



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ел ІТ

# ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ - 2021**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ  
студентів та молодих вчених**

**(Суми, 19-23 квітня 2021 року)**

Суми,  
Сумський державний університет  
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2021**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
студентів та молодих вчених

(Суми, 19–23 квітня 2021 року)

Суми  
Сумський державний університет  
2021

## ***Шановні колеги!***

*Факультет електроніки та інформаційних технологій Сумського державного університету в черговий раз щиро вітає учасників щорічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка». Основними принципами конференції є відкритість і вільна участь для всіх учасників незалежно від віку, статусу та місця проживання. Оргкомітет планує й надалі не запроваджувати організаційного внеску.*

*Важливими особливостями конференції є технологічність та відмінні авторські сервіси завдяки веб-сайту конференції. Усі подані матеріали автоматично доступні для зручного перегляду на сайті та добре індексуються пошуковими системами. Це допомагає учасникам сформуванню своєї цільової аудиторії та є потужним фактором популяризації доробку авторів на довгі роки.*

*Засідання секцій відбудуться в дистанційному режимі за допомогою сучасних комунікаційних засобів.*

*Усі питання та пропозиції Ви можете надіслати на нижчезазначену електронну адресу.*

E-mail: [elitconf@gmail.com](mailto:elitconf@gmail.com).

Web: <https://elitconference.sumdu.edu.ua>.

### **Секції конференції:**

1. Фізика та методика викладання фізики.
2. Наноматеріали: застосування та властивості.
3. Матеріалознавство мікро- та наноелектроніки.
4. Інформаційні електронні системи.
5. Електронні системи, прилади і засоби кодування інформації.
6. Електротехніка та енергетика.

Голова оргкомітету

доц. О. О. Дрозденко

## СЕКЦІЯ № 1 «ФІЗИКА ТА МЕТОДИКА ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ»

Голова секції – канд. пед. наук, доц. Пасько О.О..

Секретар секції – студ. Борисенко А.М.

**Початок:** 19 квітня 2021 р., онлайн, 13<sup>00</sup>

1. Асимптотика хвильової функції дейтрона в координатному представленні та зарядовий формфактор дейтрона

Автор – пров. інж. Жаба В.І.

2. Розробка розрахункової моделі для оптимізація термодинамічних параметрів PV/T систем

Автори: доц. Зайцев Р.В.  
доц. Мінакова К.О.  
доц. Кіріченко М.В.  
асп. Шкода Д.С.

3. Навчання студентів технічних спеціальностей за умов карантинних заходів

Автори: асист. Загородня Т.М.  
студ. Олицький В.С.

4. Використання історичного матеріалу під час вивчення першого закону Ньютона у курсі фізики основної школи

Автори: доц. Пасько О.О.  
студ. Лисенко О.М.

5. Математичні аспекти в задачах фізики

Автор – доц. Білоус О.А.

6. Інтерактивна демонстрація правил Кірхгофа на прикладі складного кола типу «міст»

Автори: ст. викл. Вітренко А.М.  
студ. Морозов С.С.

7. Розв'язування задач на рух штучних супутників Землі у курсі фізики ЗНЗ

Автор: викл. Лебединський С.О.

**СЕКЦІЯ № 2 «НАНОМАТЕРІАЛИ: ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ»**

Голова секції – канд. фіз.-матем. наук Рогоз В.М.  
Секретар секції – асп. Шевченко С.Т.

**Початок:** 21 квітня 2021 р., онлайн, 13<sup>00</sup>  
<https://meet.google.com/mvi-tfea-srs>

1. Theoretical study of elastic properties for  $\alpha$ - $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$  polymorph

Authors: Stud. **Bokotey O.O.**,  
Ph.D., Bokotey O.V.,  
Ph.D., Vu T.V.

2. Application of multilayer reflective masks for one-dimensional image scaling

Authors: Postgrad. Stud. **Chumak V.S.**,  
Ph.D. Pershyn Yu.P.

3. Langevin and Fokker-Planck description of suspended nanoparticles with 'frozen' magnetization

Authors: Postgrad. Stud. **Moskalenko M.M.**,  
Stud. Kuchmenko D.M.,  
Assoc. Prof. Lyutyy T.V.,  
Prof. Denisov S.I.

4. Структурні, електронні та оптичні властивості неорганічного перовскіта CsPbBr<sub>3</sub>: першопринципне дослідження

Автори: студ. **Коломієць В.А.**,  
доц. Коваленко М.В.,  
проф. Капустяник В.Б.,  
доц. Бовгира О.В.

5. Діелектрична функція сплавної біметалевої сферичної наночастинки

Автори: студ. **Олійник В.А.**,  
доц. Коротун А.В.

6. Механізми релаксації електронного збудження триазидо-S-триазину

Автори: доц. **Сакун Т.М.**,  
проф. Кондратенко П.О.,  
доц. Марінченко Г.Є.,  
проф. Лопаткін Ю.М.

7. Трирівнева модель інтенсивної пластичної деформації аморфних матеріалів

Автори: студ. **Кубах М.О.**,  
доц. Ющенко О.В.,  
асп. Крекшин Д.М.

8. Дослідження стійкості стаціонарних станів в процесі межового тертя

Автори: студ. **Радченко Д.Я.**,  
доц. Ющенко О.В.,  
ст. викл. Бадалян А.Ю.

9. Вплив нанорозмірних багаточарових структур на динаміку температурного поля в зоні металообробки

Автор: асп. Білоус Д.О.,  
докторант. Юнда А.М.,  
проф. Гончаров О.А.

10. Багатошарові захисні покриття на основі WN з покращеними трибомеханічними властивостями

Автор: студ. Смирнова К.В.,  
проф. Погребняк О.Д.,  
студ. Янчук Є.І.

### СЕКЦІЯ № 3 «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО МІКРО- ТА НАНОЕЛЕКТРОНІКИ»

Голова секції – канд. фіз.-матем. наук Шабельник Ю.М.

Секретар секції – канд. фіз.-матем. наук. Логвинов А.М.

**Початок:** 21 квітня 2021 р., онлайн, 13<sup>00</sup>

1. Thermo- and magnetoresistive properties of multicomponent film materials: phenomenological approach

Authors: Postgrad. Stud. Vasyukhno M.V.,  
Postgrad. Stud. Klochok V.S.,  
Stud. Rylova A.K.

Supervisor – Prof. Protsenko I.Yu.

2. Характерні особливості високоентропійних сплавів

Автори: студ. Косенко О.С.,  
студ. Калініченко А.Ю.,

Керівники: доц. Шкурдода Ю.О.,  
ст. викл. Шабельник Ю.М.

3. Optical properties of CdTe<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> thin films obtained by the quasi close-space sublimation method

Authors: Senior Research Fellow Petrus R.,  
Senior Research Fellow Semkiv I.,  
Senior Research Fellow Kashuba A.  
Supervisor – Prof. Ilchuk H.

4. Modeling behavior of single-domain ferromagnetic nanoparticles in the magnetic field

Authors: Postgrad. Stud. Petrenko N.S.,  
Postgrad. Stud. Pavlyuk M.O.,  
Assoc. Prof. Lyuty T.V.

5. Effect of Al doping on the optical band gap of ZnO thin film

Author – Senior Research Fellow Kashuba A.

6. Concentration effect in the magnetoresistive properties of composite materials based on Co and SiO

Author – Postgrad. Stud. Shchotkin V.V.  
Supervisor – Assoc. Prof. Pazukha I.M.

7. Розмірні та температурні ефекти в електропровідності шаруватих структур [Fe/SiO]<sub>5</sub>

Автори: студ. Пінчук А.С.,  
асп. Петренко Р.М.  
Керівники: доц. Пазуха І.М.,  
доц. Шкурдода Ю.О.

8. Особливості магнітоопору шаруватих структур [Fe/SiO]<sub>5</sub>

Автори: студ. Неледва А.О.,  
асп. Петренко Р.М.  
Керівники: доц. Пазуха І.М.,  
доц. Шкурдода Ю.О.



## СЕКЦІЯ № 4 «ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ»

Голова секції – д-р. фіз.-матем. наук, проф. Однодворець Л.В.  
Секретар секції – д-р. філос. Шумакова М.О.

**Початок:** 21 квітня 2021 р., онлайн, 13<sup>00</sup>

1. Розподілені мережі в системах моніторингу та малої автоматизації

Автори: студ. Кучменко В.Г.,  
студ. Однодворець К.С.,  
Керівник – ст. викл. Тищенко К.В.

2. Електронні сенсори магнітного поля: технологічні і фізичні параметри

Автори: маг. Сема Е.О.,  
маг. Шкарупа Т.В.  
Керівник – ст. викл. Шабельник Ю.М.

3. Світловипромінювальні діоди як елементи індикаторних систем

Автор – Фатюшин В.В.  
Керівник – проф. Однодворець Л.В.

4. Дослідження вольт-амперної характеристики р-п-переходу засобами моделювання в LabVIEW

Автор – студ. Суровицький М.Ю.  
Керівник – ст. викл. Вітренко А.М.

5. Оптиелектронні компоненти сучасних волоконно-оптичних ліній зв'язку

Автори: маг. Гончаренко О.М.,  
студ. Баранов О.О.,

- студ. Костян М.О.,  
зав. лаб. Лободюк О.С.  
Керівник – проф. Однодворець Л.В.
6. Використання програмного забезпечення Multisim для аналізу роботи фотоперетворювачів
- Автор – студ. Замятін Д.Є.  
Керівник – ст. викл. Пилипенко О.В.
7. Сучасні ємнісні перетворювачі неелектричних величин
- Автор – студ. Сергієнко Д.К.  
Керівник – ст. викл. Пилипенко О.В.
8. Інформаційні технології при створенні електронних симуляторів на мові Scratch
- Автори: студ. Пелех Р.К.,  
студ. Кулак А.С.  
Керівник – доц. Ткач О.П.
9. Використання сенсора освітленості смартфона для вимірювання товщини тонких плівок
- Автор – студ. Черевко В.О.  
Керівник – асист. Степаненко А.О.
10. Концентраційні ефекти в магніторезистивних властивостях компонентів електронних систем на основі пермалою та золота
- Автори: студ. Долгов-Гордійчук С.Р.,  
асп. Шуляренко Д.О.  
Керівник – доц. Пазуха І.М.
11. Застосування лазерних технологій у виробництві базових компонентів електроніки
- Автор – студ. Доценко В.С.  
Керівник – доц. Пазуха І.М.

## 12. Ефект Холла в функціональних плівкових матеріалах

Автори:            маг. Толстіков Д.І.,  
                     студ. Лизогуб І.О.  
Керівник –       проф. Одноворець Л.В.

## 13. Електронна система формування маски для отримання нанодротів

Автор –           студ. Козін І.Д.  
Керівник –       доц. Ткач О.П.

## 14. Використання фотоелектроколориметрії у дослідженнях екотоксичності нових наноматеріалів

Автор –           студ. Денисенко А.П.  
Керівник –       доц. Гребеник Л.І.

## 15. Ультразвуковий скальпель як електронна система впливу на біологічні тканини

Автор –           студ. Фролова С.О.  
Керівник –       асист. Лукавенко І.М.

## 16. СРАР – система штучної вентиляції легенів

Автори:           студ. Стебловська Д.А.,  
                     студ. Хоружий В.В.  
Керівник –       доц. Хижня Я.В.

## 17. Ріноскоп як прилад для візуального контролю ЛОР-органів

Автори:           студ. Головка Я. А.,  
                     студ. Колісниченко Д.А.  
Керівник –       доц. Хижня Я.В.

**СЕКЦІЯ № 5 «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ, ПРИЛАДИ І  
ЗАСОБИ КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ»**

Голова секції – д-р. техн. наук, проф. Борисенко О.А.  
Секретар секції – асп. Шевченко М.С.

**Початок:** 20 квітня 2021 р., онлайн, 14<sup>00</sup>  
<https://meet.google.com/dmk-oftw-bpq>

**1. Проектування бездротової мережі підприємства**

Автори: **студ. Коник В.М.,**  
ст. викл. Д'яченко О. В.

**2. Захист VoIP-телефонії в телекомунікаційних системах**

Автори: **студ. Лізунов А.О.,**  
ст. викл. Д'яченко О. В.

**3. Адаптивний лічильник на основі біноміальних кодів зі  
змінною кількістю одиниць**

Автори: **студ. Жижа В.В.,**  
асп. Шевченко М.С.

**4. Матрична модель підсумовування двійкових біноміальних  
чисел**

Автори: **студ. Скачедуб С.Л.,**  
доц. Кулик І.А.,  
асп. Шевченко М.С.

**5. Пристрій підрахунку кількості одиниць в двійкових  
послідовностях**

Автори: **доц. Кулик І.А.,**  
**студ. Грахольська А.В.**

6. Пристрій стиснення даних на основі двійкових біноміальних чисел

Автори: студ. **Хацько А.О.**,  
доц. Кулик І.А.,  
асп. Шевченко М.С.

7. Про ефективність сполучення мажоритарного принципу передачі з кодовим захистом даних

Автори: студ. **Манько Д.С.**,  
асп. Шевченко М.С.

8. Покроковий перетворювач двійкових чисел в двійково-десяткові

Автори: проф. Борисенко О.А.,  
доц. Бережна О.В.,  
асп. **Горішняк А.О.**,  
асп. Сердюк В.В.,  
студ. Васильєв В.Р.

9. Коди Фібоначчі в системах обробки інформації

Автори – проф. Борисенко О.А.,  
доц. Бережна О.В.,  
студ. **Романенко Є.С.**,  
студ. Гагіна О.М.,  
студ. Погуляй О.Р.

10. Пристрій реєстрації аналогових сигналів

Автор – доц. Бережна О.В.,  
зав. лаб. Щокотова І.В.,  
студ. **Васильєв В.Р.**,  
студ. Погуляй О.Р.

## 11. Система збору даних із використанням технології WIMAX

Автор – доц. Бережна О.В.,  
ст. викл. Протасова Т.О.,  
студ. **Романенко Є.С.**,  
студ. Гагіна О.М.

## 12. Аналіз проблем впровадження мереж LTE

Автори: доц. Гриненко В.В.,  
студ. **Бойко Б.Р.**

## 13. Метеостанція для системи розумного будинку

Автори: доц. Гриненко В.В.,  
студ. **Ясько А.С.**

## 14. Мультиметр на основі мікроконтролеру

Автори: студ. **Дяденко В.В.**,  
ст. викл. Дяченко О.В.

## 15. Пристрій кодування на основі матричного коду з перевіркою на парність

Автори: студ. **Мандрика О.Ю.**  
ст. викл. Дяченко О.В.

## 16. Застосування протоколу OpenVPN для корпоративної мережі

Автори: студ. **Третяк М.О.**,  
ст. викл. Дяченко О.В.,  
ст. викл. Протасова Т.О.

## 17. Багатофункціональна система контролю параметрів клімату теплиць

Автори: доц. Новгородцев А.І.,  
студ. **Мовенко А.І.**

18. Підвищення надійності систем безпеки при роботі з сервісом GSM

Автори: доц. Новгородцев А.І.,  
студ. **Крапивний О.С.**

19. Індукційний нагрівач з фазовим автопідлаштуванням резонансної частоти

Автори: доц. Новгородцев А.І.,  
студ. **Шаповалов О.І.**

20. Режими нанесення напівпровідникових структур на основі ZnO, Cu<sub>2</sub>ZnSn(S,Se)<sub>4</sub>, CdS методом друку

Автори: асп. Гузенко О.І.,  
проф. Опанасюк А.С.

21. Структурні та оптичні характеристики плівок Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te

Автори: асп. **Пашенко М.В.**,  
студ. Шаповалов О.І.,  
ст. викл. Знаменщиков Я.В.,  
проф. Опанасюк А.С.

22. Вплив відпалів у різних середовищах на структурні характеристики надрукованих плівок оксиду цинку

Автори: асп. Євдокименко В.Ю.,  
студ. Кравченко П.Е.,  
доц. Пшеничний Р.М.,  
ст. викл. Доброжан О.А.,  
проф. Опанасюк А.С.

23. Оптичні властивості наночастинок сполуки Cu<sub>2</sub>ZnSn(S<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>)<sub>4</sub> з різним хімічним складом

Автори: студ. **Шкиря Ю.О.**,  
асп. Кахерський С.І.,  
ст. викл. Rogoz В.М.

доц. Пшеничний Р.М.,  
проф. Опанасюк А.С.

24. Пристрій для вимірювання температури і вологості повітря навколишнього середовища

Автори: студ. **Ротенберг І.С.**,  
проф. Опанасюк А.С.

25. Оптичні властивості плівок NiO, виготовлених на основі відпалених при різних температурах наночастинок

Автори: студ. **Шкиря Ю.О.**,  
асп. Кахерський С.І.,  
доц. Зайцев Р.В.,  
доц. Пшеничний Р.М.,  
проф. Опанасюк А.С.

26. Створення прототипу сонячного елемента з конструкцією ZnO/n-CdS/p-Cu<sub>2</sub>ZnSn(S<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>)<sub>4</sub>/Mo методом друку

Автори: асп. Гузенко О.І.,  
проф. Опанасюк А.С.

27. Виявлення сигналів у білому шумі

Автори: студ. **Приходіна П.А.**,  
доц. Кобяков О.М.

28. Оптимальна фільтрація сигналів

Автори: студ. **Абрамян А.О.**,  
доц. Кобяков О.М.

29. Представлення випадкових сигналів

Автори: студ. **Усик А.О.**,  
доц. Кобяков О.М.



30. Пристрій адаптивного кодування на основі мажоритарно-комбінаторного коду

Автори: студ. Лопатін Д.О.,  
студ. **Колесник В.В.**,  
ст. викл. Протасова Т.О.

31. Вплив шумів на завадостійкість телекомунікаційних систем передачі даних

Автори: студ. Нижегородцев І.В.,  
ст. викл. Протасова Т.О.

32. Числа Фібоначчі. Минуле та сьогодні

Автори: студ. Лопатін Д.О.,  
ст. викл. Протасова Т.О.,  
доц. Бережна О.В.

33. Вплив відпалів на елементарний склад плівок CZTSe, отриманих друком

Автори: асп. Кахерський С.І.  
студ. Шаповалов О.І.  
доц. Пшеничний Р.М.  
ст. викл. Доброжан О.А.  
доц. Опанасюк Н.М.

34. До задачі мінімізації логічних функцій

Автор – проф. Борисенко О.А.

35. Програмно-апаратний комплекс для вимірювання оптичних властивостей матеріалів

Автори: доц. Кобяков О.М.  
студ. Гришко В.А.

36. Електронна система керування біонічним протезом кисті руки

Автори: студ. Шкиря Ю.О.,  
ст.викл. Знаменщиков Я.В.,  
доц. Колесник М.М.

37. Автоматизована система контролю параметрів мікроклімату у боксах для утримання тварин

Автори: студ. Волобуєв В.В.,  
ст.викл. Знаменщиков Я.В.,  
доц. Колесник М.М.

**СЕКЦІЯ № 6 «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА І ЕНЕРГЕТИКА»**

Голова секції – к.т.н., доц. Лебединський І.Л.

Секретар секції – к.т.н., доц. Дяговченко І.М.

**Початок:** 22 квітня 2021 р., онлайн, 15<sup>30</sup>

<https://meet.google.com/cyj-vunj-cpy>

1. Доцільність переведення електричних мереж на вищий клас напруги

Автори: студ. Спирін Д.В.,  
студ. Кучмій Д.В.,  
ст. викл. Лебедка С.М.

2. Магнітно-пульсуючий електродвигун

Автори: студ. Заєць А.В.,  
доц. Петровський М.В.

3. Захист ліній електропередачі від ударів блискавки

Автор – студ. Дудник Б.В.

4. Дослідження утворення підсушених зон від дії струмів витоку на поверхні забрудненого ізолятора

Автори: асп. **Борзенков І.І.**,

проф. Шевченко С.Ю.,  
доц. Данильченко Д.О.

5. Додавання нових сонячних панелей до наявної системи панелей

Автор – асист. Загородня Т.М.

6. Підвищення ефективності екранування магнітного поля високовольтних кабельних ліній

Автори: м.н.с. **Ткаченко О.О.**,  
Грінченко В.С.

7. Розробка моделей схем релейного захисту в програмному комплексі MatLab

Автори: студ. Крамський І.О.,  
студ. Ніконов М.С.,  
доц. Петровський М.В.

