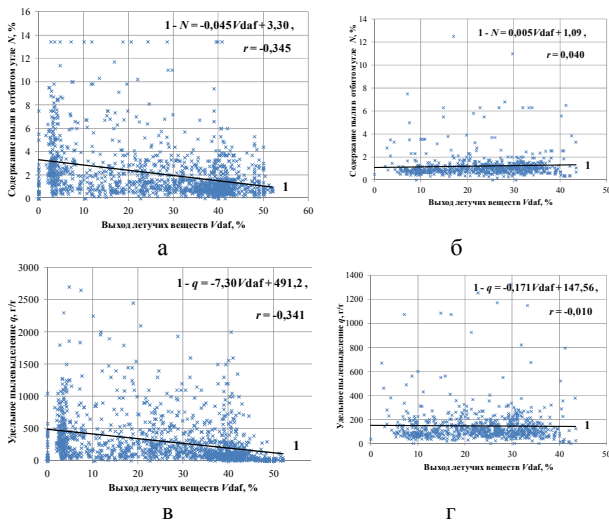


Рис. 3. Залежність змісту илу в відбитому куті (N) і питомого пилотвиділення (q) від виходу летючих речовин (V^{daf}) відповідно для пологого (а, в) і крутопадаючого (б, г) залягання пластів: x - дані згідно каталогу [4]; r - коефіцієнт кореляції

Така відмінність наочно видно по розташуванню більшості значень N і q тільки уздовж осі абсцис (V^{daf}) для шахтопластів крутого падіння (рис. 3, б). В обох випадках усереднюються прямі (1) майже паралельні осі абсцис, що зумовлює практичну сталість значень N і q відповідно в діапазонах 0÷2% і 0÷200г/т незалежно від значень V^{daf} , а коефіцієнти кореляції - близькими до нуля.

Аналогічним чином більшість значень N і q групуються уздовж осі абсцис (V^{daf}) і для шахтопластів пологого падіння (рис. 3, а). На відміну від крутопадаючих пластів є значна кількість даних N і q, які розташовуються відповідно уздовж осей ординат

(N і q) при $V^{daf} < 10\%$. Такий розподіл уздовж осей ординат значень N і q не спостерігалось для крутопадаючих пластів через незначного їх кількості зі значеннями $V^{daf} < 10\%$. Наявність щодо великої кількості шахтопластів пологого падіння зі значеннями $V^{daf} < 10\%$ і переважне розташування значень N і q в цьому випадку уздовж осей ординат (рис. 3, а) викликало деякий нахил усереднюючих прямих (1) а осі абсцис (V^{daf}). Негативні і невисокі значення коефіцієнтів кореляції ($-0,341 \div -0,345$) свідчать про незначну тенденцію до зниження пилоутворення (N і q) при збільшенні показника V^{daf} у всьому діапазоні зміни його значень, практично від нуля і до 54,0%. Це вказує на те, що показник V^{daf} практично не характеризує пилоутворювальну здатність (N і q) шахтопластів як пологого, так і крутопадаючого залягання. Відмінність між цими сумами полягає в малій кількості шахтопластів крутопадаючими падіння з $V^{daf} < 10\%$. Це призвело до деяких відмінностей статистичних моделей розподілу шахтопластів по фактору V^{daf} (рис. 4, табл. 2). Зокрема вони полягають в різних середніх значеннях \bar{V}^{daf} і мод M_V . Для пологого падіння ці показники відповідно рівні 27,2 і 42,5%, а для крутопадаючих пластів - 23,3 і 32,5% (табл. 2). За співвідношенням критичних величин критерію Пірсона ($\chi_{кр}^2$) зі значеннями критеріїв розглянутих вибірок ($\chi_{в}^2$), немає підстав вважати розподіл шахтопластів пологого і крутопадаючого залягання по фактору V^{daf} , підпорядковується законам нормального розподілу.

Основною причиною невідповідності розподілу шахтопластів пологого залягання нормальному закону є групування аномально значної кількості шах-

топластів на початку і кінці ряду ранжирування по фактору V^{daf} .

Для шахтопластів крутопадаючого залягання основна відмінність від нормального закону розподілу полягало тільки в істотному перевищенні модою (32,5%) середніх значень \bar{V}^{daf} . Це відповідає переважному розташуванню фактичної кількості шахтопластів в інтервалах i -х значень, які перевищують \bar{V}^{daf} .

Наведений аналіз статистичних моделей показника V^{daf} також не підтвердив істотних відмінностей пилоутворювальної здатності (N і q) між шахтопластами пологого і крутопадаючого їх залягання. На правомірність такого висновку додатково вказують графіки взаємозалежності між q і N . Вони характеризуються близькими залежностями (прямі 1) для шахтопластів пологого (рис. 5, а) і крутопадаючого залягання (рис. 5, б) і, досить високими коефіцієнтами кореляції (r), відповідно рівними 0,819 та 0,863.

Істотні значення r для взаємозалежностей між q і N свідчить про те, що вони визначаються в більшій мірі іншими, приблизно однаково впливають факторами, що не залежать від потужності пластів, кутів їх залягання і виходу летких речовин. На цю обставину вказують також схожі гістограми фактичного розподілу показників N і q як для шахтопластів пологого залягання (рис. 6), так і для крутопадаючого (рис. 7). За критерієм Пірсона розподілу пластів пологого і крутопадаючого залягання за показниками N і q не підкоряються нормальному закону (табл. 3 і 4) через недотримання необхідної умови нерівності $\chi_{кр}^2 > \chi_{в}^2$.

Таблиця 2

Статистичні моделі розподілу шахтопластів по виходу летких речовин (V^{daf}) при визначенні пилоутворювальної здатності вугілля в залежності від кута залягання пластів [4].

Залягання пластів	Сукупність вибірок	Значення V^{daf} в вибірках, %				Обсяг сукупності даних, шт	Показники математичної статистики рядів розподілу						Критерій Пірсона	
		Мінімальне	Максимальне	Середнє	Мода,		Розмах, %	Дисперсія	Середнє квадратичне відхилення,	Коефіцієнт варіації, частки	Асиметрія	Експес	критичне значення	вибірки
полого	шахтопластів всіх родовищ	1,3	54,0	27,2	42,5	1346	52,7	231,6	15,22	0,56	-0,37	-1,27	15,507	1021,232
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	1,3	49,0	23,1	32,5	978	47,7	223,5	15,02	0,65	-0,10	-1,57	14,067	982,319
круте	шахтопластів всіх родовищ	2,3	43,4	23,3	32,5	754	41,1	92,2	9,60	0,41	-0,19	-0,98	12,592	113,328
	Шахтопластів Донбасу	2,3	43,4	23,1	32,5	754	41,1	90,14	9,49	0,41	-0,20	-0,99	14,067	124,117
полого і круте	шахтопластів всіх родовищ	1,3	54,0	25,8	37,5	2100	52,7	185,0	13,60	0,53	-0,21	-1,12	15,507	587,269
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	1,3	49,0	23,1	32,5	1723	47,7	166,9	12,91	0,56	-0,12	-1,2	14,067	570,303

Таблиця 3

Статистичні моделі розподілу шахтопластів за змістом пилу (N) в відбитому куті в залежності від кута залягання пластів [4]

Залягання пластів	Сукупність вибірок	Значення N в вибірках, %				Об'єм сукупності даних, шт	Показники математичної статистики рядів розподілу						Критерій Пірсона	
		мінімальне	мінімальне	середнє	Мода,		Розмах, %	Дисперсія	Середньоквадратичне відхилення,	Коефіцієнт варіації, доли	асиметрія,	Екссес,	критичне значення	вибірки
		N_{\min}	N_{\max}	\bar{N}	M_N		R_N	D_v	σ_v	k_v	A_s	E_k		
пологе	шахтопластів всіх родовищ Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,09	13,43	2,13	0,50	1363	13,34	4,68	2,164	1,02	2,56	8,20	19,675	$6,7 \times 10^5$
	шахтопластів Донбасу	0,09	13,43	2,29	0,75	976	13,34	5,76	2,408	1,05	2,37	6,48	36,415	$7,1 \times 10^4$
круте	шахтопластів всіх родовищ Донбасу	0,17	12,50	1,21	0,50	752	12,33	1,06	1,031	0,85	5,28	38,74	18,307	$4,1 \times 10^{23}$
	шахтопластів Донбасу	0,17	12,50	1,22	0,75	742	12,33	1,07	1,034	0,85	5,29	38,62	33,924	$3,9 \times 10^{22}$
пологе і круте	шахтопластів всіх родовищ Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,09	13,43	1,80	0,5	2115	13,34	3,59	1,894	1,05	3,09	12,10	19,675	$7,3 \times 10^7$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,09	13,43	1,83	0,5	1718	13,34	4,02	2,005	1,10	3,08	11,42	19,675	$1,1 \times 10^7$

Таблиця 4

Статистичні моделі розподілу шахтопластів по питомій пиловиділенню (q) при визначенні пилоутворювальної здатності [4]

Залягання пластів	Сукупність вибірок	Значення N в вибірках, %				Об'єм сукупності даних, шт	Показники математичної статистики рядів розподілу						Критерій Пірсона	
		мінімальне	мінімальне	середнє	Мода,		Розмах, %	Дисперсія	Середньоквадратичне відхилення,	Коефіцієнт варіації, доли	асиметрія,	Екссес,	критичне значення	вибірки
		N_{\min}	N_{\max}	\bar{N}	M_N		R_N	D_v	σ_v	k_v	A_s	E_k		
пологе	шахтопластів всіх родовищ Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	1,0	2700	299,	50,0	1364	2699	127007	356,4	1,19	2,52	8,44	36,415	$7,5 \times 10^7$
	шахтопластів Донбасу	2,5	2700	301,3	50,0	976	2697,5	125952	355	1,18	2,82	10,6	36,415	$1,2 \times 10^8$
круте	шахтопластів всіх родовищ Донбасу	12,0	2400	144,6	50,0	750	2388	19341	139,1	0,96	4,75	29,63	32,671	$9,6 \times 10^{18}$
	шахтопластів Донбасу	14,0	2400	146,2	50,0	740	2386	19398	139	0,95	4,76	29,6	32,671	$7,8 \times 10^{13}$
пологе і круте	шахтопластів всіх родовищ Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	1,0	2700	244,2	50,0	2114	2699	94246	307	1,26	3,08	12,70	36,415	$3,2 \times 10^{11}$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	2,5	2700	234,4	50,0	1716	2697,5	85868	293	1,25	3,54	16,9	36,415	$9,8 \times 10^{12}$

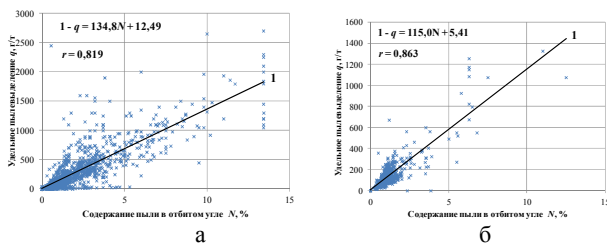


Рис. 5. Взаємозалежність питомого пиловиділення (q) і змісту пилу в відбитому куті (N) для умов пологого (а) і крутопадаючого (б) залягання пластів: 1 – усереднюються прями; × – дані згідно каталогу [4]; r – коефіцієнти кореляції

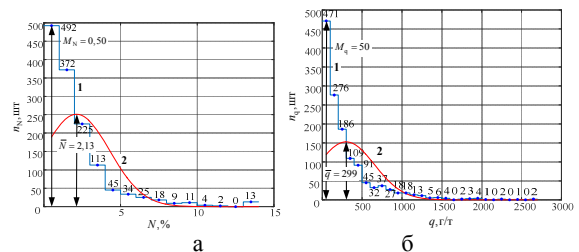


Рис. 6. Гістограми фактичного розподілу і теоретичні криві нормального розподілу випадкової величини вмісту пилу (N) в відбитому куті (а) і питомого (q) пиловиділення (б) для шахтопластів пологого залягання згідно каталогу [4]: 1 – криві фактичних гістограм розподілу; 2 – теоретичні криві нормального розподілу; n_N, n_q – кількість даних в інтервалах розподілу шахтопластів відповідно за показниками (N) і (q); \bar{N}, \bar{q} – відповідно середні значення вміст пилу в відбитому куті (%) і питомого пиловиділення (г/т); M_N, M_q – мода для гістограм фактичного розподілу (N) і (q)

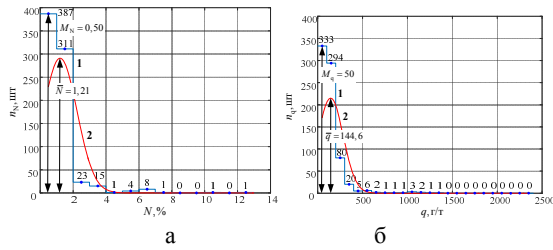


Рис. 7. Гістограми фактичного розподілу і теоретичні криві нормального розподілу випадкової величини вмісту пилу (N) в відбитому куті (а) і питомого (q) пиловиділення (б) для шахтопластів крутопадаючими залягання згідно каталогу [4]: 1 – криві фактичних гістограм розподілу; 2 – теоретичні криві нормального розподілу; n_N, n_q – кількість даних в інтервалах розподілу шахтопластів відповідно за показниками (N) і (q); \bar{N}, \bar{q} – відповідно середні значення вміст пилу в відбитому куті (%) і питомого пиловиділення (г/т); M_N, M_q – моди для гістограм фактичного розподілу (N) і (q)

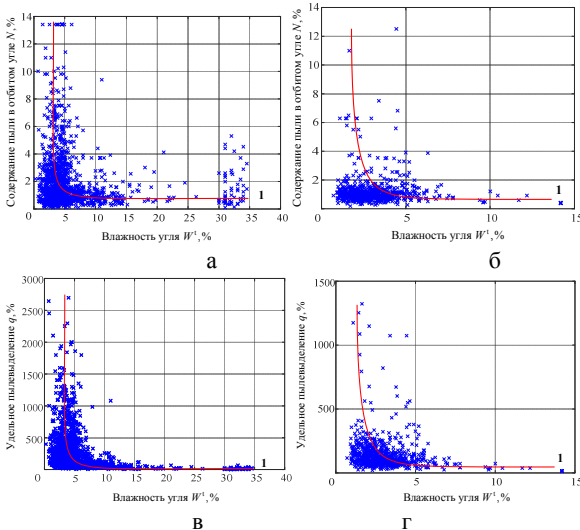


Рис. 8. Залежність змісту пилу в відбитому куті (N) і питомої пиловиділення (q) від вологості (W) відповідно для пологого (а, в) і крутопадаючих (б, г) залягання пластів: 1 – криві передбачуваних залежностей; \times – дані згідно каталогу

Встановлено [12], що одним з основних чинників, що визначає запиленість повітря, є залежна, на думку авторів, від метаморфізму вугілля його вологість (W^t). Критеріями оцінки метаморфізму для цього випадку розглядалися частково взаємозалежні між собою показники - марка вугілля (M) і вихід летючих речовин (V^{daf}). Характер групування переважної більшості даних N і q вздовж осей абсцис і ординат, при розгляді залежностей цих показників від вологості (рис. 8), аналогічне групування переважної більшості даних уздовж координатних осей при розгляді графіків впливу V^{daf} на показники пилоутворення (рис. 3). Це вказує на деяку взаємозалежність між показниками V^{daf} і W^t , але вплив W^t на пилоутворювальну здатність шахтопластів (N і q) дещо відрізняється від впливу V^{daf} . Головна відмінність полягає в більш щільній концентрації основного кількості

ті даних N і q уздовж координатних осей і менший розкид експериментальних даних при розгляді графіків впливу вологості (рис. 8). Таке переважне розташування даних уздовж координатних осей свідчить про залежність N і q від W^t , близькою до рівнобочної гіперболи (1) для пластів як пологого, так і крутопадаючим залягання.

Статистичні моделі розподілу шахтопластів за показником вологості вугілля для пологого і крутопадаючого залягання виявили їх істотні відмінності (табл. 5, рис. 9). Головне з них полягає в різних значеннях вологості між сумами шахтопластів пологого і крутопадаючого залягання. Для пластів пологого залягання, незважаючи на наявність великої кількості антрацитових і полуантрацитових шахтопластів їх середня вологість характеризується досить високим значенням (6,3%). Кути крутопадаючих пластів, при відсутності значної кількості антрацитових і полуантрацитових пластів, навпаки, містили в середньому вологи більш ніж в два рази менше (3,1%). Таке співвідношення вмісту води між шахтопластів пологого і крутопадаючого залягання не могло не позначитися на відмінностях в їх схильності до пилоутворювальної здатності. При цьому необхідно врахувати більш високу ступінь метаморфічного перетворення вугілля крутопадаючих пластів, якщо для цих цілей використовувати вихід летючих речовин. Відповідно до статистичних моделей (рис. 4) середнє значення \bar{V}^{daf} складає 23,3% для пластів крутопадаючого залягання, а для пологого - 27,2%. Таке удаване протиріччя між вмістом води і ступенем метаморфізму перетворення вугілля пластів пологого і крутопадаючого залягання пояснюється графіками взаємозалежності між W^t і V^{daf} (рис. 10). При пологому заляганні пластів зміна V^{daf} відбулася практично від нуля до 54% (рис. 10) і в окремих інтервалах значень цього показника знаходилося достатня кількість даних, необхідних для статистичного аналізу. При розгляді шахтопластів крутопадаючого залягання спостерігалось їх обмежена кількість при $V^{daf} < 5\%$ (9) і $V^{daf} > 40\%$ (17), що безсумнівно позначилося на кореляційній взаємозалежності між V^{daf} і W^t . Залежність між цими параметрами носить неоднозначний характер (рис. 10). Спочатку при переході від бурого вугілля до кам'яного ($V^{daf} < 40\%$) спостерігається зниження вологості, а потім вона дещо зростає у антрацитових і полуантрацитових пластів. При цьому є значний розкид даних від усереднюючих кривих (1).

Обидва показники (V^{daf} і W^t) вважаються класифікаційними і вони офіційно використовуються для встановлення споживчих властивостей вугілля [14]. Їх визначення здійснюється за методиками відповідних ГОСТів [15], що гарантує дотримання ідентичності умов проведення лабораторних випробувань і наперед задану точність визначення кожного показника. Для з'ясування причин істотного відхилення експериментальних даних від передбачуваних усереднюючих кривих (рис. 10), розглянули можливість їх залежності, пов'язану з методиками визначення вологості і виходу летких речовин.

Таблиця 5

**Статистичні моделі розподілу шахтопластов по вологості вугілля (W^A)
при визначенні пилоутворювальної здатності [4]**

Залюгання пластів	Сукупність вибірок	Значення W^A в виборках, %				Обсяг сукупності даних, шт	Показники математичної статистики рядів розподілу						Критерій Пірсона	
		мінімальне	максимальне	середнє	Мода		Розмах, %	Дисперсія	Середнь-оквадратичне відхилення,	Коефіцієнт варіації, част-	Асиметрія,	Експес,	Критичне значення	виборка
		W_{\min}^t	W_{\max}^t	\bar{W}^t	M_W		n_W	R_W	D_W	σ_W	k_W	A_S	E_K	$\chi^2_{кр}$
пологе	шахтопластів всіх родовищ	0,2	34,5	6,3	3,0	1371	34,3	38,9	6,24	0,99	2,98	9,27	24,996	$3,4 \times 10^4$
	шахтопластів Донбасу і Львівсько-Волинського басейну	0,2	22,5	4,5	3,5	982	22,3	7,7	2,77	0,61	1,88	4,69	31,410	$2,5 \times 10^4$
крутоє	шахтопластов всіх родовищ	0,6	14,2	3,1	2,5	755	13,6	3,2	1,78	0,57	2,88	13,13	21,026	$1,5 \times 10^8$
	шахтопластів Донбасу	0,6	12,2	3,0	2,5	745	11,6	2,0	1,41	0,47	1,71	5,94	18,307	$3,4 \times 10^7$
пологоє и крутоє	шахтопластов всех месторождений	0,2	34,5	5,2	3,0	2126	34,3	28,5	5,34	1,03	3,59	14,59	24,996	$1,3 \times 10^6$
	шахтопластов Донбасса и Львовско-Волинского бассейна	0,2	22,5	3,9	2,5	1727	22,3	5,8	2,41	0,62	2,22	7,15	31,410	$6,1 \times 10^4$

Вода у вугіллі знаходиться в різному стані: у вигляді крапель, плівок, молекул, адсорбованих на поверхні, у вигляді капілярної вологи, а також може входити до складу мінеральної частини вугілля [15]. Ці види вологи не рівноцінні по міцності зв'язку між водою і вугіллям і, відповідно мають різні властивості. Механічно найменш міцно пов'язана з вугіллям вільна волога, що залишається на зовнішній поверхні шматків вугілля після змочування їх водою. Ця волога має властивості звичайної води. Адсорбована волога пов'язана із зовнішньою і внутрішньою поверхнями вугілля силами молекулярної взаємодії і, тому за своїми властивостями вона відрізняється від звичайної води. Найбільш міцно утримується вугіллям хімічно зв'язана гидратная волога, яка не видаляється при визначенні вологості вугілля висушуванням і може бути виділена тільки при розкладанні мінеральної частини. Відсутність чітких меж між окремими видами вологи ускладнює їх кількісне визначення.

Для зручності визначення вологи у вугіллі і відповідно до прийнятих на практиці методами аналізу вологу поділяють на вологу зовнішньою і вологу повітряно-сухого палива [15]. Волога зовнішня - частина загальної вологи палива, яка видаляється при його висушуванні до повітряно-сухого стану. Волога повітряно-сухого палива - частина загальної вологи палива, яка залишається в ньому після висушування до повітряно-сухого стану. Для характеристики вологості вугілля в цілому (вологоміст вугілля) використовують термін «волога загальна» - загальний вміст вологи і вологи повітряно-сухого палива.

На практиці паралельно із загальним змістом вологи використовують показник максимальної вологоємності вугілля. Максимальна вологоємність - зміст загальної вологи у вугіллі в стані повного на-

сичення його водою в встановлених стандартом умовах. Стан вугілля з вологістю, яка дорівнює максимальній вологоємності, імітує стан свіжовидбитого вугілля, насиченого водою, з поверхні якого видалена вільна волога.

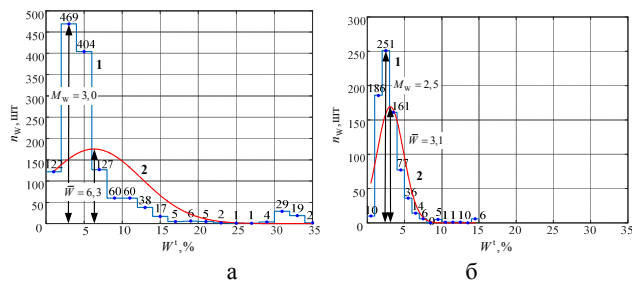


Рис. 9. Гістограми фактичного розподілу і теоретичні криві нормального розподілу випадкової величини вологості (W^A) для пологого (а) і крутопадаючого (б) залюгання пластів згідно каталогу [4]:

1 – криві фактичних гістограм розподілу; 2 – теоретичні криві нормального розподілу; n_W – кількість даних у відповідних інтервалах розподілу шахтопластов по їх вологості (W^A); \bar{W}^t - середня вологість, %;

M_W – мода для гістограм фактичного розподілу

Використовуючи цю обставину, в каталозі [4] для характеристики пилоутворюючих властивостей шахтопластів (N та q) замість загального вмісту вологи в ряді випадків наведені значення максимальної вологоємності (W_{\max}). Данні про W_{\max} для багатьох шахтопластів запозичені з довідника [16]. Можлива похибка спільного використання даних про загальну вологу (W^A) і максимальну вологоємність (W_{\max}) вимагає більш детального вивчення підготовки проб вугілля до лабораторних випробувань в обох випадках.

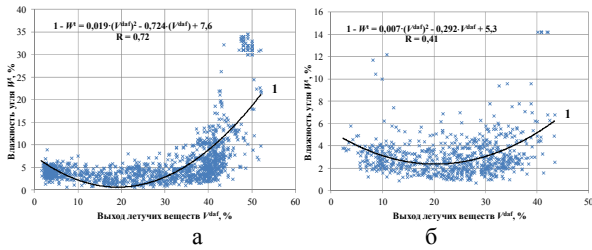


Рис. 10. Графіки взаємозалежності вологості вугілля (W^t) і виходу летких речовин (V^{daf}) для умов пологого (а) і крутопадаючого залягання (б) пластів: 1 – усереднені криві; К – кореляційне відношення; × – експериментальні дані згідно каталогу [4]

Попередньо про можливі відмінності між значеннями W^t [4] та W_{max} [16] можна судити виходячи з графіка взаємозв'язку між цими показниками (рис. 11). Середньоквадратичне відхилення від усереднюються прямих становить 3,54%. Якщо застосовувати для цього випадку правило «трьох сигм», то фактична різниця між W^t та W_{max} може скласти більш ніж 10%. Індивідуальна похибка визначення W^t та W_{max} згідно з відповідними Держстандартам становить не більше 1,5%. Значна різниця в значеннях між W^t і W_{max} , очевидно викликана методиками їх визначення з використанням різних процесів.

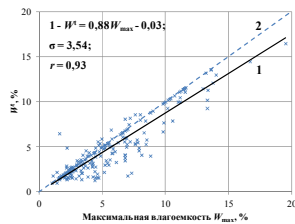


Рис. 11. Взаємозв'язок вологості вугілля W^t [4] і його максимальної вологості W_{max} [16]: 1 – усереднююча пряма; 2 – бісектриса координатної сітки; × – експериментальні дані; σ – середньоквадратичне відхилення; r – коефіцієнт кореляції

Загальну вологу визначають побічно одно- або двоступеневими методами по втраті маси проби при висушуванні в струмі азоту або на повітрі. Висушування в струмі азоту може бути застосовано до всіх видів палива, а висушування на повітрі при 105÷110°C - до палива, стійкого до окислення, яке може відбуватися в умовах визначення. Термін «стійкий до окислення» в даному контексті не має чіткого визначення. Вважається, що вугілля високих стадій метаморфізму стійкі до окислення в процесі сушіння при 105÷110°C. Що стосується бурих і молодого кам'яного вугілля, то їх стійкість або схильність до окислення можна визначити експериментально: якщо в процесі сушіння при 105÷110°C на повітрі маса навішення при контрольних просушування не збільшується, паливо можна віднести до стійким до окислення в цих умовах [15].

Максимальну вологості (W_{max}) визначають після насичення кам'яного вугілля водою і видалення вільної поверхневої вологи фільтруванням і кон-

диціонування вугілля при відносній вологості 96% і температурі 30°C. Максимальну вологості кам'яного вугілля розглядають як масову частку вологи в кондиційованому вугіллі [15]. Точність відповідності між показниками W^t і W_{max} , при розглянутих методах їх визначення вимагає подальшого вивчення.

Сучасна методика визначення показника V^{daf} розроблена для класифікації вугілля по їх споживчими властивостями [14]. Попередньо проби вугілля готуються до лабораторних випробувань. У підготовку проб вугілля входить його подрібнення, видалення вологи і збагачення до зольності, як правило, менш 10% [15]. Такий стан проб не відповідає знаходженню вугілля в виробничих умовах при його видобутку. Зокрема зольність пластової проби, яка визначається мінеральними домішками, може становити понад 40%. Її збагачення свідомо призводить до спотворення отриманих результатів визначення V^{daf} на суху беззольную масу. Отримане таким чином значення V^{daf} цілком адекватно характеризує паливо по його споживчим якостям, але воно не відповідає стану вугілля в виробничих умовах. Отже, у багатьох випадках, використовуючи сучасну методику для характеристики споживчих властивостей вугілля, можуть бути отримані однакові значення V^{daf} для шахтопластів з різною зольністю від декількох до сорока і більше відсотків. Можлива зміна зольності пластових проб після збагачення ілюструється графіком (рис. 12). Ці зміни характеризують відмінні ознаки шахтопластів по зольності вугілля. Їх можна розділити на три групи:

- I - шахтопластів з низьким вихідним зольністю вугілля (у багатьох випадках менше 10%). Їх збагачення, як правило, не проводилося;
- II - шахтопластів з такою ж зольністю вугілля, але вони були збагачені;
- III - всі інші шахтопласти з зольністю вугілля від 10 і більше відсотків із збагаченням проб.

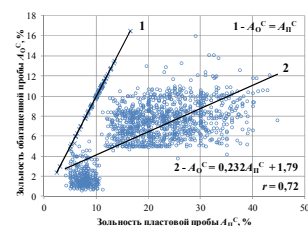


Рис. 12. Залежність зольності збагачених проб вугілля (A_0^C) від зольності пластових проб (A_n^C) для кам'яного вугілля і антрацитів Донецького і Львівсько-Волинського басейнів [16]:

- 1 – усереднююча пряма для незбагачених проб;
- 2 – усереднююча пряма для збагачених проб; × – зольність проб вугілля, збагачення яких не проводилося;
- – зольність збагачених проб; r – коефіцієнт кореляції

Кожна з цих груп шахтопластів характеризується різною точністю визначення V^{daf} через відсутність обліку впливу вихідної зольності проб, а ще

більшою мірою, змісту домішки мінеральних речовин при прогнозуванні небезпечних властивостей шахтопластів.

Тверде паливо всіх видів містить домішка мінеральних речовин, що становить його мінеральну масу. За своїм походженням мінеральні речовини вугілля можна розділити на внутрішні, які були накопичені в процесі освіти пластів вугілля, і зовнішні, що потрапили в паливо при його видобутку з навколишніх порід (покрівлі, ґрунту, прослойков пласта), зміст внутрішніх мінеральних речовин більш-менш постійно для вугілля окремого родовища і мало в порівнянні з зовнішніми мінеральними домішками, зміст яких залежить від способу видобутку вугілля [15].

Мінеральна маса вугілля являє собою суміш різноманітних неорганічних речовин. У більшості випадків її основу складають силікати алюмінію, заліза, кальцію, магнію, натрію, калію. У мінеральній масі вугілля часто зустрічаються дисульфід заліза (нітрит і марказит), карбонати кальцію, магнію (кальцит, доломіт) і заліза (сидерит), сульфати кальцію (гіпс), заліза і алюмінію, оксиди заліза, кальцію, хлориди, а також сполуки рідкісних і розсіяних елементів. В особливу групу виділяють органомінеральні сполуки вугілля - солі гумінових кислот, гумати [15].

При спалюванні палива його органічна маса видаляється у вигляді CO_2 та H_2O , а мінеральні компоненти, піддаючись ряду перетворень, утворюють золу. Зола це неорганічний залишок після повного згоряння вугілля. Маса, що утворюється золи або зольність, залежить від змісту і складу мінеральної маси вугілля, а також умов їх спалювання.

При розгляді реакцій, що відбуваються в мінеральній масі при озоленні вугілля, зроблені загальні висновки [15]:

1. В процесі спалювання вугілля і прожарювання залишку хімічний склад мінеральної маси значно змінюється, тому маса і склад золи ніколи не бувають рівні масі і складу мінеральних речовин. Не можна говорити про зміст золи в паливі, так як зола в паливі не міститься, а утворюється при його спалюванні. Можна говорити тільки про зольності вугілля або виході золи при спалюванні.

2. Серед реакцій, що протікають в мінеральній масі при озоленні вугілля, переважають реакції розкладання, тому зольність вугілля завжди виходить менше, ніж зміст мінеральної маси.

3. Кожна з реакцій протікає на певних стадіях озолення вугілля, в певному інтервалі температур. Відповідно до цього маса і склад золи, отриманої при озоленні одного і того ж вугілля, при різних температурах, будуть відрізнятися один від одного.

4. Зольність вугілля - поняття певною мірою умовне, так як маса і склад золи залежать, в основному, від умов озолення палива і, перш за все, від кінцевої температури прожарювання і швидкості озолення.

Виходячи з принципової відмінності між зольністю і мінеральними домішками слід, що вони характеризують різні властивості вугілля. Зольність є найважливішим показником якості товарного вугілля, від якого багато в чому залежать споживчі властивості і вибір шляхів використання палива. Визначення зольності і виходу летких речовин після збагачення проб вугілля до значень менше 10% призводить до знеособлення небезпечних властивостей шахтопластів при їх відпрацюванні в підземних умовах. За цією причиною показник V^{daf} не може однозначно характеризувати небезпечні властивості шахтопластів, так як він не враховує фактичний склад і властивості мінеральних домішок. Цей показник, опосередковано, в деякій мірі характеризує тільки органічну масу вугілля. Безпосередньо небезпечні властивості шахтопластів можуть характеризуватися тільки спільним складом і властивостями як органічної маси, так і мінеральних домішок вугілля при їх знаходженні в зоні видобутку (очисному заборі).

Аналіз методик визначення вологості вугілля (максимальної вологості) і виходу летких речовин на суху беззольну масу багато в чому пояснює значний розкид експериментальних точок щодо усереднюються прямих (1) взаємозалежності W^A від V^{daf} (рис. 10). Усунення виявлених причин, що призводять до підвищених погрішностей визначення V^{daf} та W^A відповідно до сучасних методик, безсумнівно приведе до зменшення розкиду експериментальних даних по відношенню до усереднюються кривих. Це зайвий раз підтвердить високу кореляційний зв'язок між розглянутими показниками, які описуються неоднозначно змінюється усереднюються кривою (1). Неоднозначність складається, наприклад, в однакових значеннях W^A ($\approx 5,0\%$) як для високо метаморфизованих антрацитів ($V^{\text{daf}} < 5,0\%$), так і для кам'яного вугілля, близьких за показником V^{daf} ($\approx 40,0\%$) до бурого вугілля. Обидва показники є класифікаційними для встановлення ступеня метаморфічних перетворень вугілля, але вони характеризують різні окремі сторони перетворення і стану шахтопластів під впливом геологічних процесів.

В даному випадку V^{daf} є тільки непрямим показником змін складу органічної маси, який не визначає однозначно [11] зміст суми основних компонентів (вуглець, кисень, водень, азот, сірка). Крім цього V^{daf} , враховуючи методику його визначення, не має оношення до змісту мінеральних домішок. Загальна волога характеризує тільки фізико-хімічний стан вугільного пласта.