8. Розробка алгоритмів для вимірювання несинусоїдальності напруги та тимчасової перенапруги

Автори: студ. Ніконов М.С.,  
студ. Крамський І.О.,  
доц. Петровський М.В.

9. Чисельне моделювання розподілу статичного геомагнітного поля в приміщенні будинку з використанням спрощеної розрахункової моделі

Автор – н.с. Грецьких С.В.

# **СЕКЦІЯ 1**

**«Фізика та методика викладання  
фізики»**

## Асимптотика хвильової функції дейтрона в координатному представленні та зарядовий формфактор дейтрона

Жаба В.І., *провідний інженер мікротронної лабораторії*  
Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна

Проведено чисельне моделювання хвильової функції дейтрона (ХФД) в координатному представленні для потенціалу Argonne v18 [1]. Враховано асимптотичну поведінку ХФД поблизу початку координат, що була застосована до ХФД Парижського потенціалу [2]:

$$u(r) \rightarrow r; \quad w(r) \rightarrow r^3; \quad (1)$$

і асимптотику, що характерна для нерелятивістської ХФД [3]:

$$u(r) \rightarrow r^2; \quad w(r) \rightarrow r^3. \quad (2)$$

Асимптотика ХФД при  $r \rightarrow \infty$  вибиралась у виді [2]:

$$u(r) \sim A_S \exp(-\beta r); \quad w(r) \sim A_D \exp(-\beta r) \left[ 1 + \frac{3}{\beta r} + \frac{3}{(\beta r)^2} \right], \quad (3)$$

де  $\beta = \sqrt{M_N E_d}$ ;  $M_N$  – нуклонна маса;  $E_d$  – енергія зв'язку дейтрона.

Зарядовий формфактор дейтрона  $G_C(p)$  [4] у залежності від переданих імпульсів до  $p=22 \text{ fm}^{-1}$  розраховано з використанням п'яти моделей ХФД, одержаних з (та без) урахування асимптотик (1)-(3). Різниця чітко спостерігається для високо імпульсної компоненти  $G_C$  поблизу позицій першого і другого нуля. Відмінність між одержаними значеннями для формфактору  $G_C$  проаналізовано за допомогою величин відношень і різниць результатів, отриманих для різних ХФД.

Отримані результати для зарядового формфактору дейтрона  $G_C$  при великих імпульсах можуть бути передбаченням для майбутніх експериментальних даних. Методика чисельних уточнень для  $G_C$  на основі асимптотик ХФД при малих і великих значеннях координати може бути корисною для розрахунку поляризаційних характеристик процесів за участю дейтрона для вузького інтервалу імпульсів.

1. R.B. Wiringa, V.G.J. Stoks, R. Schiavilla, *Phys. Rev. C* **51**, 38 (1995).
2. M. Lacombe, et al., *Phys. Lett. B* **101**, 139 (1981).
3. Yu.A. Bereznoy, et al., *Int. J. Mod. Phys. E* **14**, 1073 (2005).
4. R. Gilman, F. Gross, *J. Phys. G* **28**, R37 (2002).

## Розробка розрахункової моделі для оптимізація термодинамічних параметрів PV/T систем

Зайцев Р.В., *доцент*; Мінакова К.О., *доцент*;  
Кіріченко М.В., *доцент*; Шкода Д.С., *аспірант*  
Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків, Україна

Ефективність використання сонячної енергії як джерела електроенергії в даний час обмежена ефективністю сонячних елементів, яка для пристроїв, доступних для масового споживача (працюють без сонячної концентрації), знаходиться на рівні 20-22%. Перспективним способом підвищення ефективності сонячної енергії є використання гібридних фотоелектричних / концентрованих сонячно-теплових систем, що поєднують сонячні елементи та сонячні теплові колектори, що може забезпечити комбіноване перетворення сонячного випромінювання в електричну та теплову енергію із загальною ефективністю системи більше за 80%.

Основною метою роботи є розробка та чисельна оцінка розрахункової моделі оптимізації гібридної сонячної фотоелектричної / теплової системи, яка враховує змінні властивості компонентів системи, з метою максимізації збирання сонячного спектра та досягнення високоефективного комбінованого перетворення сонячної енергії в такій гібридній системі. Для вирішення таких проблем необхідні надійні та точні моделі та алгоритми для моделювання та оптимізації термодинамічних властивостей гібридних систем за допомогою розрахунків, заснованих на загальних принципах термодинаміки.

В рамках проведеної роботи була запропонована часткова модель систем, що розглядаються. Таку модель можна використовувати для розрахунку теплової енергії, яку отримуємо від одного класичного колектора. Зазвичай, реальна система має декілька паралельних трубок з теплоносієм. Якщо це так, то тепла енергія, отримана від одного колектора помножується на кількість паралельних колекторів. В рамках моделі аналіз конфігурації колектора проводиться на основі закону теплового балансу для елементарної ділянки (steady state energy balance of an element):

$$\Delta x S - \Delta x U_l (T_x - T_a) + \left( -k \delta \frac{dT}{dx} \Big|_x \right) - \left( -k \delta \frac{dT}{dx} \Big|_{x+\Delta x} \right) = 0, \quad (1)$$

де  $S$  – поглинена теплова енергія ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ );  $U_l$  – коефіцієнт втрат ( $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ );  $k_{\text{abs}}$  – теплопровідність матеріалу абсорбера ( $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ );  $T_a$  – температура навколишнього середовища;  $T_x$  – температура абсорбера в точці  $x$ ;  $q'_{\text{fin}}$  – теплопередача в напрямі  $x$  при  $x = (W-D)/2$  на одиницю довжини трубки ( $\text{Вт}/\text{м}$ ) (рис. 1).

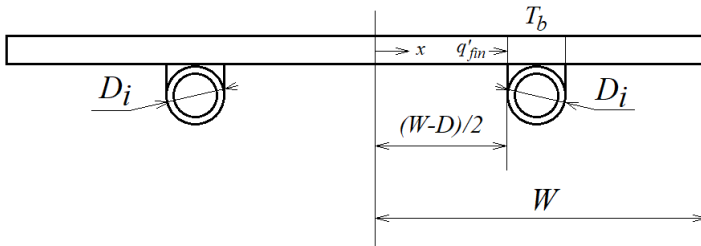


Рисунок 1 – Розподіл температури в поглиначі

Модель дозволяє розрахувати та оптимізувати коефіцієнт ефективності колектора  $F'$  – це відношення фактичної енергії, що передається до рідини, до енергії, що отримана при постійній температурі поглинача та відомій температурі рідини. Це співвідношення спрощує розрахунки та дозволяє розраховувати корисну енергію з використанням однієї невідомої температури. Коефіцієнт ефективності колектора аналогічний до коефіцієнта ефективності ребра, оскільки від пов'язує характеристики теплопередачі з температурою теплоносія:

$$q'_u = WF' (S - U_l (T_f - T_a)), \quad (2)$$

Співвідношення можна використовувати для розрахунку корисної енергії, зібраної на одиницю довжини трубки поглинача.

1. К.А. Minakova, R.V. Zaitsev, *J. Nano- Electron. Phys.* **12**(4), 04028 (2020).
2. R.V. Zaitsev, M.V. Kirichenko, *2020 IEEE KhPIWeek on Advanced Technology*, 71 (2020).

## Навчання студентів технічних спеціальностей за умов карантинних заходів

Загородня Т.М., *асистент*; Олицький В.С., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Пандемія COVID-19 ще раз підкреслила актуальність і перспективність поширення автоматизації процесу компонування і наповнення навчальних модулів, розробки нових методик, методів і моделей автоматизованого управління процесом побудови структурних одиниць навчального процесу та їх змістового наповнення. Дистанційний / віддалений процес навчання - новий досвід для усіх учасників навчального процесу. Як відомо, студенти мають вільний доступ до розробок викладачів кафедри (текстів лекцій, презентацій, практичних, семінарських занять, лабораторних, літератури). Спілкування студент-викладач відбувалося в Google Meet, Telegram, Viber, через особистий кабінет викладачів. Ми зробили кілька висновків щодо такого навчання. По-перше, добре, що студенти працюють індивідуально, а не в групах. Кожен працює над практичними завданнями (лабораторними) стільки часу, скільки необхідно саме йому і в той час коли зручно студенту. По-друге, співвідношення самостійної роботи студента до роботи спільно з викладачем 70/30 (як давно встановлено, така організація навчального процесу визнана найпродуктивнішою). Проте студенти, що займалися дистанційно розповідають один одному, що залишають свої місця, перемикають гаджети під час лекцій, займаються якимись своїми справами, викладач не бачить цього, не робить зауважень.

З цих історій варто зробити висновок, що при плануванні занять викладачем особливо зі спеціальних технічних дисциплін, треба чітко розуміти, які саме питання розглянути on-line (на лекціях, практичних та лабораторних роботах), а які питання винести на самостійне вивчення. Специфіка навчання студентів технічних спеціальностей визначається характером засвоюваного матеріалу (обсягом, складністю, інформативністю, спрямованістю на отримання практичних навичок). Часто викладач при підготовці до заняття витрачає значну кількість часу на пошук і підбір потрібної інформації за наявності баз даних з великим об'ємом матеріалів, причиною чого може бути те, що необхідна інформація загублена у величезній



кількості документів, доступ до яких утруднений або каталогізація яких взагалі відсутня, не використовується досвід роботи кваліфікованих фахівців.

Ми пропонуємо використовувати систему підтримки прийняття рішень, що реалізована у вигляді інформаційної технології. Наша інформаційна технологія дозволяє вносити, редагувати та зберігати похідні дані, до яких відносяться перелік логічних модулів, навчальних тем, видів та параметрів навчальних занять та взаємозв'язок між ними у базі даних, що дозволяє використовувати цю інформацію у випадках застосування системи підтримки прийняття рішень для різних технічних дисциплін та різних форм навчання; застосовувати вбудовані математичну модель навчального процесу, математичну модель студентів для розрахунку сформованого рівня компетенцій з урахуванням обмежень.

Ці властивості запропонованої системи підтримки прийняття рішень дозволяють використовувати її для поліпшення результатів навчання, підвищення рівня компетенцій у майбутніх студентів технічних спеціальностей, порівняно з рівнем компетенцій, які передбачені початковими параметрами навчального процесу та навчальних занять.

Дистанційний формат дозволяє залучати різноманітні форми і техніки навчання, використовувати різні інформаційні технології, які дозволяють коригувати навчальну траєкторію студентів. Умовою останніх є активний зворотний зв'язок, що забезпечує пошук і усунення виникаючих помилок.

Варто зауважити, що навчання у дистанційному форматі показало слабкі сторони як викладачів: невелику різноманітність навчальних і навчально-методичних матеріалів, слабку технічну і технологічну оснащеність, так і студентів: слабку самодисципліну і самоорганізованість.

Все це разом вказує на подальші перспективи щодо забезпечення продуктивного управління навчальним процесом кожного учасника, накопичення особистого досвіду.

1. А.Э. Хасуев, *Мир науки, культуры, образования* № 6(79), 177 (2019).

## Використання історичного матеріалу під час вивчення першого закону Ньютона у курсі фізики основної школи

Лисенко О.М., *студент*; Пасько О.О., *доцент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Історичний матеріал відіграє надзвичайно важливу роль у формуванні позитивної навчальної мотивації учнів щодо вивчення фізики. Продемонструвати роль принципу історизму у навчанні фізики доцільно на прикладі введення першого закону Ньютона. Насамперед, школярам важливо повідомити, що ідеї, викладені у підсумку Ньютоном, починали своє становлення ще у найдавніші часи. Вперше ідею щодо закону інерції як наслідку закону збереження кількості руху висловлював Демокрит [1]. Аналогічну думку формулював і Епікур [1].

Однак, особливо важливо згадати видатного вченого, філософа, інженера – Галілео Галілея. Саме про його уявний експеримент, описаний у книзі «Діалоги про дві системи світу» [2] необхідно розповісти учням. Якщо уявити себе на кораблі та спостерігати за перебігом звичайних механічних явищ (крапання води, коливання маятника тощо), знаходячись у закритій просторій каюті без вікон, неможливо помітити жодної відмінності між випадком, коли корабель нерухомий і коли він рухається рівномірно. Спостерігач відчує лише наявність сил інерції, коли корабель тільки почне рух. Узагальнюючи наведені міркування, Галілей формулює так званий принцип інерції.

У сучасному трактуванні принцип інерції Галілея нерозривно пов'язаний з принципом відносності: всі механічні явища відбуваються однаково у всіх інерціальних системах відліку при довільних початкових умовах. Саме ґрунтуючись на узагальненнях Галілея, Ньютоном був сформульований його перший закон – закон інерції.

1. Дж. Тригг, *Фізика ХХ века: ключевые эксперименты.* – М.: Мир, 1978.
2. Галілео Галілей: *Диалог о двух главнейших системах мира [пер. с итал. А. И. Долгова]* – Москва: «Рипол-классик», 2018. – 918 С.

## Математичні аспекти в задачах фізики

Білоус О.А., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Відомо, що розв'язок фізичних задач є одним з найважливіших компонентів навчання фізики, що реалізує існуючі цілі навчання, формує відповідні компетенції у студентів [1].

Математика при розв'язанні фізичної задачі є інструментом дослідження. Успіх в одержанні відповіді залежить не тільки від сформованої фізичної моделі, а й від вірності математичних перетворень, спрощень, застосування правил та законів математики.

Програма курсу вищої математики для студентів фізико-технічних спеціальностей університету побудована із врахуванням вимог щодо формування навичок та знань, які повинні бути у студентів перед початком вивчення відповідного розділу фізики. Так, вивченню розділу фізики «Механіка» передують математична тема «Вектори», «диференціальне та інтегральне числення», розділу «Електромагнетизм» – «Елементи теорії поля», «Криволінійні інтеграли», «Атомній фізиці» – «Диференціальні рівняння та системи» та ін.

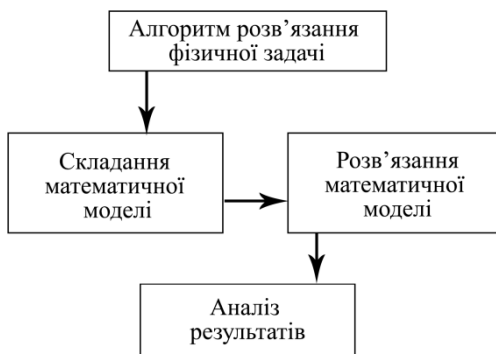


Рисунок 1 – Алгоритм розв'язання фізичної задачі

1. N. Prayekti, T. Nusantara, et al., *J. Critical Rev.* **7**, 468 (2020).

## Інтерактивна демонстрація правил Кірхгофа на прикладі складного кола типу «міст»

Вітренко А.М., старший викладач; Морозов С.С., студент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В розділі «Постійний електричний струм» з курсу фізики розглядаються розгалужені кола, які не зводяться до паралельних або послідовних з'єднань резисторів. Їх розрахунок здійснюється за допомогою правил Кірхгофа, що призводить до необхідності розв'язувати системи лінійних алгебраїчних рівнянь. У випадку симетрії складних електричних кіл можна виділити вузли однакового потенціалу і отримати значно простіші еквівалентні схеми. Мета даної роботи – створити інтерактивну демонстрацію правил Кірхгофа і методу еквіпотенціальних вузлів на прикладі складного кола мостового типу (рис. 1).

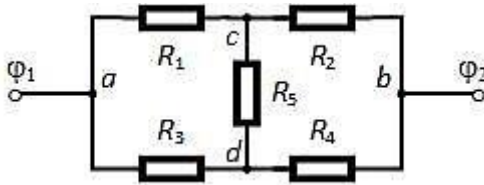


Рисунок 1 – Схема складного кола типу «міст».

Для реалізації мети обрано середовище графічного програмування LabVIEW. За допомогою правил Кірхгофа математична модель подається системою п'яти алгебраїчних рівнянь в матричній формі. Для заданих опорів  $R_i$  і зовнішньої напруги  $U = \varphi_1 - \varphi_2$  значення струмів  $I_i$  знаходяться віртуальним приладом Solve Linear Equations із палітри Linear Algebra VIs.

Розроблений електронний засіб навчального призначення дозволяє продемонструвати наступне. 1. Для вузлів  $c$  і  $d$  алгебраїчна сума струмів дорівнює нулю. 2. Для замкнених контурів  $a-c-d-a$  і  $b-c-d-b$  алгебраїчна сума спадів напруги дорівнює нулю. 3. Якщо  $R_1 = R_3$  і  $R_2 = R_4$ , коло на рис. 1 симетричне відносно прямої  $ab$ , при цьому  $\varphi_c = \varphi_d$  і  $I_5 = 0$ . Отже, резистор  $R_5$  можна видалити зі схеми.

## Розв'язування задач на рух штучних супутників Землі у курсі фізики ЗНЗ

Лебединський С.О., *к.ф.-м.н., викладач фізики та астрономії*  
Сумський будівельний коледж, м. Суми, Україна

При розв'язуванні задач на динаміку руху матеріальної точки по колу необхідне використання законів Ньютона та формул кінематики. Тому необхідно повторити зміст наступних компонентів курсу фізики.

### **I. Другий закон Ньютона**

1. Прискорення тіла, обумовлене дією на нього сили, пропорційне до прикладеної сили і обернено пропорційне до маси тіла  $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ . У цьому полягає другий закон Ньютона. Цей закон формулюється й інакше: сила, що діє на тіло, дорівнює добутку його маси і прискорення:  $\vec{F} = m\vec{a}$ . Отже дана формула водночас є означенням сили і виражає другий закон Ньютона.

2. Якщо відомі сила, що діє на тіло, маса цього тіла, то можна знайти його прискорення. Знаючи початкові координату і швидкість тіла, його прискорення, можна дізнатися про положення рухомого тіла в будь-який момент часу. Тому рівняння, яке виражає другий закон Ньютона, називають рівнянням руху [1].

### **II. Закон всесвітнього тяжіння**

1. Закон всесвітнього тяжіння формулюється так: будь-які два матеріальних тіла притягують одне одного з силою, прямо пропорційною до їх мас і обернено пропорційною до квадрата відстані між ними:  $F = G \frac{mM}{R^2}$ .

2.  $G$  – гравітаційна стала, яка чисельно дорівнює силі, з якою притягуються два тіла масою 1кг кожне на відстані 1м.

3. У записаному вигляді закон всесвітнього тяжіння застосовується для тіл в таких випадках: 1) коли тіла можна розглядати як матеріальні точки; 2) коли тіла мають форму куль; 3) коли одне тіло являє собою кулю великого радіусу, а інше можна вважати матеріальною точкою [1].

Для формування уміння вільно оперувати вказаними компонентами змісту курсу фізики, зокрема при розв'язуванні задач та для кращого засвоєння їх окремих істотних ознак варто запропонувати наступні якісні задачі.

1. Що утримує штучний супутник Землі на орбіті? (Сила притягання Землі).

2. Чи може штучний супутник Землі без двигунів рухатися навколо неї по орбіті, площина якої не проходить через центр Землі? (Ні, бо у цьому випадку незрівноважена складова сили тяжіння «стягуватиме» супутник з орбіти).

3. З якою кутовою швидкістю повинен обертатися штучний супутник Землі і в якій площині має знаходитися траєкторія його польоту, щоб спостерігачу на Землі супутник здавався нерухомим? (Кутова швидкість супутника повинна дорівнювати кутовій швидкості обертання Землі. Орбіта супутника повинна знаходитися у площині екватора).

4. Як космонавт у разі потреби може збільшити швидкість космічного корабля? (Космонавт може збільшити швидкість космічного корабля, перевівши його на нижчу орбіту. При цьому частина його потенціальної енергії перетвориться у кінетичну і при проходженні перигею його швидкість досягне максимального значення. В апогеї швидкість знову зменшиться і частина кінетичної енергії перетвориться у потенціальну).

Під час розв'язування задач на рух штучних супутників Землі доцільно дотримуватися такої послідовності дій:

- 1) схематично зобразити супутник і силу, що діє на нього з боку планети;
- 2) записати 2-й закон Ньютона у векторній формі;
- 3) провести координатну вісь  $Ox$  до центру кола;
- 4) записати 2-й закон Ньютона через проекції на вісь  $Ox$ ;
- 5) представити силу тяжіння у розгорнутому вигляді через закон всесвітнього тяжіння;
- 6) записати додаткові умови;
- 7) розв'язати отриману систему рівнянь.