У загальному випадку під метаморфізмом розуміється зміна внутрішньої будови, хімічного складу і фізичних властивостей вугілля під впливом температури і тиску при геологічних процесах [11, 13]. Переважне застосування будь-якого одного класифікаційного показника, в тому числі V^{daf} та W^A , не виправдано з позицій класичного визначення поняття метаморфізму. Один показник не може одночасно і всебічно характеризувати склад, структуру,

хімічні та фізико-механічні властивості органічної маси вугілля і їх мінеральних домішок. З огляду на це, при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів, неприпустима взаємозамінність класифікаційних показників, навіть при високій кореляційній зв'язку між ними [17]. Різні методики визначення класифікаційних показників відображають і різні властивості вугілля, придбані в процесі метаморфізму. Як правило між показниками спостерігається нелінійна залежність [11]. Одним з рідкісних випадків є прямопропорційна залежність між логарифмом питомого електроопору антрацитів ($lg \rho$) і об'ємним виходом летких речовин V_V^{daf} . Обидва показники служать для оцінки ступеня метаморфізму антрацитів, але вони не є взаємозамінними. При тісним кореляційним зв'язком між ними ($r=0,91$) максимальні відхилення індивідуальних значень від усереднюються прямий досягали більш 200% [17]. Отримані результати свідчать, що при розробці нормативного документа [4] для оцінки пилоутворювальну здатності шахтопластів використано по суті чотири показника метаморфічних перетворень V_V^{daf} , W^t , N та q , які в різній мірі корелюють між собою. В роботі [12] на додаток до них залучено марки вугілля, але вони, на думку самих же авторів, не чинили істотного впливу на запиленість повітря. Це зайвий раз підтверджує, що при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів і оцінці ступеня метаморфізму вугілля не можна ставити знак рівності між окремими показниками. Застосування кожного з них має бути обґрунтованим з урахуванням мети застосування і методик його визначення. Наприклад, в промисловій класифікації [14] марки використовуються для умовного позначення різновиду вугілля, близьких за генетичними ознаками і основним енергетичним і технологічними характеристиками, V_V^{daf} - для встановлення марочного складу тільки кам'яного вугілля, W_{max} - для розмежування бурого і кам'яного вугілля і т.д. Пилоутворювальну здатність (N та q) зв'язана з фізико-механичними властивостями углей, поэтому необхідно розглядати залежності N та q від відповідних показників. До них відносяться структура, щільність, міцність, твердість, пластичність, пружність, крихкість, дробильність. Фізико-механічні властивості вугілля також взаємопов'язані між собою і обумовлені хімічним складом і структурними особливостями органічної та мінеральної частин [18].

Механічна міцність вугілля і антрацитів офіційно відноситься до класифікаційних показників ступеня метаморфізму. Це доведено визначенням механічної міцності випробуванням в копрі. Вихід класу 1-0 мм характеризує крихкість випробувального матеріалу, тобто дає величини, зворотні механічній міцності і, отже, вугілля тим міцніше, чим менше у них вихід цього класу, і навпаки [19]. Вихід класу 1-0 мм, взятий за обсягом, досить добре диференціює вугілля різних марок і антрациту в міру зростання метаморфізму (рис. 13). Він цілком

придатний для характеристики пилоутворювальну здатності шахтопластів.

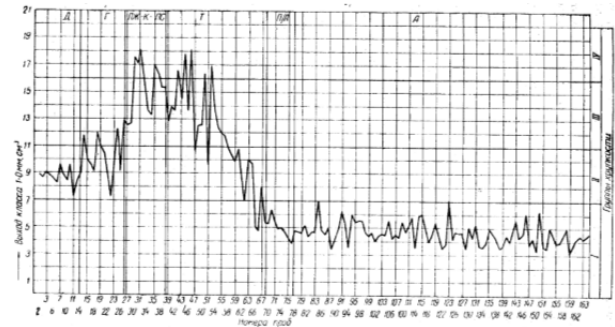


Рис. 13. Розподіл вугілля і антрацитів по крихкості (Виходу класу 1-0 мм / см³) згідно [19]

Слід зазначити, що жоден з показників, що характеризують фізико-механічні властивості не використаний [4] при градації шахтопластів по пилоутворювальну здатності.

При складанні каталогу шахтопластів за пиловим чинником [4] крім показників ступеня метаморфізму (V_V^{daf} , W^t , N та q) додатково використовували гірничогеологічні фактори другого блоку - кут залягання (α) і потужність пластів (m). Самі по собі показники α та m не можуть впливати на пилоутворювальну здатність шахтопластів. Їх вплив може позначатися в розходженні застосовуваних технологій і обладнання для відбою вугілля при відпрацюванні пологих і крутопадаючих шахтопластів. Для порівнянності пилоутворювальну здатності порівняли статистическі моделі показників шахтопластів пологого і крутопадаючими залягання по кожному фактору (табл. 6).

По фактору потужності пластів (m) фактичний характер розподілу шахтопластів пологого і крутопадаючими залягання мало відрізняються між собою (рис. 2). Єдина істотна відмінність між розглянутими сукупностями є різна середня потужність пластів (\bar{m}). За іншими показниками математичної статистики R_m , D_m , σ_m , k_e , A_S , E_K ряди розподілу також мало відрізняються між собою (табл. 1). Більш відчутна різниця між сумами шахтопластів пологого і крутопадаючими залягання спостерігаються за такими чинниками V_V^{daf} та W^t . За показником V_V^{daf} значна кількість шахтопластів пологого залягання знаходилося на початку ряду розподілу ($n_v=299$ випадку при $V_V^{daf}<10\%$) і в його кінці ($n_v=352$ випадку при $V_V^{daf}>40\%$). Основна кількість крутопадаючих пластів групувалися в діапазоні $V_V^{daf}=20\div35\%$ (404 випадки). При такому розподілі шахтопластів згідно гістограмм (рис. 4) середні значення для порівнюваних вибірок відповідно становили 27,2 та 23,3%. Тобто за середнім показником V_V^{daf} вугілля шахтопластів пологого падіння були менш метаморфізовані в порівнянні з вугіллям крутопадаючих пластів, незважаючи на наявність значної кількості антрацитових і полуантрацитових пластів (при $V_V^{daf}<10\%$). Вугілля крутопадаючих пластів більш

Таблиця 6

Відомості про статистичні моделі показників пилоутворювальної здатності (V^{daf} , m , W^t , N та q) для шахтопластів пологого і крутопадаючого залягання

залягання пластів	Показники, що визначають пилоутворювальну здатність шахтопластів згідно [4]									
	V^{daf}					m				
	n_V , шт.	\bar{V}^{daf} , %	M_V , %	R_V , %	σ_V , %	n_m , шт.	\bar{m} , %	M_m , %	R_m , %	σ_m , %
Пологе	1346	27,2	42,5	52,7	15,22	1372	1,30	0,75	5,52	0,683
Крутопадаючі	754	23,1	32,5	41,1	9,49	755	0,85	0,75	5,48	0,439
Вся сукупність вугільних шахтопластів	2100	25,8		52,7	13,60	2127	1,14		5,52	0,646
	W^t					N				
	n_W , шт.	\bar{W} , %	M_W , %	R_W , %	σ_W , %	n_N , шт.	\bar{N} , %	M_N , %	R_N , %	σ_N , %
	Пологе	1371	6,3	3,0	34,3	6,24	1363	2,13	0,50	13,34
Крутопадаючі	755	3,1	2,5	13,6	1,78	752	1,21	0,50	12,33	1,031
Вся сукупність вугільних шахтопластів	2126	5,2		34,3	5,34	2115	1,80		13,34	1,894
	q									
	n_q , шт.	\bar{q} , %	M_q , %	R_q , %	σ_q , %					
	Пологе	1364	229,0	50	2699	356,4				
Крутопадаючі	750	144,6	50	2388	139,1					
Вся сукупність вугільних шахтопластів	2114	244,2		2699	307,0					

* - Примітка: різна кількість n_V , n_m , n_W , n_N , та n_q обумовлено різною кількістю даних щодо показників V^{daf} , m , W^t , N та q , наведених в каталозі [4].

ніж в два рази містили в середньому менше вологи (3,1%) в порівнянні з вугіллям пластів пологого залягання (6,3%). Згідно ж запропонованої залежності питомої пиловиділення (q) від V^{daf} та W^t [12] з використанням їх середніх значень не встановлені суттєві відмінності в пилоутворювальну здатністю між пластами пологого і крутопадаючими залягання. Середнє значення \bar{q} відповідно рівні 306 та 331 г/т. Різниця між ними знаходиться в межах точності похибок їх визначення і не відповідають експериментальним даним.

Суперечливі фактичні відмінності між показниками пилоутворювальною здатністю (N та q) між шахтопластів пологого і крутопадаючого залягання не можна пояснити значеннями факторів (α , m , V^{daf} , W^t), застосовуваних для цих цілей в посібнику [4]. З них тільки W^t побічно характеризує фізико-механічний стан вугілля. Для усунення виявлених протиріч в оцінці пилоутворювальної здатності шахтопластів додатково до показника W^t , як і показують автори [12] необхідно враховувати характеристики міцності вугілля і способи його руйнування. Можливо, що після виконання таких побажань відмінності в пилоутворювальної здатності між пластами пологого і крутопадаючого залягання буде обґрунтована різної технологією відбою вугілля. На пластах пологого падіння вона, в основному, пов'язана з використанням комбайнового або стругового виймання, а на крутопадаючих - із застосуванням відбійних молотків.

Висновки. На підставі проведених досліджень зроблено важливий для вдосконалення нормативної бази безпечного відпрацювання вугільних пластів висновок: за сформованою практикою для прогнозу

небезпечних властивостей шахтопластів в нормативних документах [1-3, 5-7], за аналогією з [4], оцінка ступеня метаморфічних перетворень вугілля виробляється по одному-двом показниками без достатнього наукового обґрунтування їх відповідності характеру виникнення небезпечного явища. Таке обґрунтування та патенти у зв'язку з тим, що практично всі класифікаційні показники (їх понад 20) Розробити й подати визначаються за методиками для встановлення споживчих властивостей вугілля. Вони безпосередньо не призначені для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів, так як в більшості випадків характеризують суху беззольну масу. Їх використання без належного обґрунтування і коригування на вміст вологи і мінеральних домішок в ряді випадків призводить до отримання суперечливих результатів

Л і т е р а т у р а

1. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: СОУ 10.1.00174088.011–2005. - [Чинний від 2005-12-01] / О.М. Брюханов, О.В. Агафонов, А.В. Анциферов [та ін.]. - Офіц. вид. - К.: Мінвуглепром України. 2005. - 224 с. - (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К. Основа. – 1994. – 311с.
3. Руководство по предупреждению и тушению эндогенных пожаров на угольных шахтах Украины: КД 12.01.402 – 2000. – Донецк : НИИГД. – 2000, 216 с.
4. Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. – М.: Недра.–1979. – 319с.
5. Пашковский П.С., Костенко В.К., Заславский В.П., Хорольский А.Т., Заболотный А.Г. [и др.]. КД 12.01.401-96 Эндогенные пожары на угольных шахтах

- Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция. Издание официальное Донецк: НИИГД, 1997. 68 с.
6. СОУ10.1.0017-4088.011–2004. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. Издание официальное. Минтопэнерго Украины. К. – 2004. 161 с.
 7. Схеми та способи керування газовиділенням на виймкових дільницях вугільних шахт. Державний департамент промислової безпеки, охорони праці й гірничого нагляду. Державний нормативний акт про охорону праці. К. – 2006. 78 с.
 8. Кошовский Б.И., Пашковский П.С., Карасева В.В. Пути повышения достоверности определения склонности углей к самовозгоранию // Уголь Украины. 2008. №12. С. 45-47.
 9. Ганова С. Д., Скопинцева О. В., Исаев О. Н. К вопросу исследования состава углеводородных газов угольных пластов и пыли с целью возможного прогнозирования их потенциальной опасности / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. С. 109-115.
 10. Опарин В. Н. и др. О некоторых особенностях взаимодействия между геомеханическими и физико-химическими процессами в угольных пластах Кузбасса/ Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. №. 2. С. 3-30.
 11. Antoshchenko M., Tarasov V., Zakharova O., Zolotarova O., Petrov A. Analysis of metamorphism and tendency of black coals to spontaneous combustion / Technology audit and production reserves. 2019. Т. 6, N 1(50). pp. 18-25. DOI : 10.15587/2312-8372.2019.191902.
 12. Медведев Э.Н., Саранчук В.И., Качан В.Н. Оценка пылеобразующей способности углей в ряду метаморфизма // Уголь Украины. 1984. №8. С. 32-33.
 13. ГОСТ 17070-2014. Межгосударственный стандарт. Угли. Термины и определения Издание официальное. М.: Стандартинформ. 2015. 15с
 14. ГОСТ 25543-2013. Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. Издание официальное. М.: Стандарт-информ. 2014. 19 с.
 15. Августевич И.В., Сидорук Е.И., Броновец Т. М. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. М.: «Реклама мастер», 2019. 576 с.
 16. Справочник по качеству каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. Донецкий научно-исследовательский угольный институт. – М.: Недра.–1972. – 168 с.
 17. Антощенко Н.И., Тарасов В.Ю., Заика Р.Г., Золотарева Е. В., Захарова О.И К вопросу определения классификационных показателей углей для установления опасных свойств шахтопластов / Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. 2020. № 152. С. 149-159.
 18. Еремин И.В., Лебедев В.В., Шикарев Д.А. Петрография и физические свойства углей. М.: Недра. 1980. 263 с.
 19. Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна. Донецкий научно-исследовательский угольный институт (ДонУГИ). Вып. VIII. М.: Углетехиздат. 1954. 432 с.
 - in.]. - Ofits. vyd. - K.: Minvuhleprom Ukrayiny. 2005. - 224 s. - (Normatyvnyy dokument Minvuhlepromu Ukrayiny. Standart).
 2. Rukovodstvo po proektyrovannyu ventilyatsyy uhol'nykh shakht. – K. Osnova. – 1994. – 311s.
 3. Rukovodstvo po preduprezhdenyuu y tushenyuu éndohennykh pozharov na uhol'nykh shakhtakh Ukrayny: KD 12.01.402 – 2000. – Donetsk : NYHYD. – 2000, 216 s.
 4. Rukovodstvo po bor'be s pyl'yu v uhol'nykh shakhtakh. – M.: Nedra.–1979. – 319s.
 5. Pashkovskyy P.S., Kostenko V.K., Zaslavskyy V.P., Khorol'skyy A.T., Zabolotnyy A.H. [y dr.]. KD 12.01.401-96 Éndohennyye pozhary na uhol'nykh shakhtakh Donbassa. Preduprezhdenye y tushenye. Ynstruksyya. Yzdanye ofytsyal'noe Donetsk: NYHYD, 1997. 68 s.
 6. SOU10.1.0017-4088.011–2004. Dehazatsyya uhol'nykh shakht. Trebovannya k sposobam y skhemy dehazatsyy. Yzdanye ofytsyal'noe. Myntopénerho Ukrayny. K. – 2004. 161 s.
 7. Skhemy ta sposoby keruvannya hazovydilennyam na vyyimkovykh dil'nytsyakh vuhil'nykh shakht. Derzhavnyy departament promyslovoi bezpeky, okhorony pratsi y hirnychoho nahlyadu. Derzhavnyy normatyvnyy akt pro okhoronu pratsi. K. – 2006. 78 s.
 8. Koshovskyy B.Y., Pashkovskyy P.S., Karaseva V.V. Puty povyshenyya dostovernosti opredelenyya sklonnosti uhley k samovoz'horanyuu // Uhol' Ukrayny. 2008. №12. S. 45-47.
 9. Hanova S. D., Skopyntseva O. V., Ysaev O. N. K voprosu yssledovannya sostava uhlevodorodnykh hazov uhol'nykh plastov y pyly s tsel'yu vozmozhnoho prohnozyrovannya ykh potentsyal'noy opasnosti / Yzvestyya Tomskoho polytekhnicheskoho unyversyteta. Ynzhyrynynh heoresurov. 2019. Т. 330. № 6. S. 109-115.
 10. Oparyn V. N. y dr. O nekotorykh osobennostyakh vzaymodeystviya mezhdz heomekhanicheskymy y fyzyko-khymicheskymy protsessamy v uhol'nykh plastakh Kuzbassa/ Fyzyko-tekhnicheskyye problemy razrabotky poleznykh yskopaemykh. 2014. №. 2. S. 3-30.
 11. Antoshchenko M., Tarasov V., Zakharova O., Zolotarova O., Petrov A. Analysis of metamorphism and tendency of black coals to spontaneous combustion / Technology audit and production reserves. 2019. Т. 6, N 1(50). pp. 18-25. DOI : 10.15587/2312-8372.2019.191902.
 12. Medvedev É.N., Saranchuk V.Y., Kachan V.N. Otsenka pylеobrazuyushchey sposobnosti uhley v ryadu metamorfyzma // Uhol' Ukrayny. 1984. №8. S. 32-33.
 13. HOST 17070-2014. Mezhhosudarstvennyy standart. Uhly. Termyny y opredelenyya Yzdanye ofytsyal'noe. M.: Standartynform. 2015. 15s
 14. HOST 25543-2013. Mezhhosudarstvennyy standart. Uhly burye, kamennyye y antratsyty. Klassyfykatsyya po henetycheskym y tekhnolohycheskym parametram. Yzdanye ofytsyal'noe. M.: Standart-ynform. 2014. 19 s.
 15. Avhushevych Y.V., Sydoruk E.Y., Bronovets T. M. Standartnyye metody yspytannya uhley. Klassyfykatsyy uhley. M.: «Reklama master», 2019. 576 s.
 16. Spravochnyk po kachestvu kamennykh uhley y antratsytov Donetskohо y L'vovsko-Volynskoho basseynov. Donetskyy nauchno-yssledovatel'skyy uhol'nyy ynstytut. – M.: Nedra.–1972. – 168 s.
 17. Antoshchenko N.Y., Tarasov V.YU., Zayka R.H., Zolotareva E. V., Zakharova O.Y K voprosu opredelenyya klassyfykatsyonnykh pokazateley uhley dlya ustanovlenyya opasnykh svoystv shakhtoplastov /

References

1. Pravyla vedennyya hirnychykh robit na plastakh, skhyl'nykh do hazodynamichnykh yavlyshch: SOU 10.1.00174088.011–2005. - [Chynnyy vid 2005-12-01] / O.M. Bryukhanov, O.V. Ahafonov, A.V. Antsyferov [ta

Heotekhnicheskaya mekhanyka: mezhved. sb. nauch. tr. YHTM NAN Ukrainy. 2020. № 152. S. 149-159.

18. Eremyn Y.V., Lebedev V.V., Shykarev D.A. Petrohrafyya y fizycheskiye svoystva uhley. M.: Nedra. 1980. 263 s.
19. Heoloho-uhlekhymycheskaya karta Donetskoho basseyna. Donetskiy nauchno-ysledovatel'skiy uhol'nyy ynstitut (DonUHY). Vyp. VIII. M.:Uhletekhyzdat. 1954. 432 s.

Antoshchenko M. I., Rudniev Y.S., Filatyeva E. M., Melkonova I. V., Melkonov H. L. On the selection of indicators of the degree of coal metamorphism for the forecast of dangerous properties of shaktoplast

The idea of the work is to study statistical models of individual indicators of dust-forming capacity of coal mines, known from normative-reference data on the quality and properties of fossil coal. In particular, the manual [4] provides data (catalog) on the dust-forming capacity of more than two thousand mines. The factors of the first block that determine the composition and properties of coal are the yield of volatile substances during thermal decomposition of coal without access of air (V^{daf}), humidity of coal (W^f), dust content in the reflected coal (N) and specific dust (q). In addition to these indicators of the first block, when determining the groups of layers by the dust factor, the factors of the second block were taken into account - layer thickness (m) and angle of incidence (α) with gradation of 35° and more than 35° [4]. In essence, the values of the indicators of the first block (V^{daf} , W , N , q) are a consequence of the influence of metamorphic processes of transformation of coal mines, and the second (α , m) - refer to the mining and geological conditions of the strata. Statistical models of distribution of these factors allow to establish connections between them and possibility of their use for improvement of the forecast of dust formation and other dangerous properties of mines. When compiling the catalog of mine shafts by dust factor, in addition to the indicators of the degree of metamorphism (V^{daf} , W^f , N and q), the mining and geological factors of the second block were additionally used - the angle of occurrence (α) and the thickness of the

formations (m). By themselves, the values of α and m can not affect the dust-forming capacity of mines. Their influence can affect in a divergence of the applied technologies and the equipment for a coal shutdown at working off of sloping and steeply falling shafts. For comparability of dust-forming ability compared statisticheskie models of indicators of shafts of shallow and steeply falling deposits on each factor. Based on the research, an important conclusion was made to improve the regulatory framework for safe mining of coal seams: according to the established practice for forecasting the hazardous properties of mines in regulations [1-3, 5-7], by analogy with [4], the degree of metamorphic transformations of coal on one or two indicators without sufficient scientific substantiation of their compliance with the nature of the dangerous phenomenon.

Key words: : coal seams, properties, dust formation, moisture, metamorphism, regulatory documents.

Антощенко М.І. – д.т.н., професор кафедри фармації, виробництва та технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, antoshchenko@snu.edu.ua

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

Філатьєва Е.М. – к.т.н., старший викладач кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля elafilatyeva@gmail.com

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

Мелконов Г.Л. – к.т.н., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, g.melkonov78@snu.edu.ua

Стаття подана 22.08.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-61-68>

УДК: 664.29

БЕЗВІДХОДНА ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ ПЕКТИНУ З ВІДХОДІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Тетерев М. М., Соколенко Н. М., Островка В. І., Мороз О. В., Попов Є. В., Рубан Е. В.

WASTE-FREE TECHNOLOGY OF PECTIN PRODUCTION FROM WASTE INDUSTRY WASTE

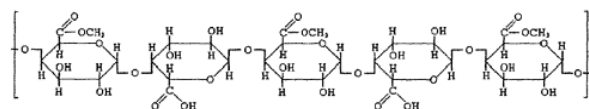
Teteriev M. M., Sokolenko N. M., Ostrovka V. I., Moroz O. V., Popov Y. V., Ruban E. V.

Проведені дослідження по створенню вдосконаленої спрощеної технології отримання стійкого до окислення харчового бурякового пектину з його вичавків для виробництва хлібобулочних, кондитерських виробів, желейного мармеладу та інших продуктів харчування, що дозволить скоротити тривалість технологічного процесу з одночасним зменшенням енерговитрат. Об'єкт дослідження – розробка сучасної вдосконаленої, спрощеної технології отримання стійкого до окислення бурякового пектину із бурякових вичавків. Такий продукт повинен задовільняти вимогам до якості, що забезпечує його використання в харчовій, кондитерській, медичній та фармацевтичній промисловості. Крім того розроблена технологія повинна забезпечити максимальний вихід готового продукту (пектину) та оптимальні технологічні умови проведення процесу переробки бурякового жому. Мета дослідження – вивчення оптимальних умов отримання пектину із вичавок буряку методом гідролізу хлороводневою кислотою замість нітратної з наступним виділенням пектину із нейтралізованого екстракту 96%-ним етиловим спиртом. Для досягнення поставленої мети слід виконати наступні задачі: дослідити умови екстракції пектину із вичавок буряку та умови його осадження із екстракту етиловим спиртом; визначити оптимальні параметри проведення процесу одержання пектину; розробити на основі даних, отриманих у процесі досліджень, принципову технологічну схему одержання пектину із вичавок буряку. На основі виконаних досліджень та отриманих результатів розроблена технологічна схема одержання пектину із вичавок червоного буряку. Удосконалена технологія отримання пектину в порівнянні з відомими технологіями, відрізняється безвідходністю і екологічністю, так як при екстракції в якості екстрагенту використовується хлористоводнева кислота низьких концентрацій, а для виділення пектину застосовують відновлений дистиляцією етиловий спирт. Оптимізовано умови екстракції пектину з бурякового жому, що дозволяє отримати пектин з виходом до 30 відсотків. Зразки пектину, отриманого з бурякового жому, відповідають міждержавному стандарту (ДСТУ 21186), що діє на території України [28], за всіма показниками якості: зовнішнім виглядом, запахом, кольором, смаком, ступенем етерифікації, геле-

утворюючою здатністю з кількістю часточок волокнистої фракції і мікробіологічною властивістю та відсутністю сторонніх домішок. Для фармацевтичних препаратів у пектині в необхідній кількості містяться метоксигрупи і галактуринова кислота та відсутні нітрати, цукор, органічні кислоти, сполуки миш'яку, свинцю та інших шкідливих елементів. Відходи від екстракції пектину використовуються в якості біопалива або для технологічних потреб у виробництві матеріалів медичного призначення.

Ключові слова: бурякові вичавки, буряковий пектин, безвідходна технологія, скорочення і удосконалення процесу, продукт харчування.

Вступ. Природні пектини з рослинної сировини (плодів, ягід і фруктів) є важливою частиною раціону людини і представляють основу ряду лікарських засобів і біологічно активних добавок. За хімічною природою пектини — високомолекулярні сполуки, які відносяться до групи гетерополісахаридів, основу яких складають похідні полігалактуринової кислоти нижче наведеної структурної формули [1]:



Пектинові речовини входять до складу практично всіх рослин, є їх основними функціональними компонентами, виконують у рослинах безліч різних життєво важливих функцій і характеризуються широким спектром фізіологічної активності [2]. Вони включають нерозчинний протопектин, розчинні пектинові полісахариди і супутні їм галактани, арабіани і арабіногалактан. Пектинові полісахариди входять у велику групу гліканогалактуранів - кислих рослинних полісахаридів, головний вуглеводний ланцюг яких складають 1,4-пов'язані залишки α-

D-галактопіранозілурунової кислоти [3] з молекулярною масою від 150000 до 200000 та мають високу желюючу здатність [4]. Вони входять до складу рослинних клітин у вигляді частково метилетерифікованих по карбоксилу біополімерів часто у вигляді солей натрію, кальцію і магнію, забезпечуючи механічну міцність і еластичність стінок клітин, сприяючи стійкості до висихання, перепадів температур зі збереженням захисних функцій від збудників фітозахворювань.

Для збільшення виробництва пектину в Україні проведено дослідження щодо вдосконалення технології його отримання із бурякового жому.

Як продукт з нетоксичними ацетильними групами пектин є активним імуномодулятором, що впливає на імуностимулюючу, протиметастазну, протипухлинну, антиязвенну, протиневрозну і антиоксидантну функції і використовується у фармакології. Гіпоглікемічна дія пектинів обумовлена його високою вологозв'язуючою здатністю. Найбільшою антиметастазною дією володіє рамногалактуронан-I (RG-I) [5]. Гемостатичні властивості пектинових препаратів використовують при лікуванні легеневих кровотеч, кровотечах стравоходу, шлунку і кишківнику. У стоматології та гемофілії, гінекологічних захворюваннях, його застосовують для приготування замінників кров'яної плазми, тому що він не викликає скупчення і осадження еритроцитів і утворення тромбозів [6, 7].

Застосування пектину в технології ліків обґрунтовано його функціональними характеристиками і технологічним призначенням: пектин використовують у виготовленні супозиторіїв, капсул, жувальних таблеток [8]. У парфюмерній галузі пектин затребуваний як речовина, що містить галактуронову кислоту, яка володіє властивостями утримання вологи, розгладження зморшок, підвищення тонушу шкіри та як загущувач у гелях. Найбільш важливими властивостями пектинових речовин, що використовуються в технології харчових виробництв, є їх желеутворююча і комплексоутворююча здатність. Желеутворююча здатність є основною у виробництві желеподібних продуктів - джемів, конфітурів, желе, мармеладу, збитих кондитерських виробів [9].

Комплексоутворююча здатність обумовлена властивістю пектину утворювати з іонами важких металів, вільними радикалами, радіонуклідами, різними токсинами нерозчинні комплекси. Пектин також сприяє зміні в'язкості вмісту шлунку і кишківнику, тим самим призводячи до уповільнення транзиту по шлунково-кишковому тракту. Пектинові речовини утворюють гель на поверхні слизової оболонки шлунку і кишківнику, що сприяє захисту їх від драгівливого впливу агресивних чинників. Встановлено що пектини надають регулюючу дію на імунну систему кишківника [10].

Вищевказані властивості пектину є обґрунтованим фактором, що обумовлює його використання в медицині, фармацевтиці, косметичній та харчовій галузі.

Об'єкт дослідження. Об'єкт дослідження – розробка сучасної вдосконаленої, спрощеної технології отримання стійкого до окислення бурякового пектину із бурякових вичавків.

Такий продукт повинен задовільняти вимогам до якості, що забезпечує його використання в харчовій, кондитерській, медичній та фармацевтичній промисловості. Крім того розроблена технологія повинна забезпечити максимальний вихід готового продукту (пектину) та оптимальні технологічні умови проведення процесу переробки бурякового жому.

Мета дослідження. Мета дослідження – вивчення оптимальних умов отримання пектину із вичавок буряку методом гідролізу хлороводневою кислотою замість нітратної з наступним виділенням пектину із нейтралізованого екстракту 96%-ним етиловим спиртом.

Для досягнення поставленої мети слід виконати наступні задачі:

- дослідити умови екстракції пектину із вичавок буряку та умови його осадження із екстракту етиловим спиртом;
- визначити оптимальні параметри проведення процесу одержання пектину;
- розробити на основі даних, отриманих у процесі досліджень, принципову технологічну схему одержання пектину із вичавок буряку.

Дослідження існуючих рішень проблеми. В промисловості пектини одержують із побічних продуктів виробництва фруктових соків (яблучні вичавки і шкірка цитрусових, вичавок червоного буряку) методом екстракції.

Екстракцію проводять в кислих умовах з метою одержання високометоксильованих та низькометоксильованих пектинів. Високометоксильовані пектини широко використовуються в якості гелеутворюючих агентів при виробництві джемів, мармеладу, желе та кондитерських виробів. Низькометоксильовані пектини частіше використовуються в якості стабілізаторів у підкислених молочних напоях [11].

Відомий спосіб отримання пектину із рослинної сировини в м'яких умовах [12]

В якості сировини у цьому випадку використовують яблучні вичавки, обробку яких проводять 0,1-0,2N розчином хлороводневої кислоти в 50-70% етанолі з наступним проведенням екстракції 1-2%-вим водним розчином ацетату натрію при температурі 40-50°C і рН 6,0-6,5. Даний спосіб вимагає подальшого очищення одержаного продукту, а використання кислоти в якості гідролізуючого агента призводить до отримання продукту невисокої якості. Крім того, сама технологія трудомістка, а відходи виробництва забруднюють навколишнє середовище.

Відомі способи одержання пектину [13, 14], що полягають у гідролізі рослинної пектиновмісної сировини ферментними препаратами з наступним осадженням, очищенням та сушінням продукту [13]. Гідролізуючий агент культивують на субстраті мікроорганізмів роду *Bacillus*, після змішують його з

рослинною пектиновмісною сировиною [14], проводять екстрагування суміші з виділенням цільового продукту. При цьому, в якості мікроорганізмів використовують неруйнуючі пектин штами *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus circulans*, *Bacillus coagulans*, *Bacillus firmus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilis*, *Bacillus macerans*, аналогічні штами або мутантні штами цих бактерій. Може використовуватися комплекс ферментів, що включає целюлазу і гемицелюлазу, отриманих з гриба *Geotrichium candidum*. В якості рослинної сировини, яка містить пектинові речовини, використовують шкірку або оболонку часточок цитрусових. Даний спосіб дозволяє отримувати 30-35% пектинових речовин від теоретично можливої кількості. Однак технологія складна і трудомістка, оскільки вимагає спеціального попереднього отримання ферменту, подальшого його застосування та спеціального контролю технологічного процесу.

Відомі способи вилучення пектинових речовин з бурякового жому обробкою його неорганічними або органічними кислотами - сульфатною [15] або лимонною [16]. Для гідролізу протопектину використовують також перекис водню [17]. Поширені методи заморожування-відтаювання бурякового жому, екстракції гарячою водою [18], обробку целюлітичними ферментами [19]. Обробка органічними й неорганічними кислотами рослинної сировини для переведення протопектину в розчинний стан, являє собою традиційний метод отримання пектинових речовин з рослинної сировини.

Відомий спосіб отримання пектину, що включає гідроліз подрібненого жому буряку в присутності хлороводневої кислоти при нагріванні, віджимання твердої фази. На останньому етапі як екстрагент використовують воду. Осаджують пектин із рідких фаз з подальшою його багатоступінчастою очисткою, зневодненням і сушінням. Метод передбачає виділення пектину з попередньо висушеного при високій температурі бурякового жому і включає такі технологічні операції: сушка бурякового жому, гідроліз подрібненої суміші бурякового жому розчином хлороводневої кислоти при рН 0,5-0,9 та гідромодулі 1:2-6, екстрагування пектину і його відділення шляхом пресування бурякового жому, екстрагування пектину водою з наступним пресуванням проекстрагованого бурякового жому, фільтрацію пектинового екстракту, осадження пектину етиловим спиртом, очищення та сушіння пектину [20]. Але цей спосіб має ряд недоліків:

- технологія передбачає висушування бурякового жому при високій температурі, що негативно позначається на якості отриманого пектину;

- використання хлороводневої кислоти високої концентрації призводить до отримання пектину з високим ступенем гідролізу, що значно знижує структуроутворюючі властивості розчинів пектину і обмежує його використання в харчовій промисловості;

- використання низького гідромодуля призводить до поганої відтворюваності характеристик одержуваних пектинових речовин, а також невисокого виходу пектину, який становить біля 16,6%;

- спосіб переробки бурякового жому не передбачає отримання при цьому целюлози.

Відомий спосіб переробки бурякового жому [21], який включає такі етапи його переробки: фракціонування, кислотний гідроліз нітратною кислотою, двоетапний лужний гідроліз розчином гідроксиду натрію з відбілюванням отриманого пектину.

Недоліками цього способу є те, що практично неможливо отримати пектин задовільної якості внаслідок високого ступеню кислотного гідролізу. Він також вимагає великої витрати реагентів, призводить до зниження у нанокристалічній частини целюлози модуля Юнга, що обмежує області застосування.