Часто під час розв'язування задач для виключення з отриманих у процесі розв'язування рівнянь маси Землі зручно використовувати формулу, яка справедлива для випадку, коли тіло знаходиться на поверхні Землі чи поблизу неї ( $R_3 \gg h$ ).

1. Каленик В.І., Каленик М.В. *Шкільний курс фізики. Методичний посібник* (Суми: СумДПУ ім. А.С.Макаренка: 2001).

## **СЕКЦІЯ 2**

**«Наноматеріали: властивості та застосування»**

## Theoretical study of elastic properties for $\alpha$ - $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$ polymorph

Bokotey O.V.<sup>1</sup>, Ph.D., Senior Researcher; Vu T.V.<sup>2</sup>, Ph.D., Researcher;  
Bokotey O.O.<sup>1</sup>, Student

<sup>1</sup> Faculty of Physics, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

<sup>2</sup> Faculty of Electrical & Electronics Engineering, Ton Duc Thang University, Ho Chi Minh City, Vietnam

We present new DFT study results of elastic properties for  $\alpha$ - $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$  polymorph using the APW-LO technique as implemented in the WIEN2k package. Having current scientific interests in the family of corderoites [1-3], we decided to investigate elastic properties of  $\alpha$ - $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$  polymorph crystallizing in the cubic space group  $T^5-I_{213}$  (No. 199). To the best of our knowledge no experimental or theoretical information on the elastic properties of  $\alpha$ - $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$  are available in the literature. The  $\alpha$ - $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$  polymorph belongs to the corderoite family compounds and has a body-centered cubic structure. The stiffness tensor of space symmetry group  $T^5-I_{213}$  for body-centered cubic crystal has three independent elastic constants written in Voigt notations as follows  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  and  $C_{44}$ . Ductility for these compounds is analysed by using Pugh's criteria, Cauchy pressure ( $C_{12}-C_{44}$ ) and Frantsevich rule. Table 1 presents the calculated values (in GPa) of elastic constants ( $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{44}$ ), the average values within Hill's approximation of the bulk modulus ( $B$ ), shear modulus ( $G$ ), Young's modulus ( $E$ ) and Poisson's ratio ( $\nu$ ) of  $\alpha$ - $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$ .

Table 1 – Calculated values of mechanical properties for  $\alpha$ - $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$

$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{44}$	$B$	$G$	$E$	$\nu$
26.997	24.391	11.461	25.259	5.091	14.311	0.406

It can be seen that the three independent elastic constants well satisfy Born-Huang conditions:  $C_{11}-C_{12} > 0$ ,  $C_{11} + 2C_{12} > 0$ ,  $C_{44} > 0$ .  $C_{11}$  reflects the stiffness of cubic crystal. According to the detailed analysis, a high  $B/G$  value (4.96) indicates a tendency for ductility and  $\alpha$ - $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$  is a ductile material in nature. It can be conclude that  $\alpha$ - $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$  polymorph is a mechanically stable compound.

1. O.V. Bokotey, *J. Alloy. Compd.* **678**, 444 (2016).
2. O.V. Bokotey, *Nanoscale Res. Lett.* **11**, 251 (2016).
3. O.V. Bokotey, T.V. Vu, et al. *Indian J. Phys.* **95**(1), 73 (2021).



## Application of multilayer reflective masks for one-dimensional image scaling

Chumak V.S., *Postgraduate Student*, Pershyn Yu.P., *PhD*  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",  
Kharkiv, Ukraine

This work is part of experiments to investigate the possibility of realizing one-dimensional image compression using multilayer reflective masks (MRM). The purpose of this work is to manufacture and test the MRM.

To manufacture the MRM, we took a ready-made W/Si multilayer X-ray mirror (MXM) with a period of  $d \approx 2.5$  nm, and then deposited a layer of absorbing material on it through a pattern grid so that only uncoated areas could reflect X-rays. A tungsten layer of  $\sim 200$  nm thickness was applied as the absorbing layer. As a result, we obtained the MRM with reflecting vertical and horizontal stripes of  $\sim 50$   $\mu\text{m}$  wide and  $\sim 50 \times 50$   $\mu\text{m}^2$  absorbing regions.

The MRM test was carried out on a DRON-3M X-ray diffractometer in a monochromatic Cu-K $\alpha_1$  radiation ( $\lambda = 0.154$  nm). The angle of incidence onto the MRM surface is  $\theta = 1.76^\circ$ , which corresponds to the angular position of the first Bragg maximum for the MXM with a period of  $d \sim 2.5$  nm. The photographic film was sequentially placed at distances of  $L = 10, 45, 90,$  and  $140$  mm from the MRM, and the film plane was perpendicular to the incident radiation. Thus, with such an illumination scheme, the demagnification ( $D$ ) of mask elements in this plane equal to  $D = t_b/t_m = \sin\theta$  can be expected, with  $t_m$  being the size of the reflective mask element, and  $t_b$  being the size of the element in the plane of the film. Taking into account the diffraction effects, we estimated real dimension of imprints from different reflecting elements of MRM. The final formula is  $t_b = \lambda \times t_m / 2d + 4Ld/t_m$ .

The obtained experimental dimensions of the elements on the photographic film were in the range of 4-7.5 microns and grew with the distance  $L$ . This is 2-6 microns less than theoretical prediction according to our estimation. This difference is due to shading at the edges of the absorbing layer. The average demagnification was at least 6.6.

This study shows the possibility of one-dimensional compression using the W/Si MRM.

## Langevin and Fokker-Planck description of suspended nanoparticles with ‘frozen’ magnetization

Moskalenko M.M., Graduate Student; Kuchmenko D.M., Student;  
Lyutyu T.V., Associate Professor; Denisov S.I., Professor  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

One of the most general approaches used to account for thermal effects in dynamical systems is based on the Langevin equations, i.e., stochastic differential equations of motion [1]. In the case of suspended single-domain ferromagnetic nanoparticles, whose magnetization  $\mathbf{M}$  ( $|\mathbf{M}| = \text{const}$ ) is assumed to be ‘frozen’ into the particle body, these equations can be written (under some conditions) in the form

$$J\dot{\boldsymbol{\omega}} = V\mathbf{M} \times \mathbf{H} - 6V\eta\boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{\xi}_1, \quad (1)$$

$$m\dot{\mathbf{v}} = \mathbf{F} - 6\pi\eta R\mathbf{v} + \boldsymbol{\xi}_2 \quad (2)$$

and supplemented by the kinematic equation  $\dot{\mathbf{M}} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{M}$ . Here, the overdot denotes the derivative with respect to time  $t$ ,  $\boldsymbol{\omega}$  and  $\mathbf{v}$  are the particle angular and linear velocities,  $J, m, V$  and  $R$  are the particle moment of inertia, mass, volume and radius, respectively,  $\eta$  is the liquid dynamic viscosity,  $\mathbf{H}$  and  $\mathbf{F}$  are the magnetic field and applied force, and  $\boldsymbol{\xi}_n$  ( $n = 1, 2$ ) are Gaussian white noises describing the influence of thermal fluctuations. In general, the Langevin equations (1) and (2) are coupled because  $\mathbf{H}$  can depend on the particle position and  $\mathbf{F}$  on the magnetization direction, as in the case of presence of the gradient magnetic field.

Equations (1) and (2) are convenient for the numerical study of the rotational and translational dynamics of suspended nanoparticles. At the same time, the Fokker-Planck equation that corresponds to these equations is more convenient for theoretical analysis. Therefore, we found the corresponding Fokker-Planck equation, derived its stationary solution and determined the intensities of Gaussian white noises. In the next stage, we are going to use these approaches to study the directed transport of suspended nanoparticles induced by the gradient magnetic fields.

1. W.T. Coffey, Yu.P. Kalmykov, J.T. Waldron, *The Langevin Equation: With Applications in Physics, Chemistry and Electrical Engineering*, 2nd ed. (Singapore: World Scientific: 2004).

## Структурні, електронні та оптичні властивості неорганічного перовскіта CsPbBr<sub>3</sub>: першопринципне дослідження

Коломієць В.А., студент; Коваленко М.В., доцент;  
Капустяник В.Б., професор; Бовгира О.В., доцент  
Львівський національний університет імені Івана Франка,  
м. Львів, Україна

Органічно-неорганічні галогенідні перовскіти – перспективні матеріали для ефективних, недорогих, тонкоплівкових оптоелектронних пристроїв [1]. Ці матеріали мають властивості, важливі як з теоретичного, так і з експериментального погляду. В таких матеріалах також виявлено низку цікавих особливостей, які, зокрема, стосуються взаємодії між їхніми структурними та оптичними властивостями, сегнетоелектричністю, спінозалежними транспортними властивостями та значним магнітоопором.

Кристали CsPbBr<sub>3</sub> є найбільш вивченими перовскітними випромінювачами серед усіх відомих неорганічних гібридних перовскітних матеріалів для світлодіодів [2]. Структурні та електронні властивості CsPbBr<sub>3</sub> раніше теоретично вивчали з використанням емпіричного методу сильного зв'язку [3] та теорії функціоналу густини (DFT) [4]. Як відомо, точність розрахунків в межах DFT істотно залежить від обмінно-кореляційного потенціалу, який використовується в розрахунках.

У цій роботі ми провели першопринципні дослідження, в межах теорії функціонала густини, структурних, електронних та оптичних властивостей перовскіта CsPbBr<sub>3</sub> з використанням для обмінно-кореляційного функціоналу наближення узагальненого градієнта (GGA) в параметризації Пердью-Бурке-Ернзергофа (PBE) та за схемою Пердью-Бурке-Ернзергофа, модифікованою для твердих тіл (PBEsol), а також наближення GGA+U. Оскільки досліджуваний перовскіт містить важкий атом свинцю, для точного опису зонних структур в DFT розрахунках був врахований ефект спин-орбітальної взаємодії (SOC).

Як відомо, перовскіти CsPbBr<sub>3</sub> чутливі до температури та існують у різних кристалічних фазах за різних температур. У нашому дослідженні проведені розрахунки для трьох різних кристалічних фаз, зокрема, кубічної, тетрагональної та орторомбічної.

Розраховані параметри ґратки для усіх кристалічних фаз перовскіта  $\text{CsPbBr}_3$  з використанням методу GGA(PBE) є більшими порівняно з отриманими експериментальним шляхом. Використання наближення GGA(PBEsol) дає результати, найближчі до експериментальних, порівняно з отриманими іншими методами.

Розрахунки електронної структури показали, що всі кристалічні фази  $\text{CsPbBr}_3$  володіють напівпровідниковими властивостями з прямими забороненими зонами в точках R для кубічної та  $\Gamma$  для тетрагональної та орторомбічної фаз. Результати розрахунків показують, що використання наближень GGA(PBE) і GGA(PBEsol) призводять до заниження ширини забороненої зони, тоді як використання методу GGA+U показало добре узгодження між експериментальними даними та даними нашого розрахунку.

Для усіх кристалічних фаз  $\text{CsPbBr}_3$  було розраховано оптичні спектри, зокрема, спектри дійсної та уявної частини діелектричних функцій, поглинання, показника заломлення, коефіцієнта екстинкції та оптичної провідності. Аналіз оптичних властивостей показує, що три кристалічні фази кристала  $\text{CsPbBr}_3$  мають подібні властивості, що вказує на широкий діапазон робочих температур цього матеріалу.

Робота виконана в рамках проекту 2020.02/0130 “Багатофункціональні органічно-неорганічні магнітоелектричні, фотовольтаїчні і сцинтиляційні матеріали” (рест. № 0120U104913) за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України.

1. G. Zhang, G. Liu, L. Wang, J.T.S. Irvine, *Chem. Soc. Rev.* **45**, 5951 (2016).
2. Z. Wei, A. Perumal, R. Su, S. Sushant, et al., *Nanoscale* **8**, 18021 (2016).
3. Y.H. Chang, C.H. Park, *J. Korean Phys. Soc.* **44**, 889 (2004).
4. G.M. Hamid, Z.A. Alahmed, S.M.H. Qaid, M. Hezam, A.S. Aldwayyan, *ACS Omega* **5**, 7468 (2020).

## Діелектрична функція сплавної біметалевої сферичної наночастинки

Олійник В.А., студентка; Коротун А.В., доцент

Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя,  
Україна

Металеві наночастинки володіють багатообіцяючими оптичними властивостями, які зумовлені наявністю поверхневого плазмонного резонансу (ППР). Явище ППР дозволяє локалізувати електромагнітну хвилю на наномасштабах, що відкриває широкі можливості для створення пристроїв фотоніки, наноплазмоніки та оптоелектроніки [1].

Незважаючи на те, що золото і срібло зарекомендували себе як чудові плазмонні матеріали, кожний із них має фіксовану частоту плазмонного резонансу що визначається геометрією частинки і обмежує застосування будь-якого матеріалу. Більш перспективним є використання сплавів «золото – срібло», оскільки частота їх плазмонного резонансу може налаштовуватися шляхом зміни складу сплаву.

Для сплавних наночастинок радіусом  $R$  зі структурою неупорядкованого твердого розчину, в якому атоми обох металів ідеально пермішані, діелектрична функція може бути записана у вигляді [2]

$$\epsilon_{\text{Alloy}}(\omega) = \epsilon_{\text{Alloy}}^{\infty} - \frac{\omega_{p,\text{Alloy}}^2 (\tau_{\text{Alloy}}^{\text{eff}})^2}{1 + \omega^2 (\tau_{\text{Alloy}}^{\text{eff}})^2} + i \frac{\omega_{p,\text{Alloy}}^2 \tau_{\text{Alloy}}^{\text{eff}}}{\omega (1 + \omega^2 (\tau_{\text{Alloy}}^{\text{eff}})^2)}, \quad (1)$$

де  $\epsilon_{\text{Alloy}}^{\infty}$  – внесок іонного остову у діелектричну функцію сплаву;  $\omega_{p,\text{Alloy}}$  і  $\tau_{\text{Alloy}}^{\text{eff}}$  – частота об'ємних плазмонів і ефективний час релаксації електронів у сплавній наночастинці:

$$\epsilon_{\text{Alloy}}^{\infty} = x\epsilon_{\text{A}}^{\infty} + (1-x)\epsilon_{\text{B}}^{\infty}; \quad (2)$$

$$\omega_{p, \text{Alloy}}^2 = \frac{\omega_{p, A}^2 + \frac{m_B^*}{m_A^*} \frac{1-x}{x} \omega_{p, B}^2}{1 + \frac{m_B^*}{m_A^*} \frac{1-x}{x} + \alpha \frac{1-x}{m_A^*}}; \quad (3)$$

$$\tau_{\text{Alloy}}^{\text{eff}} = x\tau_A^{\text{eff}} + (1-x)\tau_B^{\text{eff}} - \beta x(1-x). \quad (4)$$

Тут  $x$  – вміст металу А у сплаві;  $m_{A(B)}^*$  і  $\tau_{A(B)}^{\text{eff}}$  – ефективна маса та ефективний час релаксації електронів у металі А (В), відповідно;  $\alpha$  і  $\beta$  – масова і часова константи, відповідно.

Ефективний час релаксації електронів у металі може бути записаний як

$$\frac{1}{\tau_{A(B)}^{\text{eff}}} = \frac{1}{\tau_{A(B)}^{\text{bulk}}} + \mathcal{S}_{A(B)}(\omega, R) \frac{v_{F, A(B)}}{R}, \quad (5)$$

де  $\tau_{A(B)}^{\text{bulk}}$  – час релаксації у 3D-металі;  $v_{F, A(B)}$  – швидкість Фермі;  $\mathcal{S}_{A(B)}(\omega, R)$  – ефективний параметр, що описує ступінь втрати когерентності при розсіяння електрона на поверхні

$$\mathcal{S}_{A(B)} = \frac{1}{4} \left( \frac{\omega_p}{\omega} \right)^2 \left[ 1 - \frac{2v_{s, A(B)}}{\omega} \sin \frac{\omega}{v_{s, A(B)}} + \frac{2v_{s, A(B)}^2}{\omega^2} \left( 1 - \cos \frac{\omega}{v_{s, A(B)}} \right) \right], \quad (6)$$

де  $v_{s, A(B)} = v_{F, A(B)} / 2R$ .

Отже, можна розробити склад сплав, що відповідатиме необхідній частоті для конкретного застосування.

1. А.В. Коротун, А.О. Коваль, та ін., *Нанопотонні технології. Сучасний стан і перспективи* (Ужгород: ФОП Сабов А.М.: 2019).
2. Н. Ма, X. Liu, et al., *J. Phys. Chem. C* **124**, 2721 (2020).

## Механізми релаксації електронного збудження триазидо-S-триазину

Кондратенко П.О.<sup>1</sup>, професор; Сакун Т.М.<sup>1</sup>, доцент;  
Марінченко Г.Є.<sup>1</sup>, доцент; Лопаткін Ю.М.<sup>2</sup>, професор

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

<sup>2</sup> Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Здатність азидів створювати під дією світла високореакційні інтермедіати привела до широкого застосування азидів в електроніці як фоторезистів [1]. В той же час поведінка молекул в високозбуджених станах є актуальною фундаментальною проблемою сучасної фізики і техніки. До цього часу процесам релаксації збудження молекул приділялося дуже мало уваги. Вважалося, що неухильно працюють закони фотохімії і, зокрема, четвертий закон, який гласить, що в переважній більшості фотохімічних процесів, які протікають в розчинах органічних молекул, беруть участь лише збуджені в  $S_1$  чи  $T_1$  стан молекули [2]. Згодом з'явилися численні експериментальні дані, які показують, що процеси релаксації збудження не заважають протіканню важливих для науки і практики процесів у високозбуджених станах: генерації носіїв струму, фотохімічних процесів [3, 4] тощо. Таким чином було доведено існування квазірівноважних процесів релаксації електронного збудження молекул. В даній роботі продовжені дослідження квазірівноважних процесів електронної релаксації з високозбуджених станів в молекулі триазидо-S-триазину.

Даний тип молекул характеризується симетрією  $C_3$  і має три азидогрупи, кожна з яких має можливість дисоціювати з виділенням молекулярного азоту. При цьому створиться нітрен – молекула з одинарним C-N-зв'язком і двома незв'язаними молекулярними орбіталями (МО), локалізованими на атомі азоту. На цих МО локалізовані по одному електрону, внаслідок чого основним станом нітрону є триплетний стан. Дослідження енергетичної структури показало, що перші триплетні стани відносяться до  $\pi \rightarrow \pi^*$  – квантових переходів, а наступні три стани – до  $\pi \rightarrow \sigma^*$  – квантових переходів. При цьому дисоціативним є стан  $T_5$ . Аналогічні дослідження синглетних станів показали (рис 1), що перші три енергетичні стани відносяться до  $\pi \rightarrow \sigma^*$  – квантових переходів, серед яких дисоціативним є стан  $S_3$ .

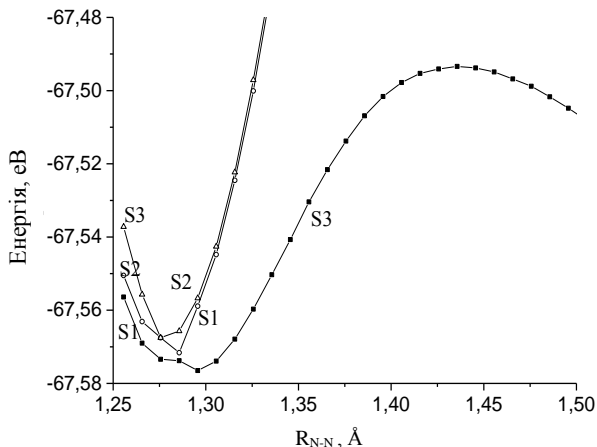


Рисунок 1 – Потенціальні поверхні збуджених станів триазидо-S-триазину

Проте, в цьому випадку поблизу рівноважного стану є потенціальний бар'єр висотою 0,083 eV. При кімнатній температурі така висота бар'єру дозволяє електрону подолати її в процесі релаксації електронного збудження. Збудження молекули можливе лише в стани  $S_4$  та  $S_5$ , які відповідають  $\pi \rightarrow \pi^*$  – квантовим переходам, а тому характеризуються великим коефіцієнтом екстинкції. Відповідна широка смуга поглинання лежить в ультрафіолетовій області спектру (242 нм). Після  $\pi \rightarrow \pi^*$  – збудження система релаксує до  $\pi \rightarrow \sigma^*$  – стану, який дозволяє S-T- конверсію. З триплетного стану можливі два процеси: дисоціація N-N-зв'язку і релаксація до основного стану.