Методи дослідження. Результат нашого дослідження виключає зазначені недоліки і полягає в послідовному отриманні пектину із сирого бурякового жому при повній його переробці. Сутність технології полягає в проведенні гідролізу подрібненого на ножовому млині бурякового жому в присутності хлороводневої кислоти при нагріванні, віджимання твердої фази, багатоступеневу екстракцію твердої фази, осадження пектину з рідких фаз з подальшим його очищенням, зневодненням і сушінням. Із сирого бурякового жому на першому етапі виділяють пектинові речовини шляхом проведення першої кислотної екстракції 0,3%-вим розчином хлороводневої кислоти при величині рН ~ 1,6-1,8 протягом 1 год при температурі 90°C з використанням гідромодуля 1:200. На другому етапі проводять другу кислотну екстракцію 1,2%-овим розчином хлороводневої кислоти при температурі 90°C з використанням гідромодуля 1:200 протягом 4 год. Отриманий промитий грубий препарат целюлози бурякового жому після другої кислотної екстракції піддають одноступеневі лужній екстракції 0,5%-вим розчином гідроксиду натрію при температурі 90°C протягом 1 год з використанням гідромодуля 1:100 для подальшого очищення целюлози від залишків пектинових речовин, гемицелюлози, залишкового лігніну та ліпідів.

Перша кислотна екстракція подрібненого на ножовому млині бурякового жому, як уже вказувалося вище, проводиться 0,3%-вим розчином хлороводневої кислоти при величині рН ~ 1,6-1,8 протягом 1 год при 90°C з використанням гідромодуля 1:200.

Умови першої кислотної екстракції дозволяють виділяти високомолекулярні пектинові речовини з мінімальним рівнем кислотного гідролізу. Розчин, що містить пектинові речовини відділяється від залишку бурякового жому фільтруванням або центрифугуванням. Отриманий залишок бурякового жому промивається водою при температурі 25°C протягом 10 хв. з використанням гідромодуля 1:50. Осад із залишками бурякового жому відділяється від розчину фільтруванням або центрифугуванням.

Розчини, що містять пектинові речовини, отримані на етапі першої кислотної екстракції і промивання осаду бурякового жому після першої кислотної екстракції, об'єднуються і нейтралізуються до величини рН 5,5 розчином гідроксиду натрію. Пектинові речовини із об'єданого розчину виділяють шляхом осадження двома частками 96%-вого етилового спирту з наступним дворазовим промиванням осаду пектинових речовин 70%-вим етиловим спиртом. Вихід пектинових речовин при такому способі екстракції становить 19% від маси сухих речовин бурякового жому. Використання зазначеного режиму кислотної екстракції призводить до одержання пектину з високою молекулярною масою (280000) завдяки низькому ступеню хімічного гідролізу. Отримані на цьому етапі високомолекулярні пектинові речовини можуть бути використані в харчовій промисловості як загущувачі і структуроутворювачі.

Залишок бурякового жому, отриманий після першої кислотної екстракції, направляється на другу кислотну екстракцію. Друга кислотну екстракцію проводять 1,2%-вим розчином хлороводневої кислоти при температурі 90°C з використанням гідромодуля 1:200 протягом 4 год. з метою подальшого очищення целюлози бурякового жому від пектинових речовин і геміцелюлози. Осад із залишками бурякового жому відділяють від розчину фільтруванням або центрифугуванням. Отриманий осад після другої кислотної екстракції промивають водою при температурі 25°C протягом 10 хвилин з використанням гідромодуля 1:50. Розчини пектинових речовин, які отримані на етапі другої кислотної екстракції і промивання осаду бурякового жому після другої кислотної екстракції, об'єднують і нейтралізують до величини рН 5,5 розчином гідроксиду натрію. Пектинові речовини із розчину виділяють шляхом осадження двома об'ємами 96%-вого етилового спирту з наступним дворазовим промиванням осаду пектинових речовин 70%-вим етиловим спиртом. Вихід пектинових речовин складає 7,5% від маси сухих речовин бурякового жому. Молекулярна маса пектинових речовин, отриманих при другій кислотної екстракції, значно знижується внаслідок кислотного гідролізу і складає 25000. Отримані на цьому етапі низькомолекулярні пектинові речовини можуть бути використані у фармацевтичній промисловості в якості фізіологічно-активних речовин. Отриманий промитий грубий препарат целюлози бурякового жому після другої кислотної екстракції піддають лужній екстракції для подальшого очищення целюлози від залишків пектинових речовин, геміцелюлози, залишкового лігніну і ліпідів. Лужну екстракцію проводять 0,5%-вим розчином гідроксиду натрію при температурі 90°C протягом 1 год. з використанням гідромодуля 1: 100 (з розрахунку на суху речовину бурякового жому). Целюлозу бурякового жому відокремлюють центрифугуванням або фільтруванням. Осад целюлози промивають водою та сушать. Вихід рослинної целюлози з бурякового жому складає 15% від маси сухих речовин бурякового жому. У

виділеній з бурякового жому целюлози пектинові речовини і геміцелюлоза виявлені не були. Отримана очищена целюлоза може бути використана для приготування пакувального матеріалу та мікрористалічного, нанофібрилярного і нанокристалічного целюлозного волокна.

Використання при першій ступені кислотної екстракції хлороводневої кислоти (0,6%, 0,9% або 1,2%) призводить до одержання пектинових речовин з виходом 19%, 21% і 23% від маси сухих речовин бурякового жому. При більш високих концентраціях хлороводневої кислоти проходить до зниження молекулярної маси пектинових речовин до 100000 і навіть до 50000.

Розроблена технологія дозволяє здійснювати повну переробку бурякового жому з отриманням пектинових речовин і целюлози із мінімальними змінами їх властивостей. Виділені пектинові речовини і целюлоза можуть бути використані у виробництві нових матеріалів з поліпшеними характеристиками міцності, оптичними та бар'єрними властивостями стосовно вологи, кисню і температури зі значним підвищенням ефективності виробництва.

Технологічна схема одержання пектину та її основні характеристики. Технологічна схема апаратурного оформлення дослідно-промислової установки одержання пектину з описом стадій показана на рисунку.

Основні стадії процесу. Гідроліз, екстракція та лужна обробка жому. Технологія починається зі стадії нарізки та подрібнення бурякового жому в ножовому подрібнювачі 1. Подрібнений жом передають в апарат-гідролізатор 2. Туди ж із мірника 3 завантажують 0,3%-вий водний розчин HCl (рН ~ 1,6-1,8 при гідромодулі 1:200). Масу нагрівають при перемішуванні до температури 90°C з витримкою при цій температурі протягом 1 год. Після закінчення процесу гідролізу суспензію передають на фільтрування в апарат 4. Новоутворена після першої ступені екстракції рідка фаза поступає в апарат 5 для виділення пектину. Жом (грубу целюлозну клітковину) на фільтрі промивають водою, віджимають і передають на сушку в вакуум-сушарку 6 типу «Венулет». Отримані після першої екстракції пектинові високомолекулярні речовини можуть бути використані в харчовій промисловості в якості загущувача і структуроутворювача.

При отриманні пектинових речовин низькомолекулярної фракції проводять другу екстракцію тонкомеленого висушеного жому. Таку фракцію можна окремо використовувати у фармацевтичній промисловості в якості фізіологічно-активних речовин або змішувати її з високомолекулярною фракцією пектину. Для отримання низькомолекулярної фракції пектинових речовин висушений і подрібнений до порошкоподібного стану жом завантажують на другу ступень екстракції, яку проводять в апараті-гідролізаторі 9, слабким (1,2%-вим) розчином хлороводневої кислоти, який подають із мірника 10. Процес другої екстракції пектину також проводять

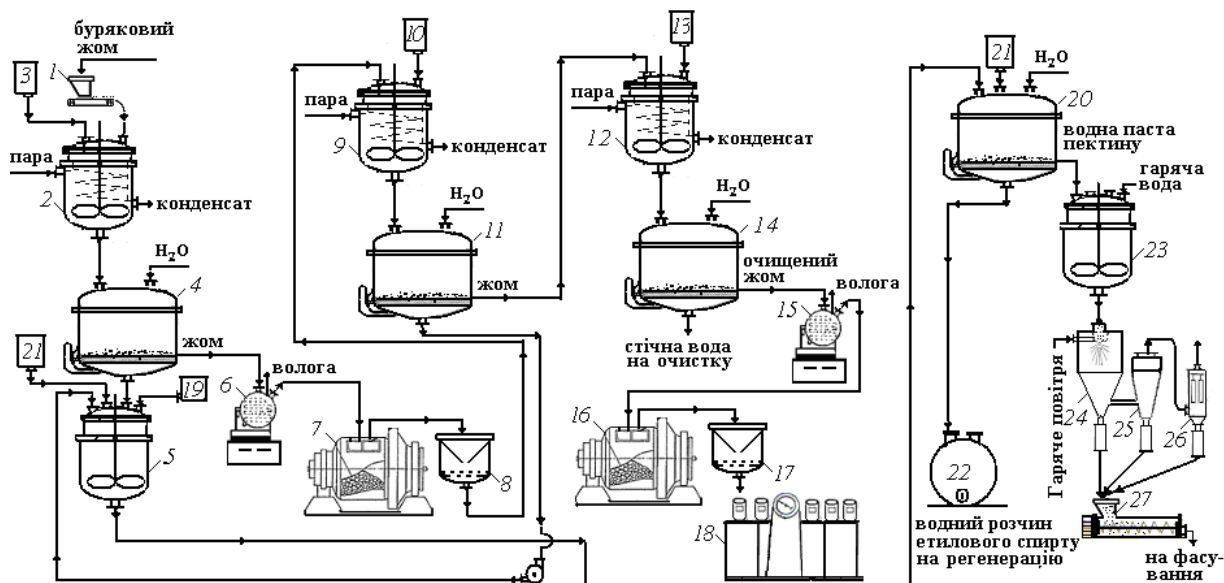


Рис. Дослідно-промислова технологічна схема виробництва пектину з бурякового жому:

1 – пристрій приготування бурякового жому; 2, 9 12 – апарати-гідролізатори відповідно I-ої та II-ої стадій екстракції та лужної обробки жому; 3 – мірник 0,3%-вого водного розчину HCl; 10 – мірник 1,2%-вого водного розчину HCl; 4, 11, 14, 20 – фільтрувальні установки; 5 – сміть екстрагованого пектинового розчину; 13 – мірник водного розчину луку; 6, 15 – вакуум-сушарка; 7, 16 – кульовий млин; 8, 17 – пристрій для відділення порошку жому; 18 – стіл фасування знепектиненого жому в дрібну тару; 19 – мірник 70%-вого етилового спирту; 21 – мірник 96%-вого етилового спирту; 22 – монтежу водного розчину спирту; 23 – апарат приготування водної суспензії пектину для сушіння; 24 – розпилююча сушарка; 25 – циклон; 26 – рукавний фільтр; 27 – шнековий накопичувач висушеного пектину для подання на фасування в дрібну тару

при температурі 90°C і при гідромодулі 1:200 при перемішуванні маси протягом 4 год. Розчин, що утворився після другої екстракції пектину, фільтрують на фільтрувальному апараті 11. Фільтрат разом із промивною водою поступає в апарат 5, де змішується з розчином пектину першої стадії екстракції або надходить в окремий збірник. З метою очищення бурякового жому після другої екстракції його промивають на фільтрі 11 водою, віджимають і передають в апарат 12 для обробки водним розчином луку, що завантажується із мірника 13.

Фільтрація гідролізованої реакційної маси.

Після лужної обробки очищений жом фільтрують на фільтрувальному апараті 14, промивають водою і висушують у вакуум-сушарці 15 з подальшим подрібненням його в кульовому млині 16. Подрібнений жом відділяють від мелочих тіл та розфасовують на лінії 18 з передачею замовнику очищеного пектину.

До розчину суміші пектинових речовин I та II фракцій, що містяться в апараті 5, із мірника 19 додають два об'єми 96%-вого етилового спирту. Масу перемішують, віджимають на фільтрувальному апараті 20, і повторно із мірника 21 додають два об'єми 70%-вого водного розчину етилового спирту. Після перемішування суспензію фільтрують, осад пектинових речовин на фільтрі дворазово промивають 70%-вим розчином етилового спирту із мірника 21 та промивають водою. Фільтрат, що містить етиловий спирт та промивні води, надходить у монтежу 22, з метою регенерації етилового спирту. Кубовий залишок після ректифікації спирту передають спалювання або на біохімічистку (БХО).

Висушування готового продукту. Водна паста пектинових речовин із фільтрувального апарату 20 поступає в апарат з мішалкою 23, де розбавляється гарячою водою і при постійному перемішуванні суспензія пектину подають у камеру розпилюючої сушарки 24 із нержавіючої сталі. Водна суспензія із апарату 23 самопливом поступає в камеру 24 сушарки з одночасним поданням теплоносія, нагрітого в теплогенераторі до необхідної температури повітря. Температура на виході із сушарки складає 80±5°C і регулюється швидкістю подачі потоку суспензії пектину на висушування.

Пиловидний пектин після циклону 25 направляється на додаткове уловлювання в рукавний фільтр 26. Висушений пектин із сушальної камери 24, циклону 25 і рукавного фільтру 26 поступає в шнековий накопичувач 27 з якого готовий продукт розфасовують у транспортну тару і відправляють на склад або замовнику.

Практичне використання отриманого пектину. Пектинові речовини, отримані на першій стадії екстракції (високомолекулярні) можуть бути використані в харчовій промисловості в якості загущувача і структуроутворювача. Низькомолекулярні пектинові речовини (друга стадія екстракції) рекомендуються для застосування у фармацевтичній промисловості в якості фізіологічно-активних речовин. Буряковий, очищений від пектину жом (15% від маси сухих речовин), може застосовуватися для створення нанофібрилярної або нанокристалічної целюлози, яка використовується в медичній практиці.

Таблиця

Основні функції і області використання одержаного пектину

Функціональна характеристика	Область використання
Гелеутворювач	Технологія харчових та фармацевтичних виробів
Структурутворювач	Технологія фармацевтичних та косметичних виробів
Загущувач	Технологія фармацевтичних та косметичних виробів
Стабілізатор	Технологія харчових та фармацевтичних виробів
Комплексоутворювач	Хімічна технологія лікарських препаратів
Капсулювання лікарських препаратів	Технологія фармацевтичних виробництв, медицина
Кровопринювач та заживлювач	Медицина, фармацевтичне виробництво
Кров'яний плазмозамінювач	Медицина, фармацевтичне виробництво

Напрацьовані в дослідно-виробничих умовах Інституту хімічних технологій та промислової екології (ІХТПЕ, м. Рубіжне) зразки пектину за рекомендаціями [25-27] випробувані при випічці хлібобулочних та кондитерських виробів на харчосмаковій фабриці (м. Кременна, Луганської обл.). Частина зразків апробовані в якості ефективної добавки до комбикормів для курей і великої рогатої худоби.

Основні функції та сфери застосування синтезованого за вдосконаленим способом пектину наведено в таблиці.

Зразки пектину, отриманого з бурякового жому, відповідають міждержавному стандарту (ДСТУ 21186), що діє на території України [28], за всіма показниками якості: зовнішнім виглядом, запахом, кольором, смаком, ступенем етерифікації, гелеутворюючою здатністю з кількістю часточок волокнистої фракції і мікробіологічною властивістю та відсутністю сторонніх домішок. Для фармацевтичних препаратів у пектині в необхідній кількості містяться метоксигрупи і галактуронова кислота та відсутні нітрати, цукор, органічні кислоти, сполуки міді, свинцю та інших шкідливих елементів.

Висновки. 1. Удосконалена технологія одержання пектину в порівнянні з відомими технологіями, відрізняється безвідходністю та екологічністю, так як при екстракції використовується в низьких концентраціях хлороводнева кислота. При виділенні пектину в якості екстрагенту застосовується відновлений дистиляцією етиловий спирт. 2. Оптимізовано умови екстракції пектину з бурякового жому, що дозволяє отримати пектин з виходом до 30%, а відходи від екстракції пектину, які використовуються як біопаливо або для технологічних потреб у виробництві матеріалів медичного призначення і ін.

Література

- Ostrovka MV, Sokolenko NM, Ostrovka VI, Moroz OV, Popov EV Food dye and pectin from red beets, their production. In the collection. IV International Scientific and Practical Conference «WORLD SCIENCE: PROBLEMS, PROSPECTS AND INNOVATIONS» December 23-25, 2020 in Toronto (Canada). – P. 559-566.
- Iklasova A. S., Sakipova Z. B., Bekbolatova E. N. Pectin: composition, production technology, application in the food and pharmaceutical industries. Review article. Kazan National Medical university S. D. Asfendiyarova.
- Donchenko L.V. Technology of pectin and pectin products. - M.: Deli, 2000. - 256 p.
- Golubev V. N. Pectin: chemistry, technology, application. - M.: Chemistry. - 2005. - 317 p.
- Protsyshyn B, N., Weinberg R. Sh., Gordienko P. V. The use of pectin substances for the treatment and prevention of victims of the Chernobyl accident // National Academy of Sciences of Ukraine - Chernobyl: Coll. scientific works / Nat. bibl-ka of Ukraine named after VI Vernadsky. - K.: 2006. - Access mode: <http://www.nbu.gov.ua/books/2006/chernobyl/pbn.pdf>.
- Dolinsky A. A., Zagorodnyi V. A., Weinberg R. Sh., Protsyshyn B. N. Pectic substances - effective means of human protection from the harmful effects of the environment // in: Antiradiation nutrition. - Kiev. - 2000. - P. 32-36.
- Sobol I. V., Rodionova L. Ya., Barysheva I. N. Study of the possibility of obtaining pectin extracts of high purity // Scientific journal of KubSAU. - 2016. - №123 (09). - P. 54-59.
- Golubev V. N. Pectin: Chemistry, technology, application. - M.: 1995. - 155 p.
- Betaeva E. A. Pectin, its modifications and application in the food industry // Food industry. - 1992. - №7. - 1992. - P. 32-39.
- Grinchishina Z. F. The use of pectin in food production // Storage and processing of agricultural raw materials. - 1998. - №1. - P. 35-39.
- Sokol N. V., Khatko Z. N., Donchenko L. V., Firsov G. G. The state of the pectin market in Russia and abroad // Maikop State Technological University. - 2008. - P. 30-35.
- Author's certificate of the USSR 840043, C08B 37/06, 1981.
- Author's certificate of the USSR 664947, C08B 37/06, 1979.
- Patent application GB № 2201684, C08B 37/06, 1988.
- Russian Patent № 2116313, IPC C08B 37/06, 1998.
- Russian Patent № 2528496, IPC C13B 5/06, 2014.
- Russian Patent № 2262866, IPC C08B 37/06, 2005.
- Russian Patent № 2088112, IPC C08B 37/06, 1997.
- Russian Patent № 2262865, IPC A23L 1/0524, 2005.
- Russian Patent № 2022969, IPC C08B 37/06, 1994.
- Russian Patent № 2501810, IPC C08B 15/00, 2013.
- Donchenko L. V., Firsov G. G. Pectin main properties, production and application. - M.: 2007. - 174 p.
- Weinberg R. Sh., Bogdanov S. A., Butsky N. D. Relationship between heat exchange conditions of pectin production with the kinetics of their dehydration and structure formation. Heat and mass transfer - 2000. Minsk: ANC "ITMO them. A. V. Lykov»NASB. - 2000. - T. 9. - p. 76-82.
- Protsyshyn B. N., Weinberg R. Sh. Thermotechnological aspects of production and results of use of pectin radioprotectors. - Industrial heat engineering. - 2003. - V. 25, № 4. - P. 183-185.

25. Skobelskaya Z. G., Goryacheva G. N. Technology of production of sugar confectionery. - M.: ProfObrIzdat. - 2002. - 416 p.
26. Russian Patent № 2043035, 1995, A23b 1/06. Jelly marmalade and method of its production. - Bull. № 25, 1995.
27. Russian Patent № 2260314, 2005, A23b 1/06. The method of preparation of jelly marmalade. - Bull. № 26, 2005.
28. GOST (DSTU) 29186-91. Pectin. - International standard. - 15 p.

References

1. Ostrovka MV, Sokolenko NM, Ostrovka VI, Moroz OV, Popov EV Food dye and pectin from red beets, their production. In the collection. IV International Scientific and Practical Conference «WORLD SCIENCE: PROBLEMS, PROSPECTS AND INNOVATIONS» December 23-25, 2020 in Toronto (Canada). – P. 559-566.
2. Iklasova A. S., Sakipova Z. B., Bekbolatova E. N. Pectin: composition, production technology, application in the food and pharmaceutical industries. Review article. Kazan National Medical university S. D. Asfendiyarova.
3. Donchenko L.V. Technology of pectin and pectin products. - M.: Deli, 2000. - 256 p.
4. Golubev V. N. Pectin: chemistry, technology, application. - M.: Chemistry. - 2005. - 317 p.
5. Protsyshyn B. N., Weinberg R. Sh., Gordienko P. V. The use of pectin substances for the treatment and prevention of victims of the Chernobyl accident // National Academy of Sciences of Ukraine - Chernobyl: Coll. scientific works / Nat. bibl-ka of Ukraine named after VI Vernadsky. - K.: 2006. - Access mode: <http://www.nbu.gov.ua/books/2006/chernobyl/pbn.pdf>.
6. Dolinsky A. A., Zagorodnyy V. A., Weinberg R. Sh., Protsyshin B. N. Pectic substances - effective means of human protection from the harmful effects of the environment // in: Antiradiation nutrition. - Kiev. - 2000. - P. 32-36.
7. Sobol I. V., Rodionova L. Ya., Barysheva I. N. Study of the possibility of obtaining pectin extracts of high purity // Scientific journal of KubSAU. - 2016. - №123 (09). - P. 54-59.
8. Golubev V. N. Pectin: Chemistry, technology, application. - M.: 1995. - 155 p.
9. Betaeva E. A. Pectin, its modifications and application in the food industry // Food industry. - 1992. - №7. - 1992. - P. 32-39.
10. Grinchishina Z. F. The use of pectin in food production // Storage and processing of agricultural raw materials. - 1998. - №1. - P. 35-39.
11. Sokol N. V., Khatko Z. N., Donchenko L. V., Firsov G. G. The state of the pectin market in Russia and abroad // Maikop State Technological University. - 2008. - P. 30-35.
12. Author's certificate of the USSR 840043, C08B 37/06, 1981.
13. Author's certificate of the USSR 664947, C08B 37/06, 1979.
14. Patent application GB № 2201684, C08B 37/06, 1988.
15. Russian Patent № 2116313, IPC C08B 37/06, 1998.
16. Russian Patent № 2528496, IPC C13B 5/06, 2014.
17. Russian Patent № 2262866, IPC C08B 37/06, 2005.
18. Russian Patent № 2088112, IPC C08B 37/06, 1997.
19. Russian Patent № 2262865, IPC A23L 1/0524, 2005.
20. Russian Patent № 2022969, IPC C08B 37/06, 1994.
21. Russian Patent № 2501810, IPC C08B 15/00, 2013.
22. Donchenko L. V., Firsov G. G. Pectin main properties, production and application. - M.: 2007. - 174 p.

23. Weinberg R. Sh., Bogdanov S. A., Butsky N. D. Relationship between heat exchange conditions of pectin production with the kinetics of their dehydration and structure formation. Heat and mass transfer - 2000. Minsk: ANC "ITMO them. A. V. Lykov»NASB. - 2000. - T. 9. - p. 76-82.
24. Protsyshyn B. N., Weinberg R. Sh. Thermotechnological aspects of production and results of use of pectin radioprotectors. - Industrial heat engineering. - 2003. - V. 25, № 4. - P. 183-185.
25. Skobelskaya Z. G., Goryacheva G. N. Technology of production of sugar confectionery. - M.: ProfObrIzdat. - 2002. - 416 p.
26. Russian Patent № 2043035, 1995, A23b 1/06. Jelly marmalade and method of its production. - Bull. № 25, 1995.
27. Russian Patent № 2260314, 2005, A23b 1/06. The method of preparation of jelly marmalade. - Bull. № 26, 2005.
28. GOST (DSTU) 29186-91. Pectin. - International standard. - 15 p.

Teteriev M. M., Sokolenko N. M., Ostrovka V. I., Moroz O. V., Popov Y. V., Ruban E. V. Waste-free technology of pectin production from waste industry waste

Studies have been conducted to create an improved simplified technology for obtaining oxidation-resistant food beet pectin from its extracts for the production of bakery, confectionery, jelly marmalade and other foods, which will reduce the duration of the process while reducing energy consumption. The object of research is the development of modern advanced, simplified technology for obtaining oxidation-resistant beet pectin from beet pomace. Such a product must meet the quality requirements that ensure its use in the food, confectionery, medical and pharmaceutical industries. In addition, the developed technology should provide maximum yield of the finished product (pectin) and optimal technological conditions for the processing of beet pulp. The aim of the study was to study the optimal conditions for obtaining pectin from beet pomace by hydrolysis with hydrochloric acid instead of nitric acid, followed by separation of pectin from the neutralized extract with 96% ethyl alcohol. To achieve this goal, the following tasks should be performed: to investigate the conditions of extraction of pectin from beet pomace and the conditions of its precipitation from the extract of ethyl alcohol; determine the optimal parameters of the process of obtaining pectin; to develop on the basis of the data received in the course of researches, the basic technological scheme of reception of pectin from beet pomace. On the basis of the performed researches and the received results the technological scheme of pectin production from red beet pomace is developed. The improved technology of pectin production in comparison with known technologies differs in waste-freeness and environmental friendliness as at extraction hydrochloric acid of low concentrations is used as extractant, and the ethyl alcohol restored by distillation is used for isolation of pectin. The conditions of pectin extraction from beet pulp have been optimized, which allows to obtain pectin with a yield of up to 30 percent. Samples of pectin obtained from beet pulp meet the interstate standard (DSTU 21186) in force in Ukraine [28], in all quality indicators: appearance, odor, color, taste, degree of esterification, gelling ability with the number of particles of fibrous fraction and microbiological properties and the absence of impurities. For pharmaceuticals, pectin contains the required amount of methoxy groups and galacturonic acid and no nitrates, sugar, organic acids, arsenic, lead and other harmful elements.

Wastes from pectin extraction are used as biofuels or for technological needs in the production of medical materials.

Keywords: *beet pomace, beet pectin, waste-free technology, process reduction and improvement, food product.*

Тетерев М. М. – аспірант Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Рубіжне),
e-mail: manirtet86@gmail.com.

Соколенко Н. М. – асистент кафедри фармацевтичної хімії та фармакогнозії (м. Рубіжне) Державний заклад «Луганський державний медичний університет», e-mail: sokolenkonadiya@gmail.com.

Островка В. І. – старший викладач кафедри екології та садово-паркового господарства (м. Рубіжне) Луганський національний університет імені Тараса Шевченка, e-mail: ecology@iht.lg.ua.

Мороз О. В. – к.т.н., ФОП, e-mail: moroz.valeri@ukr.net.

Попов Є. В. – д.т.н., професор, кафедри екології та садово-паркового господарства (м. Рубіжне) Луганський національний університет імені Тараса Шевченка, e-mail: zhenya.popov.46@gmail.com.

Рубан Е. В. – к.б.н., доцент кафедри нормальної фізіології та патологічної фізіології Державного закладу «Луганський державний медичний університет», e-mail: ruban.elin@gmail.com.

Стаття подана 11.06.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-69-75>

УДК 537.84

ВТРАТИ ТИСКУ ПІД ЧАС ТЕЧІЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОЇ РІДИНИ МІСЦЕВИМИ ОПОРАМИ ТРУБОПРОВОДУ

Чернецька-Білецька Н.Б., Роговий А.С., Мірошникова М.В.

LOSS OF PRESSURE DURING THE FLOW OF ELECTRIC CONDUCTIVE LIQUID BY LOCAL MINOR ENERGY LOSSES OF THE PIPELINE

Chernetskaya-Beletskaya N.B., Rogovyi A.S., Miroshnykova M.V.

На основі чисельного моделювання течії електропровідної рідини в трубопроводі з місцевими опорами визначено залежності коефіцієнтів втрат тиску під час течії в раптового розширенні та раптового звуженні. Розрахунок здійснено на основі вирішення рівнянь Нав'є-Стокса осереднених за Рейнольдсом із SST (Shear Stress Transport) моделлю турбулентності. Верифікацію програмного продукту проведено шляхом порівняння результатів експериментів з результатами чисельного моделювання. Дія магнітного поля приводить до зниження середньої та максимальної швидкостей, до збільшення швидкості в прикордонному шарі для течії електропровідної рідини в раптового розширенні. На відміну від раптового звуження, в раптового розширенні можна спостерігати відмінність картин течії за дії поперечного магнітного поля. Як для раптового звуження, та і для раптового розширення залежності відносних втрат повного тиску від числа Гартмана мають квадратичну залежність.

Ключові слова: електропровідна рідина, раптове розширення, раптове звуження, чисельний розрахунок, магнітна гідродинаміка

Вступ.

Використання електропровідних рідин в багатьох галузях виробництва привертає увагу великої кількості дослідників. Електропровідні рідини використовують для створення магнітогідродинамічних насосів, магнітогідродинамічної генерації енергії, очищення трубопроводів. Складність процесів, що відбуваються під час течії електропровідної рідини привів до відокремлення дисципліни – магнітної гідродинаміки. Також за допомогою магнітного поля можна впливати на течію плазми, рідких металів, солоні води та інших рідин з електропровідними властивостями [1, 2].

Складність математичних аналітичних досліджень в магнітній гідродинаміці виникає внаслідок одночасного моделювання руху рідини та рівнянь електродинаміки Максвелла [3, 4]. З іншої сторони

експериментальні дослідження коштовні та проводяться для перевірки роботи пристроїв [5]. Практичне використання електропровідних рідин у промисловості обмежується браком відомостей щодо втрат енергії під час руху в трубопроводі, що виникає внаслідок того, що аналітичним шляхом такі втрати розрахувати неможливо [6, 7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Багато робіт щодо руху електропровідних рідин опубліковано Гартманом [8] та Альвеном [9], але в них використовуються або експериментальні дослідження, або теоретичні з великою кількістю обмежень, що приводить до значних помилок при їх використанні.

Аналітичні розрахунки на основі сумісного вирішення приватних випадків в одномірній постановці рівнянь Нав'є-Стокса та рівнянь Максвелла не дозволяють зробити висновок про втрати енергії на місцевих опорах трубопроводу внаслідок складності відривів течії від стінок, та тривимірності відривів [10]. Аналітичне математичне моделювання ускладнюється, якщо рідини проявляють властивості неньютонівських рідин [11, 12]. Все це призводить до значних помилок моделювання, знизити які дослідники намагаються за рахунок експериментальних досліджень. Тому, як для звичайної рідини, так і для електропровідної розрахувати втрати енергії в місцевих опорах аналітичним шляхом неможливо [13-15].

Із появою потужних комп'ютерів з'явилася можливість математичного моделювання на основі чисельного розв'язку рівнянь Нав'є-Стокса та рівнянь Максвелла, але це потребує дуже значних витрат часу на розрахунок при використанні методів прямого чисельного моделювання (DNS) та крупних вихорів (LES) [11, 12, 16, 17].

Осереднення рівнянь за Рейнольдсом дозволяє зменшити необхідний для розрахунку час при не-

значному погіршенні точності розрахунку, що пов'язано з використанням моделей турбулентності [18-22].

Тому, актуальною стає задача знаходження залежностей втрат тиску під час течії електропровідної рідини місцевими опорами шляхом математичного моделювання із використанням числового розв'язання.

Метою роботи є визначення залежностей втрат тиску під час течії електропровідної рідини місцевими опорами трубопроводу, як-от: раптове розширення та раптове звуження.

Результати досліджень.

Коректність використання числових методів для розрахунку електропровідної рідин оцінена шляхом верифікації течії 30 % водного розчину гідроксиду калію трубопроводом з числом Гартмана $Ha = BR\sqrt{\sigma/\rho\nu} = 20$. Де B – магнітна індукція; R – радіус труби; σ – електропровідність; ρ – густина; ν – кінематична в'язкість.

Основні фізичні властивості рідини [11]: густина – 1280 кг/м³; динамічна в'язкість – 0,00143 Па с; кінематична в'язкість – 1,18×10⁻⁶ м²/с; електропровідність – 73,67 См/м; теплопровідність – 0,727 Вт/(м К); теплоємність – 3000 Дж/(кг К). Рідина вважалася в'язкою, нестисливою. Рівняння руху рідини вирішувалися чисельно у програмному середовищі Ansys CFX (зі студентською ліцензією).

Математична модель складалася з осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стоксу, рівнянь SST (Shear Stress Transport) моделі турбулентності, рівняння нерозривності та рівнянь Максвелла для течії нестисливої рідини [23-25]:

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left([\mu + \mu_T] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + f_i, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0, \quad (2)$$

$$\vec{f} = [\vec{j} \times \vec{B}], \quad (3)$$

$$\nabla(\sigma \nabla \Phi) = \nabla \cdot [\sigma \vec{u} \times \vec{B}], \quad (4)$$

$$\nabla^2 \Phi = \nabla \cdot [\vec{u} \times \vec{B}], \quad (5)$$

де x_j – декартові координати; u_j – проекції швидкості в декартовій системі координат; t – час; p – гідродинамічний тиск; f_i – проекції вектора масових сил на осі координат (сила Лоренца); μ – динамічна (молекулярна) в'язкість; μ_T – турбулентна динамічна в'язкість; \vec{j} – щільність електричного струму, що виникає в електропровідній рідині, яка рухається зі швидкістю \vec{u} за рахунок місцевого

електричного поля; Φ – скалярний електростатичний потенціал.

В даній роботі моделювалося два типи місцевих опорів: раптове звуження та раптове розширення потоку. Твердотільні моделі наведено на рис. 1.

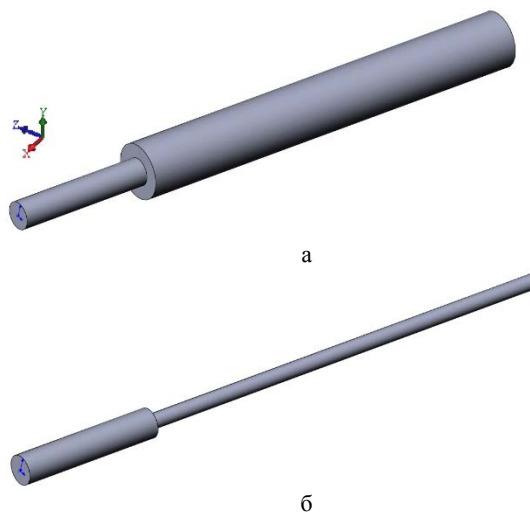


Рис. 1. Твердотільні моделі місцевих опорів: а – раптове розширення; б – раптове звуження

Сіткові моделі побудовані призматичними та тетрагональними елементами [26] та наведені на рис. 2. Програмний комплекс є валідованим для розрахунку класу течій розглянутих в даній статті [23, 27, 28].