Така енергетична структура молекули забезпечує процес дисоціації азидогрупи з квантовим виходом  $\phi=0,34$ .

1. D.S. Breslow, *Photoresists and printing plates. In Azides and Nitrenes, Reactivity and Utility* (New York: Academic Press: 1984).
2. П.О. Кондратенко, *Фотохімічна дія світла* (Київ: вид-во „Київський університет”: 2005)
3. P.O. Kondratenko, Yu.M. Lopatkin, T.M. Sakun, *J. Nano Electron. Phys.* **12** No 5, 05002 (2020).
4. П.О. Кондратенко, Ю.М. Лопаткін, Т.М. Сакун, *ФХТТ* **8** № 1, 100 (2007).



## Трирівнева модель інтенсивної пластичної деформації аморфних матеріалів

Ющенко О.В., доцент; Крекшин Д.М., аспірант;  
 Кубах М.О. студент  
 Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В матеріалах, що піддаються інтенсивній пластичній деформації, утворюються різні типи дефектів, основними з яких є межі зерен та дислокації. Якщо враховувати процеси перекристалізації [1], то слід розглядати одночасно присутність грубих і дрібних зерен, що забезпечують для металів та сплавів поєднання міцності та пластичності.

Опис таких систем в рамках тридефектної моделі базується на еволюційних рівняннях типу Ландау-Халатнікова та залежності густини внутрішньої енергії від щільності дефектів (1):

$$u = u_0 + \sum_{m=b,D,B} \left( \varphi_{0m} h_m - \frac{1}{2} \varphi_{1m} h_m^2 + \frac{1}{3} \varphi_{2m} h_m^3 - \frac{1}{4} \varphi_{3m} h_m^4 \right) + \varphi_{bG} h_b h_G + \varphi_{bD} h_b h_D + \varphi_{GD} h_G h_D \quad (1)$$

де  $h_i$  – щільність дефектів (дрібних і грубих зерен та дислокацій);  $\varphi_{ij}$  – параметри моделі для кожного типу дефекту.

В результаті числовими розв'язками системи трьох диференціальних рівнянь є часові залежності щільності дефектів. Аналітично система рівнянь була розв'язана в рамках адіабатичного наближення. Аналіз екстремумів побудованого ефективного потенціалу дозволив встановити стаціонарні стани системи, коли можливо утворення стабільних мікро-, субмікро- та нанокристалічних структур.

Окрім цього кінетичне дослідження трирівневої системи було проведено в рамках методу фазової площини: знайдені стійкі стани системи, проаналізований їх тип стійкості, побудовані тривимірні фазові портрети. Порівнюючи два теоретичних підходи, зроблено висновок щодо умов утворення стабільних структур та типів переходів між ними.

1. А.М. Глезер, Л.С. Метлов и др., *Письма в ЖЭТФ* **106**, 752 (2017).

## Дослідження стійкості стаціонарних станів в процесі межового тертя

Ющенко О.В., доцент; Бадалян А.Ю., ст. викладач;  
Радченко Д.Я., студентка  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В роботі було розвинуто дослідження синергетичної моделі [1], що описує процес плавлення верхнього шару льоду, який діє як надтонкий шар мастила між двома твердими і гладкими поверхнями. Основою дослідження є розм'якшення льоду під час тертя, яке забезпечується самоорганізацією компонентів внутрішніх напружень, зсувною деформацією та температурою. Таким чином процес описується рівнянням Кельвіна-Фойгта для в'язкопружного середовища та рівнянням релаксації Ландау-Халатникова для теплопровідності. Кінетичне рівняння для температури отримується з використанням співвідношення теорії пружності.

В результаті математична модель процесу плавлення задається системою трьох диференціальних рівнянь, що має форму, подібну до схеми Лоренца, яка дозволяє визначити термодинамічні фази та кінетичні переходи. Модель характеризується наявністю п'яти областей, які відрізняються реалізацією кількості спеціальних точок або різними типами їх стійкості. За допомогою методу фазової площини було проаналізовано кінетику процесу танення льоду та типи стійкості можливих стаціонарних станів системи. Для визначення областей існування особливих точок та їх типів стійкості побудована фазова діаграма системи. Крім того, була розглянута умова втрати стійкості показників Ляпунова, знайдені області параметрів, при яких встановлюється той чи інший режим поведінки системи. Фазові портрети були побудовані для кожного режиму та описана кінетика системи. Отримані результати якісно збігаються з експериментальними даними.

1. A.V. Khomenko, et al., *J. Condens. Matter Phys.* **19**, 33001 (2016).

## Вплив нанорозмірних багат шарових структур на динаміку температурного поля в зоні металообробки

Білоус Д.О.<sup>1</sup>, аспірант; Юнда А.М.<sup>2</sup>, докторант;

Гончаров О.А.<sup>1</sup>, професор

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми, Україна

<sup>2</sup> Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми, Україна

На даний час наноструктуровані покриття широко використовують в якості захисних елементів з метою покращення фізико-механічних характеристик ріжучих інструментів. Разом з тим, знос ріжучого інструменту тісно пов'язаний і з розподілом теплового навантаження уздовж ріжучої кромки [1]. Тому, моделювання розподілу температурних полів на ділянці металообробки може надати важливі додаткові відомості, необхідні для конструювання властивостей інструментальних матеріалів, а також для оптимізації процесу різання.

Метою даного дослідження є проведення аналізу впливу наноструктурних нанокompозитних багат шарових покриттів на процеси теплопереносу в ріжучому інструменті для усунення існуючих протиріч між результатами подібних досліджень що проведені іншими авторами. Розглядалися тришарові покриття виду  $TiC / Al_2O_3 / TiN$ -II або  $TiN / Al_2O_3 / TiC$ -II та, для порівняння властивостей, інструмент без покриття.

Проведений літературний огляд матеріалів, які присвячені питанню вивчення особливостей поширення теплового потоку вглиб ріжучого інструменту. Незважаючи на достатньо велику кількість робіт з цієї тематики, в тлумаченні термозахисних властивостей покриттів встановлено декілька основних напрямків, серед яких відмічається як достатньо потужний термозахисний ефект нанесеного покриття, так і відсутність його.

В той же час, частина дослідників пов'язує зменшення теплового потоку, що поширюється вглиб ріжучого інструменту, не з термозахисним фактором багат шарової структури, а із зміною коефіцієнта тертя покриття, що і призведе до зменшення теплоти, що переходить в середину інструменту, що і пояснює відсутність термозахисту.

1. A. Goncharov, A. Yunda, et al., *High Temperature* **24**, 81 (2020).

## Багатошарові захисні покриття на основі WN з покращеними трибомеханічними властивостями

Смирнова К.В., аспірантка; Погребняк О.Д., професор;  
Янчук Є.І., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Протягом останніх десятиліть інтенсивний розвиток сучасних технологій стимулює необхідність вдосконалення захисних властивостей матеріалів та їх витривалості. Вони повинні витримувати екстремальні умови експлуатації, такі як високі температури, зовнішні напруги та агресивне окислювальне середовище, що може спричинити їх деградацію та руйнування. Тому у промисловості широко застосовуються захисні покриття з високими механічними та трибологічними властивостями, які продовжують строк експлуатації дорогих металевих деталей та інструментів.

У даній роботі було досліджено багатошарові нітридні покриття WN/CrN і WN/TiSiN, осадженні методом вакуумно-дугового випаровування із парової фази на модифікованій установці «Булат-6». У якості підкладок використовували поліровану нержавіючу сталь X6CrNiTi18-11. Мікроструктуру, хімічний склад, механічні та трибологічні властивості зразків досліджували за допомогою рентгенівського дифрактометра, растрового електронного мікроскопу з високою роздільною здатністю, наноіндентора та трибологічних випробувань по схемі «кулька – диск».

Спільний для всіх покриттів шар WN складався із  $W_2N$  фази із гранецентрованою кубічною ґраткою (ГЦК) NaCl типу. Другий шар у WN/CrN і WN/TiSiN був представлений ГЦК-CrN та ГЦК-твердим розчином TiSiN. Нанотвердість ( $H$ ) і приведений модуль пружності ( $E$ ) для WN/CrN і WN/TiSiN мали наступні значення: 33,5 ГПа і 393,4 ГПа; 35,8 ГПа і 431,9 ГПа, відповідно. Покриття продемонстрували високі механічні властивості. Так як  $H > 30$  ГПа, досліджувані покриття відносяться до категорії твердих матеріалів. Також під час проведення трибологічних тестів зразки мали низькі значення швидкості зносу:  $1,2 \times 10^{-5}$  мм<sup>3</sup>/Нм для WN/CrN і  $5,3 \times 10^{-6}$  мм<sup>3</sup>/Нм для WN/TiSiN. Треба відмітити, що WN/TiSiN продемонстрував кращі характеристики. Таким чином, досліджувані зразки можуть бути успішно використані у якості захисних покриттів, наприклад, для ріжучих інструментів.

## **СЕКЦІЯ 3**

### **«Матеріалознавство мікро- та наноелектроніки»**

### Thermo- and magnetoresistive properties of multicomponent film materials: phenomenological approach

Vasyukhno M.V., *postgraduate*; Klochok V.S., *postgraduate*;  
 Rylova A.K., *student*; Protsenko I.Yu., *professor*  
 Sumy State University, Sumy, Ukraine

In the analysis of electrophysical and magnetoresistive properties of multicomponent film materials, including high-entropy alloys (HEA), you can use the ratio of resistivity additivity ( $\rho$ ), which is valid at relatively low concentrations (up to 20 at.%) of individual components:

$$\rho = \sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i, \quad (1)$$

where  $c_i$  and  $\rho_i$  – concentration and resistivity of  $i$ -th component.

Temperature coefficient of resistance TCR ( $\beta_T$ ) of multicomponent film can be represented as such a ratio:

$$\beta_T = \frac{\partial \ln \rho}{\partial T} = \frac{1}{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i} \cdot \frac{\partial \sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i}{\partial T} = \frac{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i \cdot \beta_i}{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i}, \quad (2)$$

where  $\beta_i$  – TCR of  $i$ -component, if the temperature concentration gradient  $\frac{\partial c_i}{\partial T} = 0$ . In the more general case, when  $\frac{\partial c_i}{\partial T} \neq 0$ , ratio (2) will look like this:

$$\beta_T = \frac{\sum_{(i)} \left( \frac{\partial c_i}{\partial T} \rho_i + c_i \frac{\partial \rho_i}{\partial T} \right) c_i \cdot \rho_i}{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i} = \frac{\sum_{(i)} (c_i \cdot \rho_i \cdot \beta_{c_i} + c_i \cdot \rho_i \cdot \beta_i)}{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i} = \frac{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i \cdot (\beta_{c_i} + \beta_i)}{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i}. \quad (2')$$

This phenomenological approach can be used to determine the field resistivity ( $\beta_B$ ) of normal (MR) or giant (GMR) magnetoresistance.

In the first case, you can write:

$$\beta_B = \frac{\partial \ln \rho}{\partial B} = \frac{\sum_{(i)} \left( \frac{\partial c_i}{\partial B} \cdot \rho_i + \frac{\partial \rho_i}{\partial B} \cdot c_i \right)}{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i} = \frac{\sum_{(i)} (c_i \cdot \rho_i \cdot \beta_{Bc_i} + \rho_i \cdot \beta_{B\rho_i})}{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i} = \frac{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i \cdot (\beta_{Bc_i} + \beta_{B\rho_i})}{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i}. \quad (3)$$

Note that in the ratios (2') and (3) derivatives  $\partial c_i / \partial T$ ,  $\partial \rho_i / \partial T$  and  $\partial \rho_i / \partial B$  we multiplied and divided by  $c_i$  or  $\rho_i$ . This made it possible to move from derivatives to real thermal and field coefficients  $\beta_{Bc_i}$ ,  $\beta_i$  and  $\beta_{B\rho_i}$ .

Equation (3) is somewhat simplified if we assume that the concentration gradient  $\partial c_i / \partial B \cong 0$ :

$$\beta_B \cong \frac{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i \cdot \beta_{B\rho_i}}{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i}. \quad (3')$$

In addition, it would be logical to assume that the main contribution to the value  $\beta_{B\rho_i}$  give magnetic materials that will allow to submit (3') as follows:

$$\beta_B \cong \frac{\sum_{(j)} c_{mj} \cdot \rho_{mj} \cdot \beta_{mB_j}}{\sum_{(i)} c_i \cdot \rho_i}, \quad (3'')$$

where the index «m» denotes the magnetic components.

Because the ratio (2') can be rewritten in approximation  $\beta_{c_i} \cong 0$ , then  $\beta_T$  will be of the value order  $\beta_T \cong n \cdot \bar{\beta}_i \cdot \bar{c}_i \cong 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , where  $n$  – components number,  $\bar{\beta}_i$  – the average value of TCR for n-component HEA. At values  $\bar{\beta}_i \cong (6-10) \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$  value  $\beta_T \cong (3-5) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , consistent with experimental data  $\beta_T \cong 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  (thickness 80 nm) and  $3,0 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  (thickness 74 nm) [1, 2].

The value of normal magnetoresistance  $MR = \frac{\rho(B) - \rho(0)}{\rho(0)}$ , in the case of a multicomponent alloy can be represented as follows:

$$MR \cong \frac{\sum_{(i)} (c_i(B) \rho_i(B) - c_i(0) \rho_i(0))}{\sum_{(j)} c_i(0) \cdot \rho_i(0)} \cong \frac{\sum_{(i)} (c_{mi}(B) \rho_{mi}(B))}{\sum_{(i)} c_i(0) \rho_i(0)}. \quad (4)$$

Magnetic coefficient of normal MR ( $\beta_B^{MR}$ ) can be written based on the ratio (4):

$$\begin{aligned} \beta_B^{MR} &= \frac{\partial \ln MR}{\partial B} = \frac{1}{MR} \cdot \frac{\partial MR}{\partial B} = \frac{\sum_{(i)} c_i(0) \cdot \rho_i(0)}{\sum_{(i)} (c_i(B) \rho_i(B) - c_i(0) \rho_i(0))} \times \\ &\times \sum_{(i)} \left[ \frac{\partial c_i(B)}{\partial B} \rho_i(B) + c_i(B) \frac{\partial \rho_i(B)}{\partial B} - \frac{\partial c_i(0)}{\partial B} \rho_i(0) - c_i(0) \frac{\partial \rho_i(0)}{\partial B} \right] \cong \\ &\cong \frac{\sum_{(i)} c_i(0) \cdot \rho_i(0)}{\sum_{(i)} (c_i(B) \rho_i(B) - c_i(0) \rho_i(0))} \times \sum_{(i)} (c_i(B) \beta_{Bc_i} \rho_i(B) + c_i(B) \beta_{B\rho_i} \rho_i(B)), \end{aligned} \quad (5)$$

where it is taken into account that  $\partial c_i(0)/\partial B \cong 0$  and  $\partial \rho_i(0)/\partial B \cong 0$  ( $c_i(0)$  i  $\rho_i(0)$  – concentration and resistivity of the  $i$ -th component at  $B = 0$ ).

As in the case of a normal MR, the second factor in relation (5) can be simplified by considering only the contribution of the magnetic components. Since from the point of view of the mathematical apparatus normal MR and GMR have the same structure, we can write:

$$GMR = \frac{\sum_{(i)} (c_i(B) \rho_i(B) - c_i(0) \rho_i(0))}{\sum_{(i)} c_i(0) \cdot \rho_i(0)} \cong \frac{\sum_{(j)} (c_{mj}(B) \rho_{mj}(B) - c_{mj}(0) \rho_{mj}(0))}{\sum_{(i)} c_i(0) \rho_i(0)}. \quad (6)$$

By analogy with (5), you can write the relationship for the magnetic coefficient of GMR, based on a simplified relationship (6):

$$\begin{aligned} \beta_B^{GMR} &= \frac{\partial \ln GMR}{\partial B} = \frac{\sum_{(i)} c_i(0) \cdot \rho_i(0)}{\sum_{(i)} (c_i(B) \rho_i(B) - c_i(0) \rho_i(0))} \times \\ &\times \left( \sum_j (c_{mj}(B) \beta_{Bc_j} \rho_j(B) + c_j(B) \beta_{B\rho_j} \rho_j(B) - c_{mj}(0) \beta_{mB_j} \rho_{mj}(0)) \right), \end{aligned} \quad (6')$$

where, as in the case (5), we assume that  $\partial c_i(0)/\partial B \cong 0$  and  $\partial \rho_i(0)/\partial B \cong 0$ .



Based on our experimental data, we can estimate the value  $\beta$  by ratio (2') on the example of HEA films based on Fe, Co, Ni, Cu and Al in the range of thicknesses 70-80 nm [1-3]. Rating  $\beta_B^{\text{GMR}}$  gives the value of the order  $10^{-3} \text{ T}^{-1}$ , which is qualitatively consistent with the experimental value  $\beta_B^{\text{GMR}} \cong (4-5) \cdot 10^{-3} \text{ T}^{-1}$  [3, 4].

Despite the phenomenological nature of relations (3), (5) and (6') they make it possible to predict the thermo- and magnetoresistive properties of the HEA films. Note also that the difference between the experimental values  $\beta_B^{\text{MR}}$  and  $\beta_B^{\text{GMR}}$  and calculated by formulas (5) and (6') can be a characteristic of the degree of magnetization of high-entropy film alloys.

The work was performed within the framework of the state budget of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 0120U102005 (2020-2022 years).

1. Odnodvoret L.V., Shabelnyk Yu.M., Protsenko I.Yu., Shumakova N.I., *J. Nano- Electron. Phys.* **12**(2), 02014 (2020).
2. Bereznyak Yu.S., Odnodvoret L.V., Poduremne D.V., Protsenko I.Yu., Rylova A.K., Shumakova N.I., *IEEE 9th International Conference on «Nanomaterials: Applications & Properties»* 01TFC49 (2019).
3. Vorobiov S.I., Kondrakhova D.M., Nepijko S.O., Poduremne D.V., Shumakova N.I., Protsenko I.Yu., *J. Nano- Electron. Phys.* **8**(3), 03026 (2016).
4. Bereznyak Yu.S., Opielak M., Odnodvoret L.V., Poduremne D.V., Protsenko I.Yu., Shabelnyk Yu.M., *J. Nano- Electron. Phys.* **11**(2), 02026 (2019).

## Характерні особливості високоентропійних сплавів

Косенко О.С., *магістрант*; Калініченко А.Ю., *магістрант*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Високоентропійні сплави (ВЕС) – це новий та перспективний клас матеріалів, який почали активно вивчати на початку 2000-х років [1]. Створення ВЕС, які є комбінацією переважно п’яти компонент змішаних приблизно в рівних атомних пропорціях, є успішною спробою розробки нових композиційних матеріалів. Проте можливе утворення ВЕС і при перемішуванні 4-х компонентів. Головна особливість ВЕС полягає в тому, що у них немає основного (базового) елемента. На рисунку 1 зображені варіанти утворення тонкоплівкових структур при перемішуванні трьох компонент однакової концентрації.

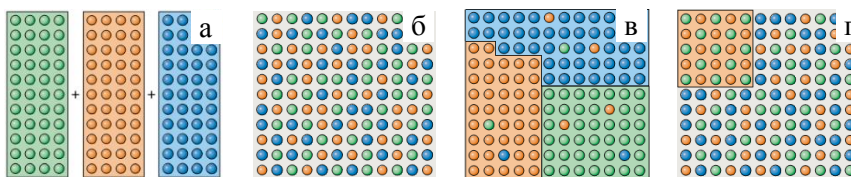


Рисунок 1 – Варіанти утворення структур при перемішуванні трьох компонент: вихідний стан (а), простий твердий розчин (б), твердий розчин різного фазового складу (евтектика) (в) та інтерметалідна сполука у твердому розчині (г) [2]

Одним з основних параметрів, яким оперують, коли формують високоентропійні сплави – це ентропія змішування  $\Delta S_{\text{змш}}$ , яка визначається за співвідношенням:

$$\Delta S_{\text{зм}} = -R \sum x_i \ln x_i \quad (1)$$

де  $R$  – це газова стала,  $x_i$  – мольна частка  $i$ -го елемента. Якщо  $x_1 = x_2 = x_3 = \dots = x_i$ , то співвідношення (1) можна подати у вигляді:

$$\Delta S_{\text{зм}} = R \ln n \quad (2)$$

де  $n$  – кількість елементів у сплаві, при цьому  $\Delta S_{\text{зм}}$  дорівнює  $1,39R$ ,  $1,61R$  та  $1,79R$  для еквіатомних сплавів, що містять 4, 5 та 6 елементів відповідно.

Сплави, що мають структуру простого твердого розчину, можуть мати ряд цікавих властивостей: висока міцність, жаростійкість,

пластичність і корозійна стійкість, невеликі значення густини у поєднанні з високою твердістю. Це робить їх привабливими для дослідження та використання у різних галузях промисловості.

Так, сплави  $\text{CoCrFeNi}$  і  $\text{CoCrFeNiMn}$  проявляють високу пластичність при кімнатній температурі ( $\approx 40\%$ ), але мають низьку межу плинності ( $\approx 200$  МПа). Сплав системи  $\text{CoCrFeNi}$  має набагато кращі корозійні властивості у порівнянні зі сталлю 304L.

Не менш цікавими високоентропійними сплавами є сплави  $\text{VNbMoTaW}$ ,  $\text{NbMoTaW}$ ,  $\text{TaNbHfZrTi}$ , і  $\text{NbTiVZr}$ , що включають у себе тугоплавкі елементи, при цьому мають однофазну структуру твердого розчину з ОЦК кристалічною решіткою. Сплави системи  $\text{VNbMoTaW}$  і  $\text{NbMoTaW}$ , на відміну від  $\text{CoCrFeNiMn}$ , мають хороші жаростійкі властивості. Механічні випробування сплавів на стиск при температурі  $1600^\circ\text{C}$  показали високі значення межі текучості і межі міцності:  $477$  МПа і  $479$  МПа у сплаві  $\text{VNbMoTaW}$ , а у  $\text{NbMoTaW}$  –  $405$  МПа і  $600$  МПа, відповідно. Високі механічні властивості можна пояснити здатністю ентропії змішування до блокування дифузії між елементами.

На відміну від твердих розчинів та інтерметалідних з'єднань, аморфний сплав має неупорядковану і некристалічну атомну структуру. З високоентропійних сплавів, які мають аморфну структуру, можна виділити систему  $\text{AlCrMoTaTiZr}$ . Більш складна структура у ВЕСах зустрічається у сплавів, що мають 4 і більше фаз. Одним із найбільш вивчених сплавів з такою структурою є сплав системи  $\text{CoCrFeNiAl}_x\text{Cu}$  [3].

Таким чином, високоентропійні сплави можуть мати структуру на основі простих твердих розчинів і складної структури. Як було показано, залежно від складу і мікроструктури ВЕСи мають великий потенціал для використання в якості жароміцних матеріалів, покриттів, що вимагають високої твердості і високої зносостійкості, і корозійностійких матеріалів з високою міцністю.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0120U102005.

Керівники: Шкурдода Ю.О., *д.ф.-м.н.*; Шабельник Ю.М., *к.ф.-м.н.*

1. J.W. Yeh, S.K. Chen, S.J. Lin, J.Y. Gan, T.S. Chin, T.T. Shun, C.H. Tsau, S.Y. Chang, *Adv. Eng. Mater.* **6** No 5, 299 (2004).
2. E.P. George, D. Raabe, R.O. Ritchie, *Nat. Rev. Mat.* **4**, 515 (2019).
3. Y. Bereznyak, L. Odnodvoretz, D. Poduremne, I. Protsenko, Yu. Shabelnyk, *Springer Proceedings in Physics* **210**, 17 (2018).

## Optical properties of CdTe<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> thin films obtained by the quasi close-space sublimation method

Ilchuk H., *Professor*; Petrus R., *Senior Research Fellow*;  
Semkiv I., *Senior Research Fellow*; Kashuba A., *Senior Research Fellow*  
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

CdTe<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> (CTS,  $x \approx 0.1$ ) thin film was prepared by quasi close-space sublimation method. The quartz substrates were ~14 mm in diameter were used for deposition CTS thin films. Before the film deposition, the substrate surface was cleaned by boiling in a high purity CCl<sub>4</sub> solution during 0.5 h. The deposition of CTS films was conducted on a quartz substrate from polycrystalline CdTe<sub>0.5</sub>Se<sub>0.5</sub> powder.

The phase analysis and crystal structure refinement was examined with using X-ray diffraction data. CTS thin film crystallize in cubic structure (structure type -ZnS, space group  $F-43m$ , with unit-cell constants  $a = 6.395(3) \text{ \AA}$  and  $V = 261.6(4) \text{ \AA}^3$ ). No additional peaks (by X-ray analysis) belonging to other compounds can be detected, which indicates the formation of a pure single phase, as well as the fact that Se is well integrated into the CdTe lattice.

The composition of the film was CdTe<sub>0.9</sub>Se<sub>0.1</sub>. Se content in this polycrystalline film was much lower than that found in the source (see experimental details). The same situation was realized in work [1]. This composition-change is also observed when depositing Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te and Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te films, and is caused by the nonequilibrium deposition of the CSS growth process [1].

The surface morphology of the synthesized films is given in Fig. 1. All the studied layers are polycrystalline and consist of randomly oriented (Fig. 1). We observed separate grains with clear inter-grain boundaries. A considerable portion of the crystallites is shapeless, but another part is faceted. Crystallites of CTS ( $x \approx 0.1$ ) evenly cover the substrate. The uniform size of crystallites indicates homogeneous deposition conditions throughout the substrate.

The optical band gap was determined from the absorption coefficient value. The energy gap ( $E_g$ ) is considered assuming a direct transition between valence and conduction bands from the Tauc law. Then by plotting  $(\alpha \cdot hv)^2$  versus  $hv$  is possible to obtain the direct optical gap from extrapolation of the lineal portion of the plot to the energy axis (see Fig. 2).

Thus, we have evaluated that the exact value of the optical band gap with allowed direct transitions for the studied film is  $\sim 1.37$  eV.

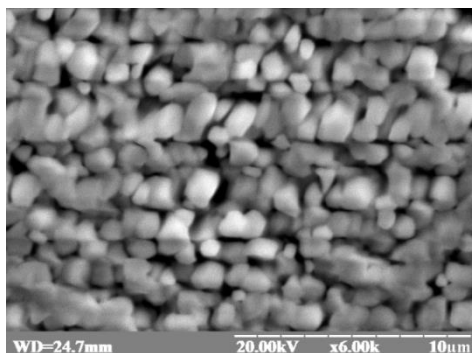


Figure 1 – Surface morphology of the CTS ( $x \approx 0.1$ ) thin film

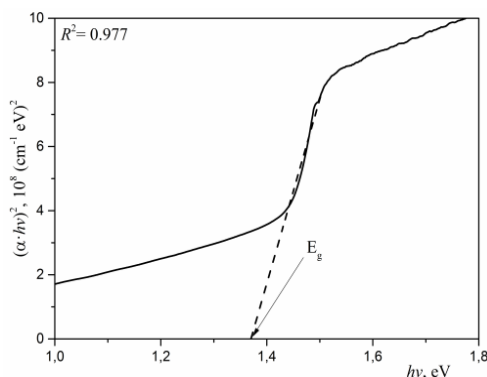


Figure 2 – Plots of  $(\alpha \cdot hv)^2$  vs. photon energy of CTS ( $x \approx 0.1$ ) thin film

The experimental value of the band gap  $E_g$  of CTS ( $x \approx 0.1$ ) is estimated as  $E_g = 1.37$  eV, which is smaller than the experimental value for pure CdTe ( $\sim 1.4$  eV [2]), but good correlation with other knowing data [3, 4].

1. H. Ilchuk, E. Zmiiovska et al., *J. Nano- Electron. Phys.* **12**(1), 01027 (2020).
2. R. Petrus, H. Ilchuk et al., *Funct. Mater.* **27**, 342 (2020).
3. C. Li, A. Wang et al., *Mater. Res. Exp.* **6**, 066415 (2019).
4. B. Xing, W. Li et al., *J. Mater. Chem.* **20**, 5664 (2010).

## Modeling behavior of single-domain ferromagnetic nanoparticles in the magnetic field

Petrenko N.S., *Postgraduate Student*; Pavlyuk M.O., *Postgraduate Student*;  
Lyutyy T.V., *Associate Professor*  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Recently, considerable literature has grown up around the theme of nanotechnology. Despite having many numerous publications, as such progress in this direction, there is no understanding of the patterns of joint magnetic and mechanical motion of a ferromagnetic nanoparticle in a viscous fluid. The association with mechanical rotation and the internal magnetic dynamics of a nanoparticle is an important point in the microscopic description of the behavior of a ferrofluid that interacts with an external field.

Specifically, the following issues are addressed the power loss and particle trajectories. These trajectories relate in binding the rotational degrees of freedom of two directions in a nanoparticle - the easy axis and the magnetic force vector, that are described by demonstrating the system of equations:

$$\dot{\mathbf{n}} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{n}, \quad (1)$$

$$J \dot{\boldsymbol{\omega}} = \gamma^{-1} V \dot{\mathbf{M}} + V \mathbf{M} \times \mathbf{H} - 6\eta V \boldsymbol{\omega}, \quad (2)$$

$$\dot{\mathbf{M}} = -\gamma (\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{\text{eff}}) + \alpha M^{-1} \left[ \mathbf{M} \times (\dot{\mathbf{M}} - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{M}) \right], \quad (3)$$

where  $\mathbf{n}$  is the unit vector indicating the direction of the anisotropy axis,  $\boldsymbol{\omega}$  is the angular velocity of the particle,  $J$  is the moment of inertia,  $\mathbf{M}$  is the magnetization of particle,  $\gamma$  is the gyromagnetic ratio,  $\mathbf{H}$  is the external uniform field,  $V$  is the particle volume,  $\alpha$  is the damping parameter,  $\mathbf{H}_{\text{eff}}$  is the effective magnetic field which takes into account the internal anisotropy field.

We compared the results for the fixed spherical ferromagnetic nanoparticle under the action of an external circularly polarized homogeneous field with a difference in range of amplitude and frequency (Fig. 1).

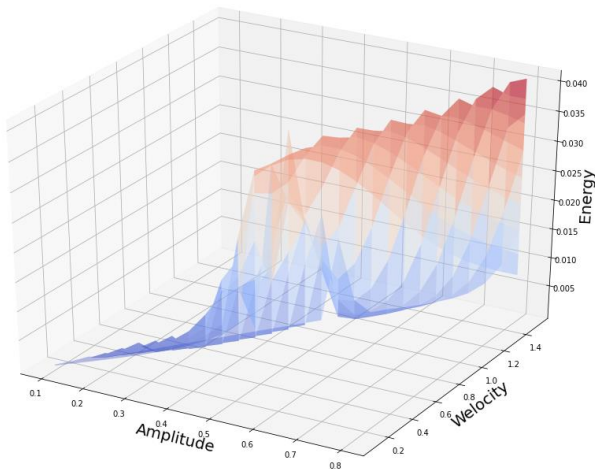


Figure 1 – The energetic regimes of ferromagnetic nanoparticles

The current study found that the easy axis decreases the exchange energy and the anisotropy energy and thus is energetically favorable.

Overall, there seems to be some evidence to indicate an explicit relationship between amplitude, velocity, and the anisotropy energy is given for the case of a single magnetic moment and a system with axis distribution centered in some particular directions. This provides us with the subsidiary character of the identification of the new nonlinear regimes.

In summary, it has been shown from the received mode map during the research might be the premier application for technician-designers with assistance in developing and implementing the parameters of the modes on biomedical devices that will work with external magnetic fields.

This work was funded by the State Programs of the Ministry of Education and Science of Ukraine 0119U100772.

## Effect of Al doping on the optical band gap of ZnO thin film

Andrii Kashuba, *Senior Research Fellow*

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Al-doped ZnO (ZnO:Al) thin films were deposited on glass substrates with a size of  $16 \times 8 \times 1.1 \text{ mm}^3$  by the method of high-frequency (HF) magnetron sputtering ( $\sim 13.6 \text{ MHz}$ ) using a VUP-5M vacuum station (Selmi, Ukraine). As a target, the disc from sintered ZnO (purity of 99.99 %) powder with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2.5 wt.%) admixture was used. The target–substrate distance was equal to 60 mm. The start and end of the sputtering process were controlled by means of a movable shutter.

Before the sputtering process the chamber was pumped out. The gas pressure inside the chamber during the film sputtering was equal to  $4 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ . This pressure is achievable when using a polyphenyl ether (5Φ4E) as a diffusion fluid in the vapor oil vacuum pump, which possesses the low vapor pressure of  $9 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ .

The power of the HF magnetron was maintained at the level of 30 W and the temperature of the substrate at  $\sim 373 \text{ K}$ . The high-temperature tungsten heater with a power of 300 W was used for heating the substrates. The temperature was controlled by means of a proportional–integral–derivative (PID) controller providing control of heating and cooling rates, as well as ensuring the temperature conditions of deposition.

Crystal structure of ZnO:Al has been determined from XRD. XRD peaks were detected at  $2\theta$  of 40.9, 44.25, 46.75 and 73.6 relating to (100), (002), (101) and (110) planes of ZnO, which can be indexed to hexagonal wurtzite structure. As results, ZnO:Al thin film crystallizes in hexagonal structure (structure type - ZnO, space group  $P6_3mc$  (No. 186), with the unit-cell dimensions  $a = 3.226(2) \text{ \AA}$  and  $c = 5.155(6) \text{ \AA}$  ( $V = 46.49(6) \text{ \AA}^3$ ) [1].

The energy dispersive X-ray (EDX) study provides a way of analysis the chemical composition of materials. The spectra show that the thin film is formed from the desired elements. The presence of Si and Ca in the sample can be attributed to the glass substrate.

The transmittance spectra are characterized by the presence of interference extremes, which suggests a perfection of the obtained films. Clear interference maxima and minima in the wavelength range from 300 to 1500 nm can be seen in Fig. 1, the positions of which are determined by



the film thickness. The thickness of the ZnO:Al thin film obtained from optical measurement is equal to 454.83 nm.

From the plot  $(\alpha \cdot hv)^2$  versus  $hv$  ( $\alpha$  is the absorption coefficient and  $hv$  is the photon energy) we can obtain a direct optical band gap  $E_g$  by extrapolation of linear part of the plot to the photon energy axis (see inset of Fig. 1). The estimated optical band gap of the ZnO:Al thin films is equal to  $E_g = 3.26$  eV.

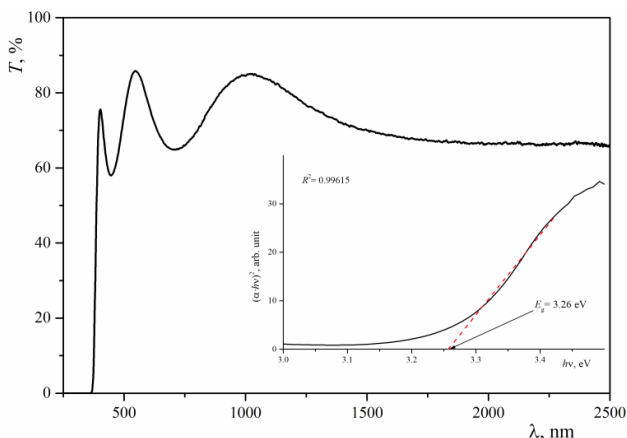


Figure 1 – Transmittance spectrum  $T(\lambda)$  of ZnO:Al thin film at room temperature. Inset: absorption coefficient  $\alpha$  in presentation  $(\alpha \cdot hv)^2$  as function of photon energy  $hv$

Comparison of the obtained results with known literature data [2] allows establishing a significant correlation of the obtained results. Namely, in [2] thin ZnO:Al films were obtained by magnetron sputtering (a similar method was used in this work). The band gap value of the pure ZnO thin film and Al-doped film are estimated as 3.21 eV and 3.25 eV, respectively. As noted in [2, 3], this phenomenon of shifting band gap with doped is explained by the influence of Burstein-Moss effect.

1. A. Kashuba, H. Ilchuk et al., *Mod. Phys. Lett. B* 2150189 (2021).
2. M. Gabas, A. Landa-Cánovas et al., *J. Appl. Phys.* **113**, 163709 (2013).
3. O. Bovgyra, M. Kovalenko et al., *J. Phys. Stud.* **23**(4), 4301 (2019).

## Concentration effect in the magnetoresistive properties of composite materials based on Co and SiO

Shchotkin V.V, *Ph.D. student*  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

A series of the thin-film composite materials based on Co and SiO were deposited via electron-beam co-evaporation technique using two independent sources (Co and SiO) and two independent electron-beam guns. The samples were deposited onto glass-ceramic substrates at room temperature. In this way, a wide range of compositions was obtained in one deposition run. The deposition conditions included a base pressure of  $10^{-4}$  Pa and a deposition rate was 5 nm/min for Co and SiO. The total thickness of the composites was controlled by a system of two independent quartz resonators and was amount of 30 and 60 nm.

The results showed that at the Co concentration  $35 \leq x \leq 60$  at.% thin film composites exhibit magnetoresistance that is conditional on spin-dependent tunnelling of electrons. This range of concentrations corresponds to the pre-percolation area according to the magnetic investigations. For samples with  $x > 60$  at. %, the anisotropic character of magnetoresistance peculiar to the homogeneous ferromagnetic materials appears. The evolution of the MR value in as-deposited thin-film composite materials on the Co concentration is presented in Fig. 1.

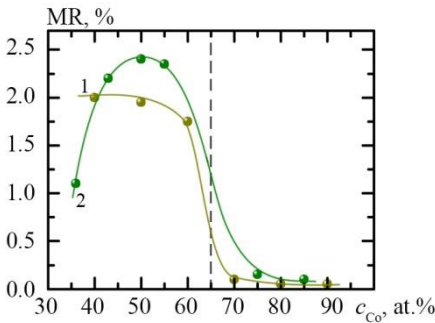


Figure 1 – Magnetoresistance as a function of the Co concentration for thin-film composite materials based on Co and SiO with thickness  $d = 30$  nm (1) and 60 nm (2)

This work was funded by the State Programs of the Ministry of Education and Science of Ukraine 0119U100777.

Supervisor: Pazukha I.M., *Ph.D., Assoc. Prof.*

## Розмірні та температурні ефекти в електропровідності шаруватих структур [Fe/SiO]<sub>5</sub>

Пінчук А.С., студент; Петренко Р.М., аспірант  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У даній роботі шаруваті структури [Fe/SiO]<sub>5</sub> формувалися методом пошарового електронно-променевого осадження у вакуумній камері за тиску газів залишкової атмосфери  $10^{-4}$  Па та кімнатної температури. Товщини магнітних ( $d_{\text{Fe}}$ ) і немагнітних ( $d_{\text{SiO}}$ ) шарів змінювалися у межах:  $d_{\text{Fe}} = 4-10$  нм,  $d_{\text{SiO}} = 2-6$  нм. З метою дослідження зміни характеру електропровідності досліджуваних структур у процесі термообробки, зразки після осадження проходили декілька циклів відпалювання за схемою «нагрівання↔охолодження». Температура відпалювання ( $T_{\text{в}}$ ) на кожному з циклів нагрівання збільшувалася на 100 К і становила 400, 500, 600, 700 та 800 К. На основі отриманих температурних залежностей питомого опору проводилися розрахунки термічного коефіцієнту опору (ТКО) за співвідношенням:  $\beta = (1/\rho_{\text{п}}) \cdot (\Delta\rho/\Delta T)$ , де  $\rho_{\text{п}}$  – початкове значення питомого опору, виміряне за кімнатної температури (КТ),  $\Delta T = T_{\text{в}} - RT$ .

Було показано, що для свіжосконденсованих та відпалених за температур 400, 500, 600 та 700 К шаруватих структур [Fe/SiO]<sub>5</sub> із ефективними товщинами  $d_{\text{Fe}} < 5$  нм та  $d_{\text{SiO}} = 5-6$  нм реалізується діелектричний режим провідності в температурному інтервалі 290-700 К. При збільшенні ефективної товщини шарів Fe до 5 нм величина ТКО (залишаючись від'ємною) зменшується за абсолютною величиною, наближаючись до нуля. При ефективній товщині шарів Fe понад 6 нм незалежно від товщини діелектричних шарів спостерігається лише характерний для металів хід кривої  $\rho(T)$  з додатним значенням ТКО, що можна пояснити металевим шаром Fe електричного опору SiO. Після відпалювання за температури 800 К від'ємний знак ТКО зберігається лише для плівок з ефективною товщиною шарів Fe до 3 нм.