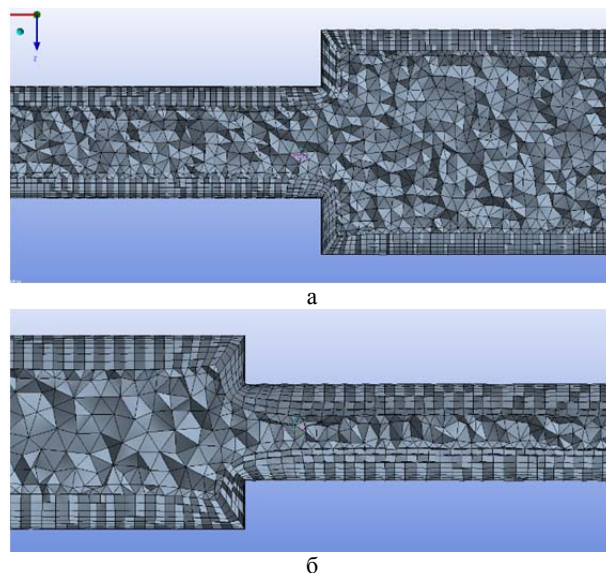


Рис. 2. Сіткові моделі місцевих опорів: а – раптове розширення; б – раптове звуження

Розрахунок завершувався при дотриманні двох умов: нев'язання всіх рівнянь менші за 10⁻⁵ і зміна амплітуди коливань перепаду тиску в трубопроводі за ітераціями не перевищує 1 % [29-31].

Для того щоб не створювати початкову дільницю великої довжини у вхідному перетині каналу швидкість задано на основі розрахунку за формулою:

$$V = V_{\max} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7}, \quad (6)$$

де r – радіус точки в перетині труби; $R = 0,05$ м – радіус труби. У вихідному перетині заданий нульовий статичний тиск. Для нерухокої стінки – скалярний електростатичний потенціал $\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0$.

Геометричні параметри досліджуваних місцевих опорів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Геометричні параметри місцевих опорів

Параметр	Раптове розширення	Раптове звуження
Діаметр труби до опору, мм	100	100
Діаметр труби після опору, мм	200	50
Довжина дільниці до опору, мм	1000	1000
Довжина дільниці після опору, мм	2000	2000

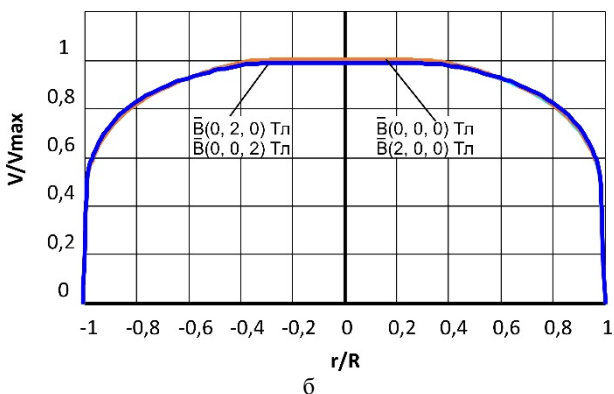
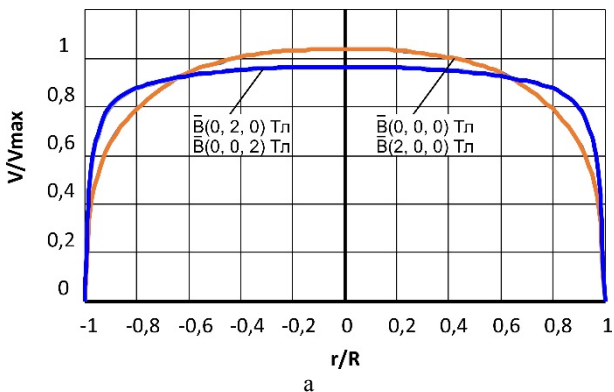


Рис. 3. Розподіл швидкості вздовж радіусу: а – на відстані 100 мм до раптового звуження; б – на відстані 1400 мм після раптового звуження

Аналізуючи рис. 3 можна дійти до висновку, що магнітне поле на початковій дільниці має незначний вплив, але після проходження раптового звуження

вплив магнітного поля практично нівелюється (рис. 3б). Графіки побудовані з числом Гартмана $Ha = 10$. Швидкість віднесена до максимальної швидкості V_{\max} в центрі труби, у випадку течії рідини без дії магнітного поля. Магнітна індукція задавалася вектором $\vec{B}(B_x, B_y, B_z)$ Тл. Труба орієнтована вздовж осі x . Тому дія двох компонентів магнітної індукції створюють поперечне магнітне поле.

Результати розрахунку течії в раптовому звуженні наведено на рис. 4.

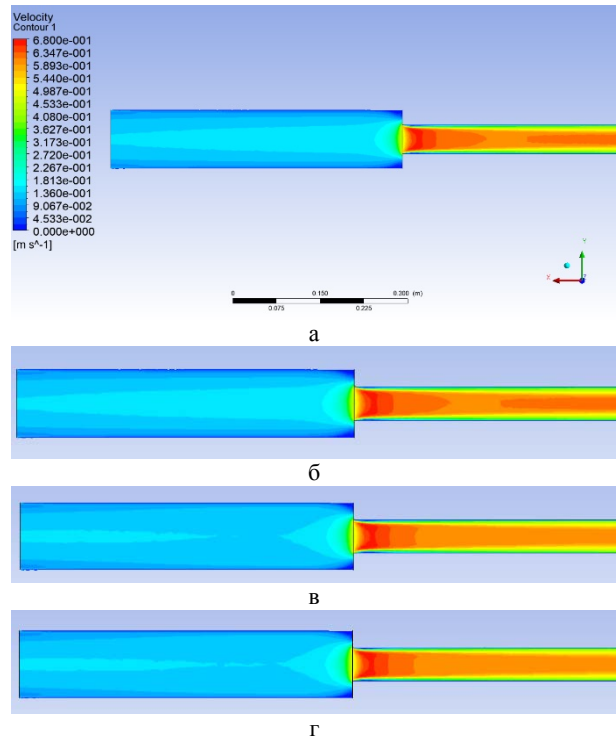


Рис. 4. Розподіл швидкості під час течії в раптовому звуженні: а – $\vec{B}(0, 0, 0)$; б – $\vec{B}(2, 0, 0)$; в – $\vec{B}(0, 2, 0)$; г – $\vec{B}(0, 0, 2)$

Дія магнітного поля практично не впливає на картини течії в раптовому звуженні (рис. 4). Деякі відмінності можна спостерігати для поперечної дії вектора магнітної індукції (рис. 4в, г).

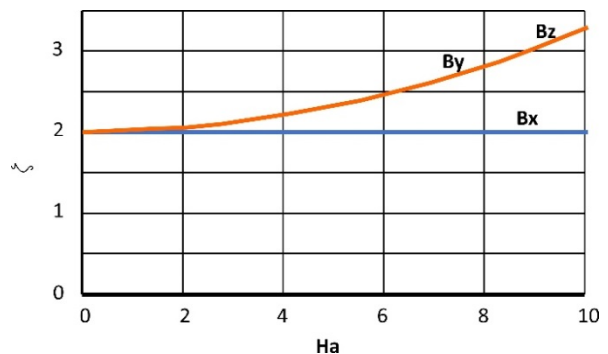


Рис. 5. Залежність коефіцієнту місцевого опору раптового звуження від числа Гартмана

На рис. 5 наведено залежність коефіцієнта місцевого опору (раптового звуження) від числа Гартмана. Спостерігається повне співпадіння кривих для поперечної дії вектора магнітної індукції. Діапазон зміни проекції магнітної індукції на кожен вісь – 0..2 Тл. Коефіцієнт місцевого опору має квадратичну залежність від числа Гартмана (коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 0,999).

Магнітне поле збільшує коефіцієнт місцевого опору (раптове звуження) більше ніж в 5 разів за малих чисел Рейнольдса. Збільшення чисел Рейнольдса та перехід до розвинутої турбулентної течії приводить до асимптотичного співпадіння коефіцієнтів за різної орієнтації магнітного поля (Рис. 6). Це пояснюється збільшенням швидкості течії та зменшенням відносної дії магнітного поля на потік.

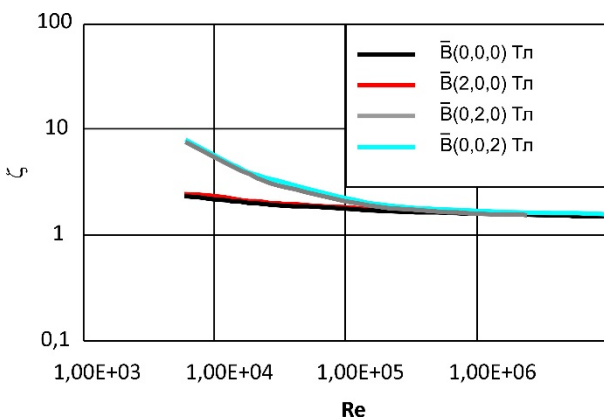


Рис. 6. Залежність коефіцієнту місцевого опору (раптове звуження) від числа Рейнольдса

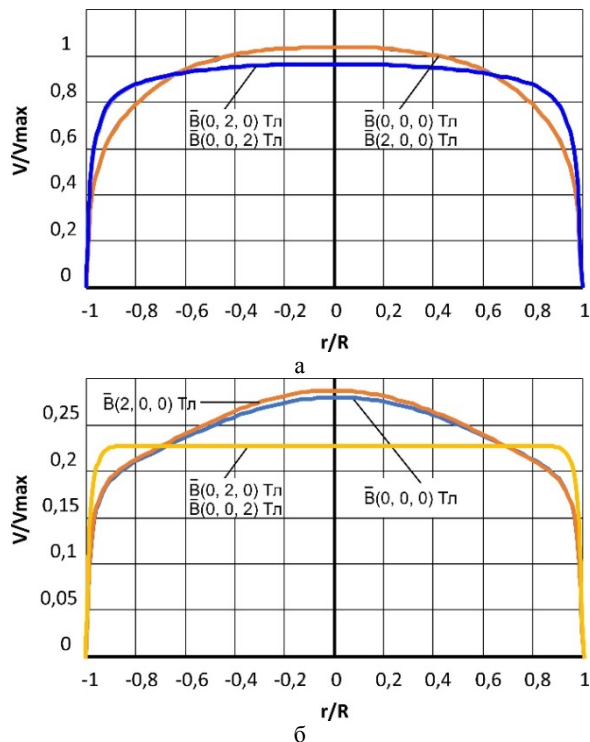


Рис. 7. Розподіл швидкості вздовж радіусу:
а – на відстані 100 мм до раптового розширення;
б – на відстані 1400 мм після раптового розширення

На рис. 7 наведено порівняння профілів швидкості під час течії в раптовому розширенні із різним напрямком магнітної індукції. Порівнюючи рис. 7а та рис. 7б зауважимо, що розподіл швидкості практично однаковий на початковій ділянці, що відповідає умовам завдання. Рис. 7б показує, що дія магнітного поля приводить до зниження середньої та максимальної швидкостей, до збільшення швидкості в прикордонному шарі. Графіки побудовані з числом Гартмана $Ha = 20$. Швидкість віднесена до максимальної швидкості на початковій ділянці V_{max} в центрі труби, у випадку течії рідини без дії магнітного поля. Труба орієнтована вздовж осі x .

Результати розрахунку течії в раптовому розширенні наведено на рис. 8.

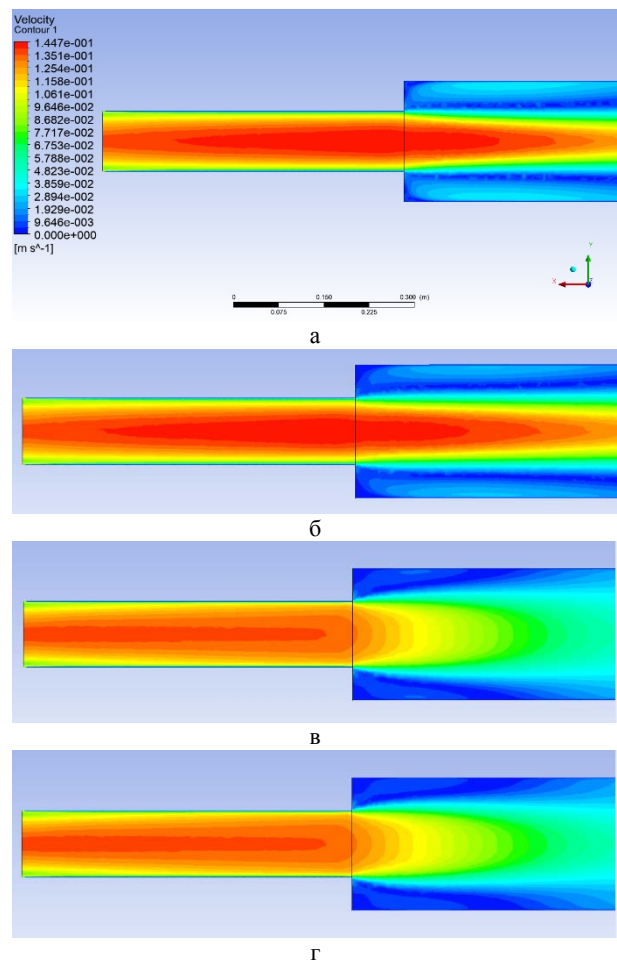


Рис. 8. Розподіл швидкості під час течії в раптовому розширенні: а – $\bar{B}(0, 0, 0)$; б – $\bar{B}(2, 0, 0)$;
в – $\bar{B}(0, 2, 0)$; г – $\bar{B}(0, 0, 2)$

На відміну від раптового звуження (Рис. 4), в раптовому розширенні (Рис. 8) можна спостерігати відмінність картин течії за дії поперечного магнітного поля. Значно зменшується область високої швидкості після проходження розширення. Змінюються параметри розширення струменя.

Як для раптового звуження, та і для раптового розширення (Рис. 9) залежності відносних втрат повного тиску від числа Гартмана мають квадратичну залежність. Спостерігається повне співпадіння кривих для поперечної дії вектора магнітної індукції.

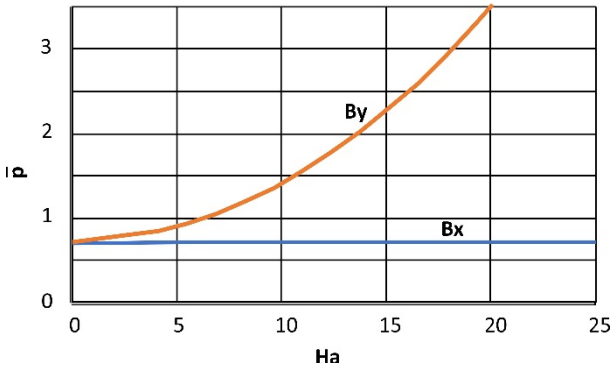


Рис. 9. Залежність коефіцієнту відносних втрат повного тиску для раптового розширення від числа Гартмана

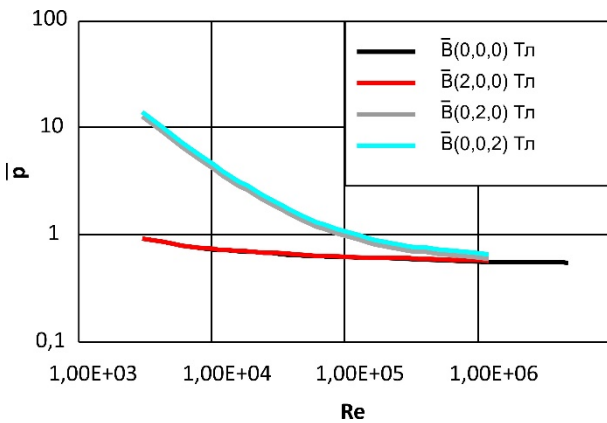


Рис. 10. Залежність коефіцієнту місцевого опору (раптове розширення) від числа Рейнольдса

Дія магнітного поля з вектором магнітної індукції, що співпадає з віссю течії електропровідної рідини практично не впливає на втрати тиску в раптовому розширенні (Рис. 10). Дія поперечного вектора магнітної індукції збільшує втрати тиску на порядок за малих чисел Рейнольдса. Збільшення чисел Рейнольдса до значень $Re > 10^6$ нівелює дію магнітного поля.

Висновки:

На основі чисельного моделювання течії електропровідної рідини в трубопроводі з місцевими опорами визначено залежності коефіцієнтів втрат тиску під час течії в раптовому розширенні та раптовому звуженні. Розрахунок здійснено на основі вирішення рівнянь Нав'є-Стоксу осереднених за Рейнольдсом із SST-моделлю турбулентності. Верифікацію програмного продукту проведено шляхом порівняння результатів експериментів [9] з результатами чисельного моделювання.