Робота виконана в рамках держбюджетних тем № 0119U100777 (2019-2021 рр.) та 0120U102005 (2020-2022 рр.).

Керівники: Пазуха І.М., к. ф.-м. н., доцент;  
Шкурдода Ю.О., д. ф.-м. н., доцент

## Особливості магнітоопору шаруватих структур $[\text{Fe}/\text{SiO}]_5$

Неледва А.О., студент; Петренко Р.М., аспірант  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У випадку магніто-неоднорідних феромагнітних плівок їх магніторезистивні властивості можуть істотно відрізнятися внаслідок реалізації різних механізмів магнітоопору. Механізми виникнення магнітоопору в острівцевих системах та гранульованих плівках «метал-діелектрик» складні і поки що до кінця не з'ясовані. Можна лише відзначити, що важливу роль у формуванні магнітоопору відіграють механізми переносу заряду і спіну в цих системах. З урахуванням результатів проведених досліджень магніторезистивних властивостей гранульованих мультишарів, керметних та острівцевих плівок слід зазначити, що вони можуть бути перспективними як для вивчення в них різних механізмів магнітоопору, так і для прикладного застосування.

У даній роботі проведено дослідження особливостей магніторезистивних властивостей шаруватих структури  $[\text{Fe}(d_{\text{Fe}})/\text{SiO}(d_{\text{SiO}})]_5/\text{П}$  в умовах термообробки за  $T_b = 400, 500, 600, 700$  та  $800$  К. Встановлено, що для свіжосконденсованих зразків в інтервалі товщин шарів  $d_{\text{Fe}} = 5-10$  нм та  $d_{\text{SiO}} = 1-10$  нм спостерігається анізотропний характер польових залежностей магнітоопору (МО). Максимальна величина анізотропного МО спостерігається для структур з  $d_{\text{Fe}} = 10$  нм та  $d_{\text{SiO}} = 1$  нм і складає  $0,1\%$ . Після відпалювання зразків з  $d_{\text{Fe}} = 4-6$  нм та  $d_{\text{SiO}} = 5$  нм за температури  $400$  К фіксується перехід до ізотропного магнітоопору. Для плівок з  $d_{\text{Fe}} = 7-10$  нм незалежно від ефективної товщини діелектричного прошарку та температури відпалювання зазначений перехід не спостерігається. Максимальні значення ізотропного МО спостерігаються в тому випадку, коли розмір феромагнітних острівців складає  $3-5$  нм, а ширина діелектричного бар'єру між ними  $1-3$  нм.

Робота виконана в рамках держбюджетних тем № 0119U100777 (2019-2021 рр.) та 0120U102005 (2020-2022 рр.).

Керівники: Пазуха І.М., к. ф.-м. н., доцент;  
Шкурдода Ю.О., д. ф.-м. н., доцент

## **СЕКЦІЯ 4**

### **«Електронні інформаційні системи»**

## Розподілені мережі в системах моніторингу та малої автоматизації

Тищенко К.В., *к.ф.-м.н.*; Кучменко В.Г., *студент*;  
Одноворець К.С., *студентка*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Широкого поширення набувають системи моніторингу та керування, засновані на масиві пристроїв з підтримкою безпроводних протоколів зв'язку. До окремих елементів в таких системах пред'являється ряд вимог: сумісність і іншими вузлами, простота підключення та налаштування, забезпечення автономності роботи та ін. Для задоволення поставлених задач добре підходять мережі, що здатні до самоорганізації – mesh-мережі. У них пристрої можуть підключатись динамічно і автоматично налаштовуватись, відразу починаючи виконувати відведений для них пул задач. Такі мережі набувають широкого застосування у системах типу «Інтернет речей» (IoT) по причині своєї гнучкості.

Mesh-мережа може бути розгорнута з використанням популярних стандартизованих мережевих технологій, таких, як Wi-Fi, Bluetooth, Z-Wave або ZigBee, застосування котрих дає змогу використовувати усі їх засоби забезпечення безпеки і відмовостійкості. Обрання конкретного протоколу зв'язку відбувається виходячи із архітектури мережі і її компонентів.

У розрізі концепції IoT малодоцільним є використання технологій Wi-Fi та Bluetooth, оскільки вони, хоч і найбільш популярні, проте характеризуються поганими показниками енергоефективності і мають у своєму складі центральний комутатор (маршрутизатор), відмова котрого призводить до виведення із ладу всієї мережі. Застосування ж технологій Z-Wave та ZigBee забезпечує повномасштабне використання концепції mesh-мереж, де кожен вузол виступає не лише пристроєм моніторингу чи керування, а і ретранслятором сигналу, що забезпечує високі показники відмовостійкості внаслідок відсутності єдиної точки відмови в системі. Також вони мають високі показники енергоефективності, що дозволяє використовувати у мережах на їх основі вузли з автономними джерелами живлення. Саме тому популярні IoT рішення (напр. від Amazon та Xiaomi) застосовують саме протоколи Z-Wave та ZigBee, як найбільш оптимальні.

## Електронні датчики магнітного поля: технологічні і фізичні параметри

Сема Е.О., *магістрант*; Шкарупа Т.В., *магістрант*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розвиток сучасних напрямів електроніки потребує використання нових матеріалів та тонкоплівкових технологій. Застосування замість масивних матеріалів плівкових структур дозволяє вдосконалити технології виготовлення та покращити характеристики датчиків фізичних величин, у тому числі і магнітного поля, а також магніторезисторів, магнітотранзисторів, магнітодіодів, датчиків Холла або Віганда.

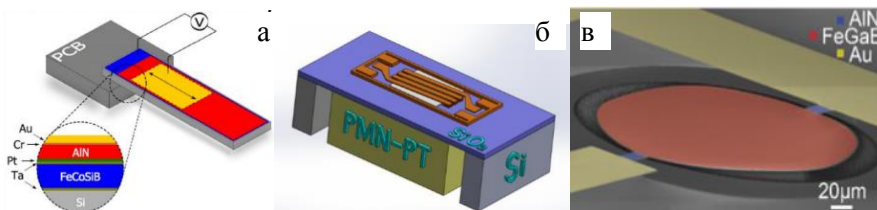


Рисунок 1 – Конструкція магнітних датчики на основі гетероструктур FeGaB/PMN-PT (а, б) та плівкова антена на основі ME FBAR (в) [1]

Основні критерії функціонування датчиків: діапазон входних та вихідних значень, нелінійність і точність, гістерезис, роздільна здатність. У залежності від типу і функціонального призначення датчикаа (магніторезистори, датчики Холла або ГМР-перетворювачі), нелінійність може знаходитись в діапазоні від 0,4 до 1,0%, чутливість – від 0,1 до 100 В/Тл, діапазон вимірювання – від  $10^{-6}$  до 10 Тл [2].

Керівник: Шабельник Ю.М., *к.ф.-м.н.*

1. X. Liang, C. Dong, H. Chen, J. Wang, Y. Wei, M. Zaeimbashi, Y. He, A. Matyushov, C. Sun, N. Sun, *Sensors* **20**, 1532 (2020).
2. В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.П. Білилівська, О.М. Жагловська, *Вісник НТУ «ХПІ»* №42(948), 48 (2012).

## Світловипромінювальні діоди як елементи індикаторних систем

Фатюшин В.В., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Світловипромінювальний діод (СД) – це напівпровідниковий пристрій, який випромінює некогерентне світло при пропусканні крізь нього електричного струму. Випромінюване світло лежить у вузькому діапазоні спектра, його кольорові характеристики залежать від хімічного складу напівпровідника (GaAs, InP, ZnSe, CdTe). У світлодіодах на основі р-п переходу (Рис.1) при пропусканні прямого електричного струму носії заряду рекомбінуються з випромінюванням фотонів. Світлодіоди на основі SMD (surface mounted device) та COB (chip-on-board) технологій монтується безпосередньо на загальну підкладку. Таким чином формуються світлодіодні модулі, які можуть мати лінійну, круглу або прямокутну форму.

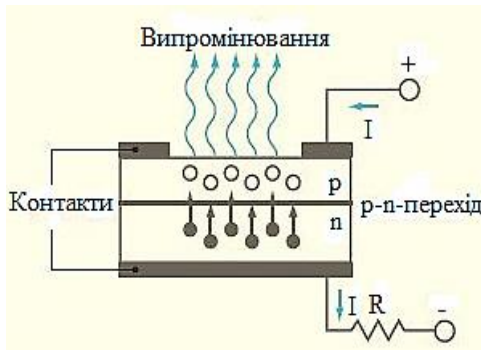


Рисунок 1 – Фізичні процеси в світловипромінювальному діоді

Узагальнення результатів вимірювань вольт-амперних характеристик світловипромінюючих діодів як елементів відображення інформації показує, що при збільшенні напруги від 2,0 до 3,0 В величина прямого струму експоненціально зростає від 0 до 5,78 – 6,50 мА (СД зеленого, білого, блакитного і синього кольорів світіння) та від 0 до 2,72 мА (СД червоного кольору світіння).

Керівник: Однодворець Л.В., д. ф.-м. н., професор



## Дослідження вольт-амперної характеристики *p-n*-переходу засобами моделювання в LabVIEW

Вітренко А.М., к.ф.-м.н.; Суловицький М.Ю., студент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Функціонування багатьох приладів твердотільної електроніки визначається властивостями електронно-діркового переходу. Це діоди, термістори, фоторезистори, світлодіоди, лазерні діоди, транзистори, сонячні батареї, інтегральні мікросхеми тощо. Струм через *p-n*-перехід в одному напрямку може протікати досить легко, тоді як в іншому – обмежується, як правило, дуже малим значенням. Така випрямляюча властивість описується нелінійною вольт-амперною характеристикою (ВАХ). Мета даної роботи – створити в LabVIEW електронний засіб навчального призначення з дослідження ВАХ *p-n*-переходу. Її актуальність підсилюється зростанням ролі дистанційного навчання в останній рік.

Для моделювання процесу протікання струму через *p-n*-перехід використовується рівняння Шоклі:  $I = I_0 [\exp(U / \varphi_T) - 1]$ , де  $I_0$  – зворотній струм насичення;  $\varphi_T = kT / e$  – тепловий потенціал;  $k$  – стала Больцмана;  $T$  – абсолютна температура;  $e$  – заряд електрона. Наприклад,  $\varphi_T \approx 25$  мВ при кімнатній температурі ( $t = 20$  °C). В блок-діаграмі LabVIEW функція  $I(U)$  реалізується в структурі Formula Node. Її значення обчислюються в циклі For Loop і виводяться на лицеву панель за допомогою графічного індикатора XY Graph. На лицевій панелі також містяться елементи: Numeric Control для введення числових значень початкової  $U_1$  і кінцевої  $U_2$  напруги, зворотного струму насичення, температури за шкалою Цельсія; Numeric Indicator для відображення значення теплового потенціалу. Побудовані графіки ВАХ *p-n*-переходу дозволяють знаходити: статичний опір  $R = U / I$ ; динамічний опір  $r = dU / dI = \varphi_T / I \approx \Delta U / \Delta I$ . На практиці підбирається настільки мале значення  $\Delta U = U_2 - U_1$ , щоб на цьому інтервалі графік ВАХ виглядав прямою лінією.

Розроблений електронний засіб навчання використовувався в 2020/2021 навчальному році як віртуальна лабораторна робота з дисципліни «Фізичні основи електроніки».

## Оптоелектронні компоненти сучасних волоконно-оптичних ліній зв'язку

Гончаренко О.М., *магістрант*;  
Баранов О.О., *студент*; Костян М.О., *студент*;  
Лободюк О.С., *зав. лаб. кафедри ЕЗПФ*;  
Однодворець Л.В., *д.ф.-м.н., професор*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У промислових інформаційних мережах широко використовуються елементи і компоненти оптоелектроніки. Напівпровідникові лазери, приймальні і передавальні оптичні модулі та підсилювачі знайшли застосування в сучасних волоконно-оптичних лініях зв'язку (ВОЛЗ), пристроях запису, зберігання, передачі та обробки інформації.

В основу фізичних принципів конструювання діодних лазерів (ДЛ) для ВОЛЗ покладений досить великий діапазон вимог до такого роду обладнання. Обов'язково враховуються безперервний і імпульсний режими роботи, низький пороговий струм, широка смуга модуляції, лінійна залежність потужності випромінювання від струму, мала випромінює площа, малі шуми, великий ресурс роботи, одномодовий і в межі одночастотний режим роботи. Коефіцієнт корисної дії діодного лазера є одним з найвищих і становить до 30%. Введення світла здійснюється з використанням лазерного діода як джерела випромінювання уздовж осі сердечника оптоволокна.

Конструктивно лазерний діод складається з двох напівпровідникових пластин з різними типами провідності, які стикаються одна з одною. Пропускання електричного струму в прямому напрямку стимулює переміщення електронів з пластини  $n$  в область  $p$ , де електрони зіштовхуються з атомами і вивільняють фотони. Цей процес йде лавиноподібно до тих пір, поки не сформується лазерний промінь (Рис.1). Основні робочі параметри ДЛ наступні: високі робочі струми накачування  $\Delta I = 50-250$  мА, ширина спектра лазерного діода  $\Delta\lambda_1 = 1-2$  нм.

Існують різні типи лазерних діодів. Основні з них виконані на особливо тонких шарах. Їх структура здатна створювати випромінювання тільки паралельно. Але якщо хвилевід виконати широким в порівнянні з довжиною хвилі, то він буде функціонувати

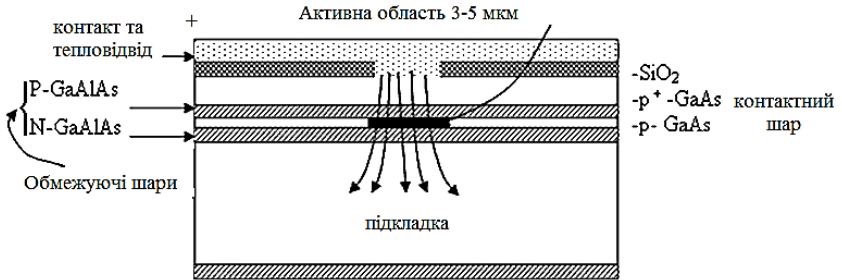


Рисунок 1 – Схема фізичних процесів в лазерному діоді

в різних поперечних режимах. Такі лазерні діоди називають багатомодовими. Для волоконно-оптичного зв'язку застосовують лазери із зворотнім зв'язком (Рис.2). Для стабілізації хвилі на p-n переході виконують поперечну насічку для створення дифракційної решітки. Через це в резонатор повертається і посилюється лише одна довжина хвилі. Вона визначена кроком насічки решітки. Під дією температури насічка змінюється. Подібна модель лазера є основою телекомунікаційних оптичних систем.

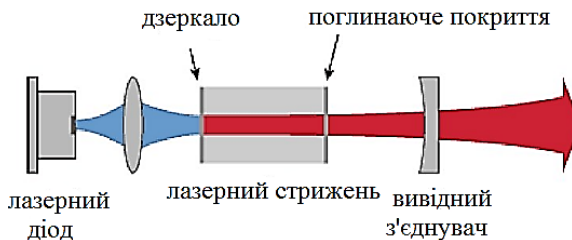


Рисунок 2 – Конструктивна схема діодного лазера

Діодні лазери знайшли широке застосування в електроніці та волоконній оптиці (оптичні пристрої зберігання даних, лазерні принтери і факси, зчитувачі штрих-кодів та ін.) і медичній апаратурі (діагностичні прилади, хірургічні інструменти).

1. Я.В. Бобицький, Г.Л. Матвійшин, *Лазерні технології: навчальний посібник*. (Львів: Видавництво Львівської політехніки: 2015).
2. В.П. Гарашук, *Основи фізики лазерів: навчальний посібник* (Київ: Пульсарі: 2012).

## **Використання програмного забезпечення Multisim для аналізу роботи фотоперетворювачів**

Замятін Д.С., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Фотоелектричні датчики використовуються в багатьох галузях, промисловості для забезпечення точного виявлення об'єктів без фізичного контакту. До основних типів оптичних датчиків відносять бар'єрні, рефлекторні, дифузні.

Аналіз характеристик різних типів фотоперетворювачів є важливим з точки зору вивчення їх фізичних принципів роботи. І дана задача не втрачає своєї актуальності при проходженні навчального процесу в режимі «online». Гарним виходом із даної ситуації є впровадження програмного забезпечення Multisim в навчальний процес.

Для дослідження вольт-амперних характеристик (ВАХ) з використанням програмного забезпечення Multisim було проведено моделювання та вимірювання навантажувальних характеристик фотодіода в режимі фотогенератора при відсутності напруги живлення. Зміна величини світлового потоку варіювалася зміною напруги симульованої світловим потоком і була фіксованою 0,5 або 1 мВ. Опір навантаження при цьому змінювався від 0,1 до 100 кОм. Вимірювались значення струму навантаження і фотонапруги. Статичні вольт-амперні характеристики фотодіода в режимі фотоперетворювача досліджувалися при сталій напрузі симульованій світловим потоком (10 або 20 мВ) та змінній напрузі живлення (від 0,01 до 1В). При цьому фіксувався фотострум.

Робота фотодіода в режимі фотогенератора показала обернено пропорційну залежність величини фотоструму від зміни опору навантаження. Проведення моделювання роботи фотодіода у статичному режимі роботи, як фотоперетворювача показало, що струм навантаження не залежить від опору навантаження. Обидва висновки також є характерним і для реальних ВАХ фотодіодів, що підтверджує доцільність використання Multisim для вивчення основ теорії фотоперетворювачів.

Керівник: Пилипенко О.В., *к.ф.-м.н.*

## Сучасні ємнісні перетворювачі неелектричних величин

Сергієнко Д.К., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Ємнісні вимірювальні перетворювачі застосовуються у багатьох галузях науки і техніки. Зокрема як вимірювальні прилади рівня рідини, тиску, переміщення. Та мають широку різноманітність конструктивних особливостей принципів дії. Проте всі сенсори побудовані на залежності ємності від зміни величини фактору впливу потребують подальшого вимірювання ємності.

Існує кілька типових методів вимірювання ємності. Прямий метод передбачає заряд конденсатора від джерела струму протягом певного часу і потім вимір напруги на конденсаторі. Другий метод передбачає використання вимірюваної ємності в якості часозадаючої в РС-генераторі з подальшим вимірюванням постійної часу, частоти або періоду. Ще один підхід заключається в вимірі імпедансу конденсатора на змінному струмі. Розглянувши дані методи і порівнявши їх між собою бачимо, що перший та другий – прості, але зазвичай не забезпечує високої точності, третій порівняно складний і складається з багатьох компонент, що вносить також певні обмеження у застосуванні.

У всіх описаних методиках ємність спочатку перетворюється в напругу, яку потім необхідно перетворити в цифровий код за допомогою АЦП, що додатково ускладнює методику вимірювання.

Сучасним аналогом таких вимірювань є використання стандартної мікросхеми прецизійного таймера NE555 на біполярних транзисторах або її більш сучасного аналогу на базі КМОП-технологій таймера ІМС7555. Пристрій побудований на базі такої мікросхеми працює по принципу мультивібратора і володіє чутливістю 0,01 пФ. Перетворений сигнал у вигляді частоти може подаватися на будь-який мікроконтролер для подальшої обробки.

Найбільш перспективними є мікроконтролерні вимірювальні пристрої, що дозволяють не тільки вимірювати ємність датчика, але і проводити з отриманим результатом вимірювання необхідні розрахунки.

Керівник: Пилипенко О.В., к.ф.-м.н.

## Інформаційні технології при створенні електронних симуляторів на мові Scratch

Пелех Р.К., студент; Кулак А.С. студентка;

Ткач О.П., к.ф.-м.н., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Інформаційні технології – це метод створення інформації з використанням мови програмування, електронних симуляторів, графічних редакторів, тощо. Синтез зазначених програм дозволяє створювати розробки для більш легкого сприйняття інформації та засвоєння нових знань. Мова програмування Scratch є простою у розумінні, весь скрипт – це складання «пазлів». Блоки, які є несумісними за своїми функціями між собою ніколи не з'єднуються, наприклад, логічні дані не вдасться розмістити в місце для числового параметру. Але в основі будь-якої програми лежить алгоритм – логіка послідовності дій, зазначення початкових даних і процеси прийняття рішень (виконання певних функцій) в результаті виконання зазначених умов. В рамках дисципліни «Компоненти скретч-програмування» здобувачами освіти гр. ЕП-91 та ЕС-91 були створені електронні симулятори по роботі з мультиметром, вивченню принципів роботи конденсатора, напівпровідникового діоду, елемент живлення, тренажери по вивченню будови ноутбука, системного блоку комп'ютера, мобільного телефону, планшета тощо.

У ході виконання лабораторних занять з навчальної дисципліни створений електронний симулятор для роботи з мультиметром, який дозволяє отримати інформацію про базові функції приладу (рис. 1).

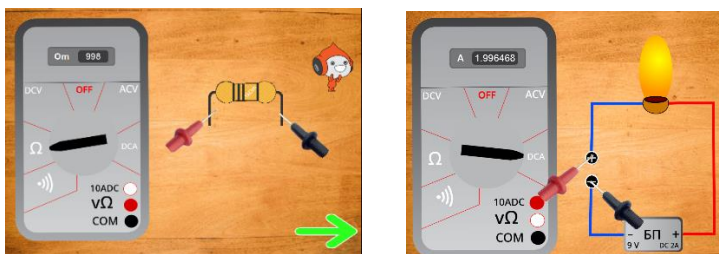


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд електронного симулятора по роботі з мультиметром

Симулятор створено в ігровій формі, де ведучим виступає фантастичний герой Піко, який потребує допомоги в налагодженні його космічного апарату. І потім він покроково пояснює, як працювати з мультиметром: куди необхідно вставляти щупи, що означають позначки на корпусі. Для засвоєння інформації, користувачу надається можливість перевірити опір резистора, виміряти напругу в розетці, батарейці, електричний струм в замкненому колі. У вигляді вікторини можна створювати інформаційні продукти з метою запам'ятовування нових термінів, зовнішнього вигляду компонент та ін.

На рис. 2 представлено проєкт з вивчення іноземних слів та їх використання у реченнях. Головний герой в разі надання правильної відповіді похвалить гравця або надасть роз'яснення у випадку хибного варіанту. Дана інтерактивна гра надає можливість як теоретичного вивчення матеріалу, так і його практичного закріплення шляхом вирішення завдань: заповнення пропусків, співставлення слів та вибір правильної відповіді.

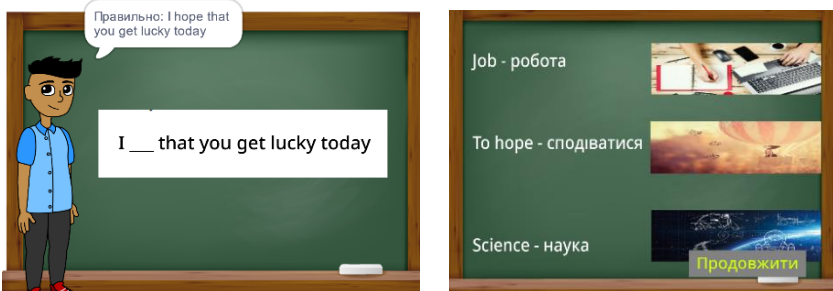


Рисунок 2 – Скріншот з програми по вивченню англійських слів

Цікавим варіантом використання електронних симуляторів може бути надання інформації про принципи роботи в анімованій формі [1], наприклад, резисторів, конденсаторів, діодів та ін. Для цього необхідно продумати сюжет, створити якісні графічні об'єкти та запрограмувати їх рух. Для більшої ефективності занурення у відповідну тему вивчення – краще використовувати інтерактивну взаємодію між симулятором та гравцем. Так, наприклад, для вивчення елементів електронних компонент були створені тренажери представлені на рис. 3 (а, б). Деякі мають обмеження у часі, інші – за кількістю спроб. Скрипт реалізовано на мові Scratch з використанням

елементів блоку «датчики» та надсилання сповіщення при натисненні на певну область курсором мишки. За подібним принципом було розроблено симулятори для розвитку логічного мислення, наприклад, задача про отримання певної фігури перестановкою сірників (рис. 3 в), або математична задача про «фруктовий мікс», коли певному фрукту привласнюється число.

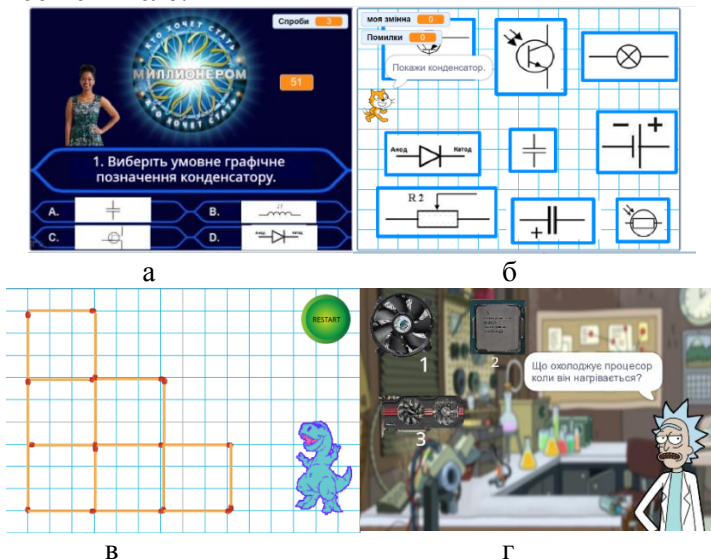


Рисунок 3 – Інтерактивна вікторина по вивченню електронних компонент (а, б), гра на логіку з сірниками (в), електронний симулятор зібранню системного блоку ПК (г)

На рис. 3 г представлено один із кадрів симулятора по вивченню компонент системного блоку ПК. Сюжет полягає в наступному: професор Рік спочатку розповідає про особливості кожного елементу ПК, а потім влаштовує іспит для перевірки знань. Гравець повинен відповідати на питання, від кількості правильних відповідей залежатиме, чи стане він лаборантом в лабораторії професора.

Таким чином, використовуючи мову програмування Scratch, можна створювати цікаві пізнавальні інтерактивні проекти для роз’яснення навчального матеріалу та його вивчення.

1. *Coding Games in Scratch: A Step-By-Step Visual Guide to Building Your Own Computer Games* (DK Publishing: Dorling Kindersley: 2019).



## Використання сенсора освітленості смартфона для вимірювання товщини тонких плівок

Черевко В.О., *студент*; Степаненко А.О., *асистент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Сучасні смартфони є достатньо потужними кишеньковими комп'ютерами, які, крім комунікативної функції, забезпечують виконання інших складних розрахункових завдань. При цьому пристрої оснащені чутливою системою сенсорів, яка здатна забезпечити паралельне вимірювання різних фізичних величин (час, освітленість, індукцію магнітного поля, прискорення, тиск та ін.). Ми розглядаємо можливість використання сенсорної системи смартфона в лабораторіях кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету.

Вимірювання товщини тонких металевих плівок здійснюється інтерферометричним методом (інтерферометр МП-4), або за зміною частоти кварцового резонатора. Для визначення товщини плівки міді за допомогою смартфона Xiaomi Redmi 7A ми використовували градування сенсора освітленості LTR578ALSPS. Схема вимірювання наведена на рисунку 1а.

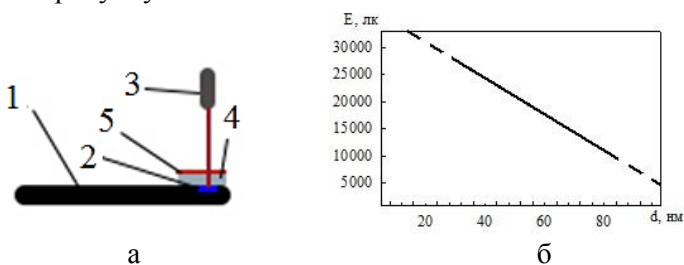


Рисунок 1 – Схема вимірювання товщини плівки (а) та розмірна залежність освітленості для плівок міді (б): 1 – смартфон, 2 – сенсор освітленості, 3 – лазерна указка (довжина хвилі лазерного випромінювання  $\lambda = 630$  нм), 4 – скляна підкладка, 5 – тонка плівка

Для отримання інформації від сенсора ми використовували безкоштовний мобільний додаток PhysicsToolboxSuite, лазерну указку та градувальні криві на смартфоні, які дозволили просто і швидко виміряти товщину тонкої плівки.

## Концентраційні ефекти в магніторезистивних властивостях компонентів електронних систем на основі пермалою та золота

Шуляренко Д.О., *аспірант*;  
Долгов-Гордійчук С.Р., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Сучасний етап розвитку електроніки супроводжується переходом до виготовлення нанорозмірної елементної бази та використанням функціональних елементів, загальна товщина яких не перевищує 100 нм. При цьому добре відомим є факт, що фізичні властивості тонкоплівкових матеріалів суттєво відрізняються від зразків у масивному стані. Магніторезистивні та магнітні властивості плівок феромагнітних металів також змінюються при зміні товщини [1]. Також для сучасного етапу розвитку електроніки залишається важливим питання зменшення розмірів функціональних елементів без втрати ефективності. Тим не менш, для нанорозмірних систем на основі пермалоевих сплавів  $Ni_xFe_{1-x}$  та Au дослідження магніторезистивних властивостей в умовах прояву розмірних ефектів залишаються обмеженими [2].

Мета роботи полягала у визначенні впливу концентраційного ефекту на магніторезистивні властивості нанорозмірних плівкових матеріалів, сформованих на основі пермалоевого сплаву  $Ni_{80}Fe_{20}$  (Pu) та Au, загальною товщиною 45 нм. Досліджувані зразки були сформовані методом електронно-променевої одночасної конденсації у вакуумі за тиску газів залишкової атмосфери  $10^{-4}$  Па. Композиційний склад отриманих нанорозмірних матеріалів контролювався методом енергодисперсійного аналізу. Було показано, що відхилення розрахункових даних композиційного складу співпадає з експериментальними даними з точністю до 2 ат.%. Таким чином були отримані зразки (Pu+Au)/П за концентрації  $c_{Au} = 10-55$  ат.%

Дослідження магніторезистивних властивостей проводилося з використанням програмно-апаратного комплексу в геометрії «current-in-plane» у зовнішньому магнітному полі індукцією від 0 до 600 мТл. за кімнатної температури.

Величини поздовжнього та поперечного магнітоопору розраховувалися за співвідношенням  $MR = (R(B) - R(0))/R(0)$ , де  $R(B)$  –

значення опору у магнітному полі індукцією  $B$ ;  $R(0)$  – опір зразка без дії магнітного поля.

Отримані результати показали, що в діапазоні концентрації  $c_{Au} = 15-45$  ат.%. в системі  $(\text{P}u+\text{A}g)/\text{П}$  спостерігається ізотропний магніторезистивний ефект (залежності  $\text{МО}(B)$  безгістерезисні, а величина  $\text{МО}$  зменшується при збільшенні індукції  $B$  без виходу на насичення), а зразки з  $c_{Au} < 15$  % та  $c_{Au} > 45$  % характеризуються анізотропний  $\text{МО}$ .

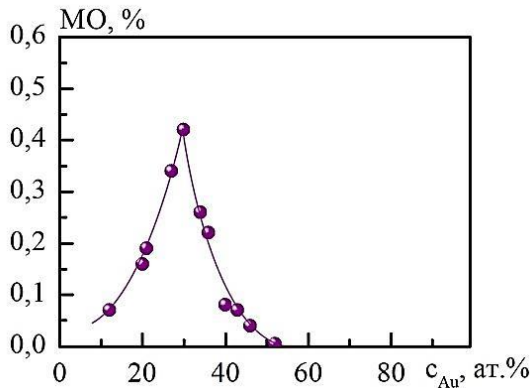


Рисунок 1 – Концентраційна залежність величини магнітоопору для нанорозмірної тонкоплівкової системи  $(\text{P}u+\text{A}g)/\text{П}$  загальною товщиною  $d = 45$  нм у свіжосконденсованому стані

Концентраційна залежність амплітуди магнітоопору для нанорозмірної тонкоплівкової системи  $(\text{P}u+\text{A}g)/\text{П}$  загальною товщиною  $d = 45$  нм у свіжосконденсованому стані представлена на рисунку 1. Як видно з рисунку 1, величина  $\text{МО}$  залежить від концентрації компонент в системі, а залежність  $\text{МО}(c_{Au})$  характеризується наявністю максимум ( $\text{МО} = 0,45\%$ ) за  $c_{Au} = 30$  ат.%.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0119U100777 (2019-2021 рр.).

Керівник: Пазуха І.М., к. ф.-м. н., доцент

1. Vorobiov S.I., Lytvynenko Ia.M., Shpetnyi I.O., Shutyleva O.V., Chornous A.M., *Metallofiz. Nov. Tekhnol.* **37**, 1049 (2015).
2. Rozenberg E., Shames A.I., Gorodetsky G., Pelleg J., Felner I., *J. Magn. Magn. Mater.* **203**, 102 (1999).

## **Застосування лазерних технологій у виробництві базових компонентів електроніки**

Доценко В.С., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Одним із прикладних напрямків розвитку квантової електроніки стали лазерні технології, що пов'язано з вивченням властивостей лазерного випромінювання з метою створення оптичних квантових генераторів (лазерів) для вирішення прикладних задач. На сьогоднішній день лазерні технології знайшли широке практичне застосування у технології обробки матеріалів, хімічному аналізі, моніторингу навколишнього середовища, медицині, інтегральній і волоконній оптиці, інформаційних системах тощо. Їх відмінною рисою, незалежно від галузі застосування, є висока продуктивність і якість процесів, економічність та екологічність. При цьому лазерні технології можуть бути застосовані при роботі з матеріалами різних типів: металами, напівпровідниковими, діелектриками (пластмаси, кераміки, стекла тощо) та навіть біологічними матеріалами.

Лазерні технології широко застосовуються при формуванні елементної бази мікроелектроніки. Так, наприклад, з допомогою сфокусованого лазерного випромінювання можна реалізувати номінали тонко- і товстоплівкових та циліндричних або металізованих резисторів у гібридних інтегральних мікросхемах. Лазерна підгонка полягає у вирізанні доріжки у резистивній плівці шляхом випарування матеріалу у результаті термічного впливу сфокусованого лазерного випромінювання. За допомогою лазерного випромінювання здійснюють обробку легованих напівпровідникових матеріалів, які використовуються при виготовленні діодів. Лазерне скрайбування пластин (очистка поверхні і виконання надрізів) із напівпровідникових матеріалів (Si, Ge, GaAs тощо) виконують з метою подальшого розділення пластин на окремі елементи по лінії надрізу, глибина якого складає  $h = 40-125$  мкм, товщина пластини  $d = 150-300$  мкм. Перевагою лазерного маркування корпусів є безконтактний вплив та відсутність деформації і напружень у матеріалі, на поверхні якого здійснюється маркування.

Керівник: Пазуха І.М., *к. ф.-м. н., доцент*

## Ефект Холла в функціональних плівкових матеріалах

Толстіков Д.І., *магістрант*;

Лизогуб І.О., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Датчики Холла широко використовуються як датчики безпеки, контролю ефективності роботи двигунів, системи позиціонування в автомобільній електроніці, авіаційній техніці, зварювальному та медичному обладнанні, побутових приладах, комп'ютерах, використовуються у безколекторних електродвигунах, високо-чутливих вимірювачах магнітного поля, мікроелектронних компасах, датчиках переміщення, вимірювання частоти обертання. Застосування ефекту Холла дозволяє визначити тип, концентрацію і рухливість носіїв заряду в металі або напівпровіднику. Датчики Холла практично нечутливі до механічних впливів і змін параметрів навколишнього середовища, мають високу надійність, можуть працювати дистанційно без безпосереднього контакту з вимірюваним середовищем. Мета роботи полягала у вимірюванні сталої Холла і розрахунку концентрації електронів в одношарових металевих плівках.

Вимірювання проводились на лабораторному стенді, до складу якого входили: електромагніт, джерело постійної напруги, перемикач, мультиметр, електронна схема на основі датчика Холла. Максимальна величина магнітного поля складала  $B_{\max} = 200$  мТл. Виконані вимірювання сталої Холла ( $R_H$ ) в одношарових плівках Fe, Co, Cu, Cr і Al товщиною  $d \cong 40$  нм, величина якої по модулю складала: (5,1; 4,0; 0,9; 3,8; 0,7)  $\cdot 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/К відповідно. Розрахунок концентрації електронів у плівках різних металів однакової товщини проводився на основі співвідношення

$$R_H = 1/(ne),$$

де  $n$  – концентрація електронів;  $e$  – заряд електрона.

Отримано, що концентрація електронів змінюється від  $1,2 \cdot 10^{24}$  м<sup>-3</sup> (Fe) до  $(7,0-8,9) \cdot 10^{24}$  м<sup>-3</sup> (Cu, Al), що підтверджується більш високою електронною провідністю Cu і Al у порівнянні з Fe.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0119U100777 (2019-2021 рр.).

Керівник: Однодворець Л.В., *д.ф.-м. н., професор*

## Електронна система формування маски для отримання нанодротів

Козін І.Д., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Магнітні властивості матеріалів на основі феромагнітних і немагнітних металів широко використовуються в сенсорах магнітного поля, накопичувачах інформації, медичному обладнанні та ін. Використовуючи різні методи конденсації, можливо отримувати системи у вигляді шаруватих структур або твердих розчинів.

У роботі представлена методика формування маски електронно-променевою літографією (ЕПЛ) [1] з використанням програми відображення зразків в реальному часі TESCAN Essence. Розглянемо етапи формування нанодротів: 1 – очищення підкладки; 2, 3 – нанесення підшару Au та фоторезисту; 4 – ЕПЛ; 5 – часткове зняття фоторезисту та електрохімічне осадження матеріалу, 6 – видалення фоторезисту.

Формування маски залежить від багатьох параметрів: рівності підкладки, адгезії підшару, товщини фоторезисту, температури/ступеня його висихання, потужності електронного пучка. Для формування масок і отримання оптимальних вихідних параметрів при отриманні нанодротів було проведено великий об'єм тестових проходів ЕПЛ. Використовуючи програму DrawBeam – TESCAN Lithography Toolbox розроблені графічні шаблони для пропалювання фоторезисту. З цією метою формувався зразок із 9-ти квадратів зі змінною шириною роздільних ліній між отворами від 150 до 300 нм, діаметром точок від 100 до 200 нм, різним часом експозиції 0,01–0,5 мс, який частково залежав від значення стуму пучка 0,7–1,1 нА. Для мінімізації спотворення при виготовленні маски через обмеження фокусування на зразку, весь масив площею  $2 \times 2 \text{ мм}^2$  був складений із квадратних фрагментів розміром  $0,2 \times 0,2 \text{ мм}^2$ . Такий підхід дозволив сформувати маску необхідного розміру з високою точністю.

Керівник: Ткач О.П., к.ф.-м.н., доцент

1. Vorobiov S., Tomasova D., Girman V., et al. *J. Magn. Magn. Mat.* **474**, 63 (2019).

## Використання фотоелектроколориметрії у дослідженнях екотоксичності нових наноматеріалів

Гребеник Л.І., к.б.н.; доцент; Денисенко А.П.; студентка  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Стрімкий розвиток технологій синтезу та актуалізація проблеми захисту навколишнього середовища загострює питання необхідності створення простих тестових систем, що дозволяють встановити ступінь екологічної токсичності нових наноматеріалів, використання яких є обов'язковою умовою прогресивного розвитку сучасних економік. Простими біологічними об'єктами для визначення екотоксичності матеріалів є одноклітинні гідробіонти - протококові водорості, які широко розповсюджені у прісних водоймах України.

Дослідження проводили з використанням *in vitro* тест-системи, яка містила культуру одноклітинної водорості *Chlorella vulgaris*. Оцінку біологічної токсичності наноматеріалів здійснювали за допомогою фотоелектроколориметрії - методу, який дозволяє реєструвати взаємодію оптичного випромінювання з рідкими зразками та вимірювати кількісні характеристики досліджуваних об'єктів. Принципова схема фотоелектроколориметру наведена на рис. 1.