1. Магнітне поле на початковій ділянці раптового звуження має незначний вплив, але після

проходження місцевого опору вплив магнітного поля практично нівелюється. Дія магнітного поля практично не впливає на картини течії в раптовому звуженні. Магнітне поле збільшує коефіцієнт місцевого опору (раптове звуження) більше ніж в 5 разів за малих чисел Рейнольдса. Збільшення чисел Рейнольдса та перехід до розвинутої турбулентної течії приводить до асимптотичного співпадіння коефіцієнтів за різної орієнтації магнітного поля. Це пояснюється збільшенням швидкості течії та зменшенням відносної дії магнітного поля на потік.

2. Дія магнітного поля приводить до зниження середньої та максимальної швидкостей, до збільшення швидкості в прикордонному шарі для течії електропровідної рідини в раптовому розширенні. На відміну від раптового звуження, в раптовому розширенні можна спостерігати відмінність картин течії за дії поперечного магнітного поля. Значно зменшується область високої швидкості після проходження розширення. Змінюються параметри розширення струменя. Як для раптового звуження, та і для раптового розширення залежності відносних втрат повного тиску від числа Гартмана мають квадратичну залежність. Спостерігається повне співпадіння кривих для повздовжньої дії вектора магнітної індукції. Дія поперечного вектора магнітної індукції збільшує втрати тиску на порядок за малих чисел Рейнольдса. Збільшення чисел Рейнольдса до значень $Re > 10^6$ нівелює дію магнітного поля.

Література

1. Sabu A.S., Mathew A., Neethu T.S., George K.A. Statistical analysis of MHD convective ferro-nanofluid flow through an inclined channel with hall current, heat source and sores effect. Thermal Science and Engineering Progress, 2021. 22, pp. 100816.
2. Nijhawan P., Singla M.K., Gupta J. A Proposed Hybrid Model for Electric Power Generation: A Case Study of Rajasthan, India. IETE Journal of Research, 2021. pp. 1-11.
3. Frank M. Visual analysis of two-dimensional magnetohydrodynamics. Phys.Fluids, 2001. vol.13, pp. 2287-2295.
4. Gedik E., Kurt H., Recebli Z. CFD simulation of magnetohydrodynamic flow of a liquid-metal galinstan fluid in circular pipes. Fluid Dynamics and Materials Processing, 2013. 9(1), pp. 23-33.
5. Attia H.A., Ahmed M.E. Circular pipe MHD flow of a dusty Bingham fluid. Journal of Applied Science and Engineering, 2005. 8(4), pp. 257-265.
6. Сємін Д.А., Роговой А.С. Влияние типа и размера расчетных сеток на точность расчета течений в вихрекамерных нагнетателях. Вісник Національного технічного університету «ХП». Збірник наукових праць. Серія: Гідрравлічні машини та гідроагрегати. Харків: НТУ «ХП». 2016. № 41 (1213). С. 70-77.
7. Сємін Д.А., Роговой А.С., Левашов А.Н., Левашов Я.Н. Верификация расчетов течений в вихрекамерных устройствах. Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування, 2016. № 2 (77). С. 71-78.

8. Hartmann J., Lazarus F. Hg-dynamics II. Theory of laminar flow of electrically conductive Liquids in a Homogeneous Magnetic Field, 1937. 15(7).
9. Alfvén H. Magnetohydrodynamics and the thermonuclear problem. Proceedings of the Second Nations International Conference. Vol. 31. 1958.
10. Davidson P.A. Magnetohydrodynamics in materials processing. Annual Review of Fluid Mechanics, 1999. 31(1), pp. 273-300.
11. Takeuchi J., Satake S.I., Morley N.B., Kunugi T., Yokomine T., Abdou M.A. Experimental study of MHD effects on turbulent flow of Flibe simulant fluid in circular pipe. Fusion Engineering and Design, 2008. 83(7-9), pp. 1082-1086.
12. Zhang X., Pan C., Xu Z. Experimental investigations on liquid metal MHD turbulent flows through a circular pipe with a conductive wall. Fusion Engineering and Design, 2017. 125, pp. 647-652.
13. Csizmadia P, Till S, Hos C. An experimental study on the jet breakup of Bingham plastic slurries in air. Exp Therm Fluid Sci, 2019,102, pp. 271-278.
14. Liu M, Duan YF. Resistance properties of coalewater slurry flowing through local piping fittings. Exp Therm Fluid Sci, 2009, 33(5), pp.828-837.
15. Rogovyi A., Korohodskiy V., Medvediev Ye. Influence of Bingham fluid viscosity on energy performances of a vortex chamber pump. Energy, 2021. Vol. 218. pp. 119432.
16. Meng Z., Zhang S., Jia J., Chen Z., Ni M. A K ϵ -Epsilon RANS turbulence model for incompressible MHD flow at high Hartmann number in fusion liquid metal blankets. International Journal of Energy Research, 2018. Vol. 42(1), pp. 314-320.
17. Rogovyi A.S. Verification of fluid flow calculation in vortex chamber superchargers. Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. Харьков, 2016. Вып. 39. С. 39-46.
18. Tavangar S, Hashemabadi SH, Saberimoghdam A. CFD simulation for secondary breakup of coalewater slurry drops using OpenFOAM. Fuel Process Technol 2015.132. pp.153e63.
19. Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Baranov I., Krut A., Miroshnikova M., Bragin N. Increasing the efficiency of highly concentrated coal-water fuel based on the simulation of non-Newtonian fluid flow. In MATEC Web of Conferences 2019. Vol. 294, pp. 01009.
20. Сьомін Д.О., Роговий А.С. Вихорокамерні нагнітачі: монографія. Харків. ФОП Мезіна В.В. 2017. 204 с.
21. Роговий А. С. Розробка теорії та методів розрахунку вихорокамерних нагнітачів : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.05.17 / Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т. Харків, 2017. 364 с.
22. Чернецька-Білецька Н.Б., Роговий А.С., Баранов І.О., Мірошникова М.В. Математична модель просторової тривимірної течії водовугільного палива. Вісник СНУ ім. В.Даля. Сєвєродонецьк: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля. 2018. №1 (242). С. 159-164.
23. Widlund O. Implementation of MHD model equations in CFX 4.3. 2000.
24. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. 7-е изд., испр. М.: Дрофа 2003. 840 с.
25. Гарбарук А.В., Стрелец М. X., Шур М.І. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений, учеб. пособие, Издательство Политехнического университета, Спб, 2012, 88 с.
26. Matyushenko A. A., Stabnikov A. S., Garbaruk A. V. Criteria of computational grid generation for turbulence models taking into account laminar-turbulent transition. In Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1400, No. 7. pp. 077047.
27. Ansys C.F.X. Solver Theory Guide. Release 2019 R3. Canonsburg: ANSYS. 2019.
28. Zhang H., Li J., Wang Z., Xu Y., Lai Y. The numerical modeling of melt flow and mhd instabilities in an aluminum reduction cell. JOM, 2010. 62(11), pp. 26-31.
29. Han X., Sagaut P., Lucor D. On sensitivity of RANS simulations to uncertain turbulent inflow conditions, Comput. Fluids. 2012. Vol. 61. pp. 2-5.
30. Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Л.В., Мальцева М.О. Вихрові виконавчі пристрої: В 2-х частинах: Монографія. Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2009. Ч.1 Однорідні робочі середовища. 256 с.
31. Launder B.E., Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Appl. Mech. and Eng., 1974. 3. pp. 269-289.

References

1. Sabu A.S., Mathew A., Neethu T.S., George K.A. Statistical analysis of MHD convective ferro-nanofluid flow through an inclined channel with hall current, heat source and solet effect. Thermal Science and Engineering Progress, 2021. 22, pp. 100816.
2. Nijhawan P., Singla M.K., Gupta J. A Proposed Hybrid Model for Electric Power Generation: A Case Study of Rajasthan, India. IETE Journal of Research, 2021. pp. 1-11.
3. Frank M. Visual analysis of two-dimensional magnetohydrodynamics. Phys.Fluids, 2001. vol.13, pp. 2287-2295.
4. Gedik E., Kurt H., Recebli Z. CFD simulation of magnetohydrodynamic flow of a liquid-metal galinstan fluid in circular pipes. Fluid Dynamics and Materials Processing, 2013. 9(1), pp. 23-33.
5. Attia H.A., Ahmed M.E. Circular pipe MHD flow of a dusty Bingham fluid. Journal of Applied Science and Engineering, 2005. 8(4), pp. 257-265.
6. Syomin D.A., Rogovyi A.S. Vliyanie tipa i razmera raschetnyh setok na tochnost' rascheta techenij v vihrekamernykh magnetateljah. Visnik Nacional'nogo tehnicnogo universitetu «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Serija: Gidravlichni mashini ta gidroagregati. Harkiv: NTU «HPI». 2016. № 41 (1213). S. 70-77.
7. Syomin D.A., Rogovyi A.S., Levashov A.N., Levashov Ja.N. Verifikacija raschetov techenij v vihrekamernykh ustrojstvah. Visnik NTUU "KPI". Ser. Mashinobuduvannya, 2016. № 2 (77). S. 71-78.
8. Hartmann J., Lazarus F. Hg-dynamics II. Theory of laminar flow of electrically conductive Liquids in a Homogeneous Magnetic Field, 1937. 15(7).
9. Alfvén H. Magnetohydrodynamics and the thermonuclear problem. Proceedings of the Second Nations International Conference. Vol. 31. 1958.
10. Davidson P.A. Magnetohydrodynamics in materials processing. Annual Review of Fluid Mechanics, 1999. 31(1), pp. 273-300.
11. Takeuchi J., Satake S.I., Morley N.B., Kunugi T., Yokomine T., Abdou M.A. Experimental study of MHD effects on turbulent flow of Flibe simulant fluid in circular pipe. Fusion Engineering and Design, 2008. 83(7-9), pp. 1082-1086.
12. Zhang X., Pan C., Xu Z. Experimental investigations on liquid metal MHD turbulent flows through a circular pipe with a conductive wall. Fusion Engineering and Design, 2017. 125, pp. 647-652.

13. Csizmadia P, Till S, Hos C. An experimental study on the jet breakup of Bingham plastic slurries in air. *Exp Therm Fluid Sci*, 2019, 102, pp. 271-278.
 14. Liu M, Duan YF. Resistance properties of coalewater slurry flowing through local piping fittings. *Exp Therm Fluid Sci*, 2009, 33(5), pp.828-837.
 15. Rogovyi A., Korohodskiy V., Medvediev Ye. Influence of Bingham fluid viscosity on energy performances of a vortex chamber pump. *Energy*, 2021. Vol. 218. pp. 119432.
 16. Meng Z., Zhang S., Jia J., Chen Z., Ni M. A κ -Epsilon RANS turbulence model for incompressible MHD flow at high Hartmann number in fusion liquid metal blankets. *International Journal of Energy Research*, 2018. Vol. 42(1), pp. 314-320.
 17. Rogovyi A.S. Verification of fluid flow calculation in vortex chamber superchargers. *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. Харьков, 2016. Вып. 39. С. 39-46.*
 18. Tavangar S, Hashemabadi SH, Saberimoghdam A. CFD simulation for secondary breakup of coalewater slurry drops using OpenFOAM. *Fuel Process Technol* 2015.132. pp.153e63.
 19. Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Baranov I., Krut A., Miroshnikova M., Bragin N. Increasing the efficiency of highly concentrated coal-water fuel based on the simulation of non-Newtonian fluid flow. In *MATEC Web of Conferences* 2019. Vol. 294, pp. 01009.
 20. Syomin D.O., Rogovyi A.S. *Vykhoro kamerni nahnitachi: monohrafiya*. Kharkiv. FOP Mezina V.V. 2017. 204 s.
 21. Rogovyi A. S. Rozrobka teorii ta metodiv rozrakhunku vykhoro kamernykh nahnitachiv : dys. ... d-ra tekhn. nauk : spets. 05.05.17 / Kharkiv's'kyi nats. avtomobil'no-dorozhnyi un-t. Kharkiv, 2017. 364 s.
 22. Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Baranov I., Miroshnikova M. Matematychna model' prostorovoyi tryvymirnoyi techiyi vodovuhil'noho palyva. *Visnyk SNU im. V.Dalya. Syevyerodons'k: Vyd-vo Skhidnoukr. nats. un-tu im. V.Dalya*. 2018. #1 (242). S. 159-164.
 23. Widlund O. Implementation of MHD model equations in CFX 4.3. 2000.
 24. Lojczanskij L.G. *Mehanika zhidkosti i gaza: Ucheb. dlja vuzov*. 7-e izd., ispr. M.: Drofa 2003. 840 s.
 25. Garbaruk A.V., Strelets M. Kh, Shur M.L. *Modelirovanie turbulentnosti v raschotah slozhnykh techenij*, Text-book, Publishing house of Polytechnic University, St.-Petersburg, 2012 (in Russian), 88 pp.
 26. Matyushenko A. A., Stabnikov A. S., Garbaruk A. V. Criteria of computational grid generation for turbulence models taking into account laminar-turbulent transition. In *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1400, No. 7. pp. 077047.
 27. Ansys C.F.X. *Solver Theory Guide*. Release 2019 R3. Canonsburg: ANSYS. 2019.
 28. Zhang H., Li J., Wang Z., Xu Y., Lai Y. The numerical modeling of melt flow and mhd instabilities in an aluminum reduction cell. *JOM*, 2010. 62(11), pp. 26-31.
 29. Han X., Sagaut P., Lucor D. On sensitivity of RANS simulations to uncertain turbulent inflow conditions, *Comput. Fluids*. 2012. Vol. 61. pp. 2-5.
 30. Syomin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I., Voytsekhovskiy S.V., Rogovyi A.S., Dmytriyenko L.V., Maltseva M.O. *Vykhrovi vykonavchi prystroji: V 2-kh chastynakh: Monohrafiya*. Lugansk: vyd-vo SNU im. V.Dalya, 2009. Ch.1 Odnoridni robochi seredovysycha. 256 s.
 31. Launder B.E., Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Appl. Mech. and Eng.*, 1974. 3. pp. 269-289.
- Chernetskaya-Beletskaya N.B., Rogovyi A.S., Miroshnykova M.V. Loss of pressure during the flow of electric conductive liquid by local minor energy losses of the pipeline.**
- Today in many industries there is a need to pump electrically conductive fluids. For electrically conductive fluids, such a number of experimental studies has not yet been conducted, in addition, the dependencies are complicated by the influence of the magnetic field and the need to take into account their magnitude.*
- The complexity of mathematical analytical studies in magnetic hydrodynamics arises due to the simultaneous modeling of fluid motion and Maxwell's electrodynamic equations. On the other hand, experimental studies are valuable and are conducted to test the operation of devices. The practical use of conductive fluids in industry is limited by the lack of information on energy losses during the movement in the pipeline, which occurs due to the fact that such losses cannot be calculated analytically.*
- The aim of the paper is to determine the dependences of pressure losses during the flow of conductive fluid by local minor losses in the pipeline, such as: sudden enlargement and sudden contraction.*
- The mathematical model consisted of Reynolds-averaged Navier-Stokes equations, SST (Shear Stress Transport) equations of the turbulence model, continuity equations and Maxwell's equations for incompressible fluid flow.*
- The software was verified by comparing the results of experiments with the results of numerical simulations. The action of the magnetic field leads to a decrease in the average and maximum velocities, to an increase in the velocity in the boundary layer for the flow of conductive fluid in a sudden enlargement. In contrast to sudden contraction, in sudden enlargement it is possible to observe a difference in flow patterns under the action of a transverse magnetic field. Both for the sudden contraction and for the sudden enlargement, the dependences of the relative losses of total pressure on the Hartmann number have a quadratic character.*
- There is a complete coincidence of the curves for the longitudinal action of the magnetic induction vector. The action of the transverse vector of magnetic induction increases the pressure loss by an order of magnitude at small Reynolds numbers. Increasing the Reynolds numbers to the values of the developed turbulent flow eliminates the effect of the magnetic field.*
- Keywords:** *electric conductive liquid, sudden enlargement, sudden contraction, numerical calculation, magnetohydrodynamics.*
- Чернецька-Білецька Н.Б.** – д.т.н., проф., зав. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля. e-mail: logistyka.snu.edu.ua@gmail.com
Роговий А.С. – д.т.н., проф., зав. кафедри гідравлічних машин НТУ «ХП», м. Харків, Україна, e-mail: asrogovoy@ukr.net
Мірошникова М.В. – старший викладач кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля. e-mail: citroen4ik@gmail.com

Наукове видання

**ВІСНИК
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
№ 5 (269) 2021**

Науковий журнал

Відповідальний за випуск

Лорія М.Г.

Оригінал-макет

Могильна О.В.

Статті надруковано в авторській редакції

Підписано до друку 10.09.2021 р.
Формат 60 x 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 8,8. Обл.-вид. арк. 10,2.
Наклад 50 прим. Вид. № 3329. Заказ № 45. Ціна вільна.

Видавництво
Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

Адреса університета: просп. Центральний 59-А
м. Северодонецьк, 93400, Україна
E-mail: vidavnictvoSNU.ua@gmail.com

Надруковано:
Відділ технічного обслуговування СНУ ім. В. Даля
Адреса: просп. Центральний, 59-а
м. Северодонецьк, 93400