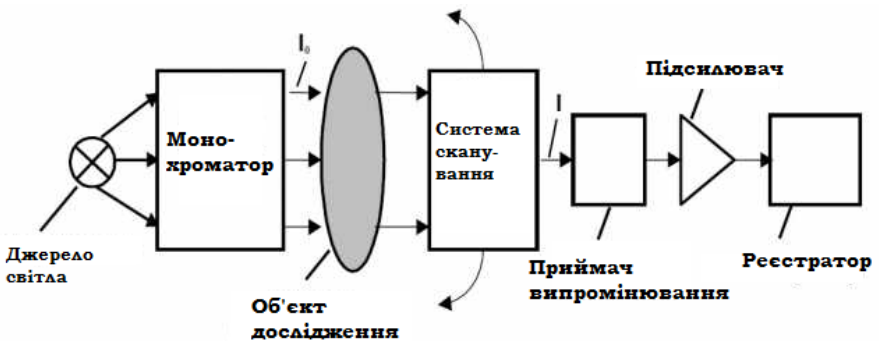


Рисунок 1 – Загальна схема фотоелектроколориметру ( $I_0$  та  $I$  – інтенсивності випромінювання на вході у розчин та на виході з нього, відповідно).

Принцип роботи фотоелектроколориметру включає наступні етапи:

- промінь світла проходить через світлофільтр (монохроматор);
- світло згенерованої довжини хвилі (необхідної у відповідності до методики) спрямовується через об'єкт дослідження (рідкий розчин у кюветі);
- фотодіод (приймач випромінювання) приймає світлову хвилю та трансформує енергію світла у електричний сигнал;
- підсилений сигнал (підсилювачем) передається на гальванометер (реєстратор).

Використання фотоелектроколориметру у дослідженнях екоотоксичності наноматеріалів було необхідно для вимірювання показника оптичної густини  $D = \lg(I_0/I)$ . Для досліджуваних розчинів, які містили наночастинки, оцінювали зміну оптичної густини ( $D$ ) культури клітин водорості *Chlorella vulgaris* після інкубації протягом 22 годин при  $t = 25^\circ\text{C}$ . Значення оптичної густини ( $D$ ) культури *Chlorella vulgaris* використовували для порівняння росту клітин у розчинах, які містять досліджувані наночастинки (дослідний зразок) та без додавання наноматеріалу (контроль).

Розрахунок відносної різниці середнього значення  $D$  для дослідних зразків у порівнянні з контрольними проводили на основі співвідношення (1):

$$I = (D_k - D_o) / D_k \times 100\%,$$

де  $D_k$  та  $D_o$  – значення оптичної густини у контролі та дослідному зразку.

Основним критерієм екоотоксичності наноматеріалу було зменшення (більш ніж на 20%) або збільшення (більш ніж на 30%) значення оптичної густини дослідних зразків, яке має прямо пропорційну залежність з інтенсивністю росту культури клітин *Chlorella vulgaris*.

Використання простого та поширеного методу дослідження – фотоелектроколориметрії, суттєво спрощує оцінку зміни кількості клітин водорості *Chlorella vulgaris* при її інкубації у потенційно токсичному рідкому середовищі та виключає необхідність рутинного підрахунку окремих клітин, наприклад, за допомогою камери Горяєва.



## Ультразвуковий скальпель як електронна система впливу на біологічні тканини

Лукавенко І.М., *к.мед.н.*; Фролова С.О., *студентка*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Ультразвуковий (УЗ) скальпель [1], складається з УЗ генератора, п'єзокерамічного перетворювача і широкого спектра інструментів для хірургії. Робочий діапазон частот – від 22 до 60 кГц.

При високочастотній вібрації за рахунок поєднаної дії натягу і тиску відбувається швидке перерозтягнення тканин (Рис.1), які легко перетинаються гострим лезом або кінчиком п'єзокерамічного перетворювача. Електрична енергія, яка виробляється високочастотним генератором, за допомогою п'єзоелектричної системи скальпеля перетворюється в механічну енергію. Лезо інструменту коливається, зміщуючись по осі, з постійною частотою 55,5 кГц. Зсув за довжиною може становити від 25 до 100 мкм і регулюється шляхом зміни потужності генератора.

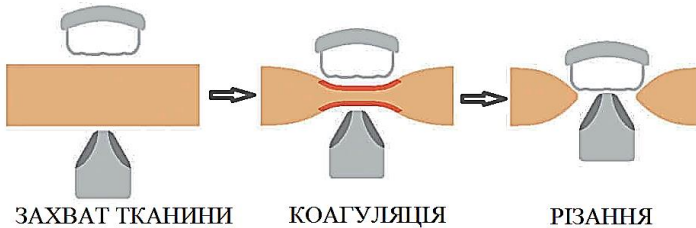


Рисунок 1 – Схема дії УЗ скальпеля на біологічну тканину

Хірургічний вплив на м'яку тканину УЗ скальпеля «Harmonic Ethicon Endo-Surgery» відбувається з постійною швидкістю 0,9 мм/с. Установлено, що при зростанні часу впливу до  $\tau = 5$  с глибина розсічення м'якої тканини складає  $h = 2-5$  мм. Пристрій дозволяє здійснювати точні маніпуляції в обмеженому просторі. Ультразвуковий вплив зменшує ступінь обвуглювання і висушування тканин, а відсутність задимленості забезпечує хорошу візуалізацію.

1. I.M. Lukavenko, *J. Nano- Electron. Phys.* **12** No 5, 05005 (2020).

## **CPAP – система штучної вентиляції легенів**

Хижня Я.В., *к.мед.н., доцент*;

Стебловська Д.А., *студентка*;

Хоружий В.В., *студентка*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

CPAP терапія – це широко поширена методика лікування таких захворювань, як синдром обструктивного апное-гіпноное сну (СОАГС), змішане центрально-обструктивного апное, легкі форми хронічної дихальної недостатності. CPAP-терапія проводиться апаратами, що створюють позитивний тиск повітря за допомогою вбудованого компресора. CPAP-прилад стискає атмосферне повітря, зволожує і підігріває його за допомогою вбудованого термоувлажнителя і подає в дихальний контур. Повітря надходить через гнучкий шланг в лицьову маску і на вдиху потрапляє у верхні дихальні шляхи. Позитивний тиск повітря утримує м'яке піднебіння і корінь язика в нормальному анатомічному положенні, не дозволяючи їм перекивати дихальний просвіт глотки біля входу в гортань.

Для проведення CPAP-терапії використовується CPAP-прилад, оснащений автоматичними алгоритмами контролю апное і регулювання тиску. Зазвичай CPAP-апарат використовується в нічний час, коли максимальний ризик виникнення зупинок дихання внаслідок обструкції дихальних шляхів. Пристрій доставляє кисень під тиском, що дозволяє легеням залишатися відкритими та збільшує кількість наявного в них кисню. Апарат зменшує зусилля, необхідні для вдиху, особливо коли альвеоли легенів пошкоджені внаслідок дії коронавірусу.

Апарат являє собою компресор, який подає в дихальні шляхи постійний заданий обсяг повітря в одиницю часу. Поставляється з сумкою для перенесення, 2 фільтра, повітряний шланг, зволожувач з підігрівом, маска для дихального шланга, адаптер живлення та кабель живлення. В ідеалі при герметичності системи і незмінності її обсягу тиск апарату залишався б стабільним. Однак дихання - це динамічний процес, пов'язаний з циклічним збільшенням (вдих) і зменшенням (видих) обсягу системи. Зручний для користувача з невеликим дискомфортом тихий, рівень шуму порядку 28 дБ, апарат має 4 методи зниження рівня шуму. Стабільний термін служби 20 000 годин.

## **Риноскоп як прилад для візуального контролю ЛОР-органів**

Хижня Я.В., *к. мед. н., доцент*; Головка Я.А., *студентка*;  
Колісниченко Д.А., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Ендоскопія – це найбільш інформативний метод обстеження. Завдяки застосуванню ендоскопічних методик в разі підвищився рівень ефективної діагностики різного роду патологій ЛОР-органів. Суть методу полягає у введенні оптичного пристрою у порожнину того чи іншого органу. Дані з камери миттєво передаються на екран із багаторазовим збільшенням. При цьому лікар не порушує цілісність стінок органів, не завдає зайвого дискомфорту для пацієнта [1].

Риноскопія - ендоскопічне дослідження носових ходів і носоглотки за допомогою ендоскопа. Для дослідження носових ходів найчастіше використовуються жорсткі ендоскопи.

Риноскоп призначений для візуального контролю операційного поля при проведенні діагностичних оглядів і хірургічних операцій в носовій порожнині. Конструктивно він являє собою жорстко з'єднані між собою трубку і окулярний оголовок, що складається з корпусу, окуляра і світлодіодного роз'єму. Оптичні елементи схеми риноскопу, що працює за принципом перископа, розташовані у внутрішній оптичній трубці. Між зовнішньою трубкою і трубкою, в якій розташована оптична система, розподілені волокна світлодіодного джгута, через які передається світловий потік від освітлювача для освітлення розглянутого поля. Світлодіодний роз'єм може бути оснащений змінними адаптерами, що забезпечують використання волоконного кабелю будь-якого типу. Усі механічні з'єднання риноскопу, а також дистальна лінза і захисне скло окуляра, загерметизовані.

1. *Оториноларингологія*. За ред. Д.І. Заболотного, Ю.В. Мітіна, С.Б. Безшапочного, Ю.В. Дєєвої. (Київ: ВСВ «Медицина»: 2010).

## **СЕКЦІЯ 5**

**«Електронні системи, прилади і засоби  
кодування інформації»**

## **Проектування бездротової мережі підприємства** Коник В.М., студент; Д'яченко О.В., ст. викладач Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У всьому світі стрімко зростає потреба в бездротових з'єднаннях, особливо в сфері бізнесу. Сьогодні бездротові мережі дозволяють надати підключення користувачам там, де ускладнено кабельне підключення або необхідна повна мобільність.

Серед різних технологій організації локальної мережі найбільш перспективною і зручною в цьому випадку є бездротова мережа Wi-Fi. Створення такої мережі, в мережі підприємств з метою оптимізації роботи фахівців, з можливістю швидкого доступу в інтернет, і для розвитку комунікаційних зв'язків особливо актуально.

Технологія WLAN чудово пристосована для використання мережевих протоколів IP і Ethernet, тому вона ідеально підходить для організації бездротового доступу до мережі Інтернет. Для створення бездротової мережі всередині приміщень використовують маршрутизатори. Працюють такі точки доступу в межах однієї або декількох кімнат. На відкритих ділянках місцевості можлива робота на відстані до 300 метрів з використанням стандартних всеспрямованих антен.

Схема Wi-Fi мережі містить не менше однієї точки доступу і не менше одного клієнта. Також можливе підключення двох клієнтів в режимі точка точка, коли точка доступу не використовується, а клієнти з'єднуються за допомогою мережевих адаптерів «безпосередньо». Проект бездротового доступу базується на обладнанні с підтримкою стандарту 802.11n, який може покривати всю територію і об'єднує всіх користувачів в єдину мережу з доступом до глобальної мережі Інтернет. Мережа здійснюється встановленими по всій території бездротовими уніфікованими точками доступу, керованими бездротовим комутатором. Знаючи SSID мережі, клієнт може з'ясувати, чи можливе підключення до даної точки доступу. При попаданні в зону дії двох точок доступу з ідентичними SSID приймач може вибирати між ними на підставі даних про рівень сигналу. Саме тому переміщення по території підприємства для користувача не викликає ніяких складнощів з підключенням до мережі.

Таким чином реалізована бездротова мережа дозволяє підвищити мобільність співробітників в приміщеннях підприємства.

## **Захист VoIP-телефонії в телекомунікаційних системах**

Лізунов А.О., студент; Д'яченко О.В., ст. викладач  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Цифрові засоби зв'язку все більше витісняють традиційну телефонію. VoIP або Voice Over IP – технологія, за допомогою якої, на відміну від звичайної телефонної мережі загального користування, можна здійснювати голосові виклики через інтернет та використовувати IP-телефони. Перевагами даної технології є менші витрати, підвищений рівень доступності, висока масштабованість, більш чіткий звук при передачі голосу та підвищена захищеність.

Однак, на сьогоднішній день проблеми інформаційної безпеки в світі набувають все більшої актуальності. щодня відбуваються хакерські атаки, що призводять до великого витоку важливих чи навіть критичних даних або розповсюдження вірусу, що зриває роботу цілих компаній. Тому, метою роботи є розробка захищеної VoIP-системи, з метою її подальшого використання у мережах підприємств.

У розробленій системі було запропоновано використовувати технологічні та профілактичні методи підвищення рівня захищеності VoIP-систем. До технологічних відноситься шифрування даних, що передаються по каналах зв'язку, налаштування віртуальної приватної мережі для віддалених робітників, налаштування маршрутизаторів мережі на пріоритезацію голосового трафіку, а також регулярні системні оновлення, до профілактичних - такі методи, як використання надійних паролів та проведення тренінгів з правил кібербезпеки для робітників.

Беручи до уваги шифрування дзвінків, варто пам'ятати, що протоколи, які використовуються для таких цілей, не повинні впливати на продуктивність системи. Протоколами, застосованими у спроектованій системі є Secure Real-Time Protocol (SRTP) та Transport Layer Security (TLS). Перший забезпечує безпечну передачі голосу у реальному часі, а другий - передачу між вузлами мережі за допомогою криптографічних методів. Зв'язка цих двох протоколів практично унеможливорює можливість перехоплення сигналу на лінії зв'язку.

Отже, безпека VoIP-телефонії в телекомунікаційних системах є суттєвим фактором для доходу будь-якого бізнесу. Ряд згаданих вище технологій дозволяє максимально мінімізувати потенційні загрози для VoIP-систем організацій.

**Адаптивний лічильник на основі біноміальних  
кодів зі змінною кількістю одиниць**

Шевченко М.С., *аспірант*; Жижа В.В., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Лічильні пристрої, які є адаптивними до вимог щодо забезпечення необхідних рівнів відмовостійкості, інформаційної потужності та самоконтролю, мають великий попит у застосуванні в системах контролю і управління, системах автоматизації процесів та обробки даних. Значний науково-практичний інтерес викликають біноміальні лічильники, які перебирають біноміальні кодові комбінації, завдяки здатності виявляти помилки при лічби та їх коригувати.

Додавши до структури біноміального лічильника [1] з кількістю  $n$  розрядів кільцевий розподільник імпульсів на  $n+1$  розрядів, який формує ознаки параметрів  $k$  для біноміальних кодів, отримаємо лічильний пристрій для послідовного перебору усіх біноміальних комбінацій з параметрами  $n$  і  $k=1, \dots, n-1$ . Для вказаних значень  $k$  такий лічильник буде мати модулі рахунку  $C_n^1, C_n^2, \dots, C_n^{n-1}$ , перехід до яких забезпечує доданий кільцевий розподільник. Таким чином, змінюючи параметр  $k$  за допомогою кільцевого розподільника можна налаштовувати запропонований лічильний пристрій на різні модулі рахунку, тобто змінювати його інформаційну потужність, та підлаштовуватися під різні рівні відмовостійкості в залежності від кількості одиниць в біноміальних кодових комбінаціях. Відмовостійкість адаптивного біноміального лічильника забезпечується шляхом підрахунку кількості його одиничних розрядів. При наявності перевищення цього значення заданого  $k$  фіксується помилка.

На основі адаптивного лічильника, який розглядається, можна просто побудувати пристрій перебору  $(n+1)$ -розрядних рівноважних комбінацій з кількістю одиниць  $k=0, 1, \dots, n+1$ , що значно розширює функціональність його застосування. Такий пристрій буде генерувати кодові комбінації усіх підмножин множини-ступеня.

1. А.А. Борисенко, *Биномиальный счет и счетчики* (Суми: СумДУ: 2008).

**Матрична модель підсумовування двійкових  
біноміальних чисел**

Кулик І.А., доцент; Шевченко М.С., аспірант;  
Скачедуб С.Л., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Перспективою подальшого розвитку двійкових біноміальних систем числення є розробка моделей, алгоритмів і правил проведення арифметичних операцій над біноміальними числами. Їх відсутність негативно впливає на поширеність систем біноміальних чисел в цифрових пристроях, комп'ютерних системах і компонентах, тому задача розробки біноміальних арифметичних операцій є актуальною. На даний час питання створення біноміальної арифметики не є достатньо проробленим з огляду на складність структури біноміальних чисел, але про те, що вона може бути побудована, свідчить наявність детально обґрунтованої теорії біноміальної лічби.

У зв'язку з тим, що ваговий коефіцієнт  $C_{n-i}^{k-q_i}$ , де  $n$  і  $k$  – параметри двійкової біноміальної системи числення, біноміальної цифри  $i$ -го розряду залежить не тільки від її розміщення в розрядній сітці біноміального числа, але ще і від значень попередніх, від першого до  $(i-1)$ -го, розрядів числа та кількості  $q_i$  розташованих в них одиниць, то пропонується застосовувати при складанні двійкових біноміальних чисел їх матричне представлення та розробляти матричну модель біноміального підсумовування. Матриця двійкового біноміального числа буде мати  $k$  стовпчиків і  $(n-k)$  строк, а матриця підсумовування біноміальних чисел –  $(k+1)$  стовпчиків і  $(n-k)$  строк. У відповідні комірки матриць, які відображують значення вагових коефіцієнтів, заносяться одиниці, над якими будуть виконуватися перетворення переносу, зсуву, симетрії та розкладу.

Розробка моделей та алгоритмів арифметичних дій над двійковими біноміальними числами надасть потужний поштовх у розробці більш продуктивних, нових методів завадостійкого кодування і стиснення інформації, генерування комбінаторних об'єктів та побудови біноміальних обчислювальних процесорів.



## Пристрій підрахунку кількості одиниць в двійкових послідовностях

Кулик І.А., доцент; Грахольська А.В., студент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Підрахунок кількості одиниць в двійкових послідовностях є однією з поширених операцій в комп'ютерних системах і компонентах для вирішення різноманітних інформаційних задач по завадостійкому кодуванню і стисненню даних, контролю і управління. Як явний недолік, можна вказати на те, що здійснення обчислення кількості одиниць займає досить багато часу. Наприклад, при визначенні кількості  $k$  одиниць в  $n$ -розрядній послідовності необхідно переглядати усі  $n$  розрядів, тобто це буде займати  $n$  машинних тактів.

Існує більш швидкодіючий метод підрахунку одиниць, який заснований на декомпозиції комбінацій і операціях порозрядного зсуву, але він досить складний в практичній реалізації. Пропонується до застосування метод обчислення одиниць на основі операції  $A_j \leftarrow A_j \wedge (A_j - 1)$ , який удосконалюється таким чином, що паралельно виконується операція  $\bar{A}_j \leftarrow \bar{A}_j \wedge (\bar{A}_j - 1)$  і вводиться граничне значення  $L$  кількості одиниць, при перевищенні якого проводити далі обчислення немає сенсу. Остання умова є досить поширеною для множини методів кодування та стиснення даних, наприклад, біноміальних методів, самоконтролю та діагностики тощо.

Пристрій підрахунку  $k$  одиниць в двійкових послідовностях за вищезазначеним удосконаленим методом містить наступні основні блоки: перший та другий модулі обчислення за  $A_j \leftarrow A_j \wedge (A_j - 1)$  та  $\bar{A}_j \leftarrow \bar{A}_j \wedge (\bar{A}_j - 1)$  операціями, блоки лічильників підсумовування та віднімання, блок порівняння з межею  $L$  та блок комутації. При необхідності такий пристрій підрахунку просто підлаштовувати на точне визначення кількості одиниць і за межею діапазону  $[0; L]$ .

Запропонований пристрій підрахунку одиниць в двійкових послідовностях має досить просту структуру і схемотехнічну реалізацію, дозволяє значно скоротити час обчислення кількості одиниць, який не буде перевищувати  $L \leq n/2$  машинних тактів.

### **Пристрій стиснення даних на основі двійкових біноміальних чисел**

Кулик І.А., доцент; Шевченко М.С., аспірант;  
Хацько А.О., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Стиснення двійкової інформації на основі біноміальних чисел характеризується досить високим коефіцієнтом стиску, високими швидкостями кодування і декодування, простотою застосованих операцій. З урахуванням використання цього методу стиснення на рівні кодового представлення даних, тобто на синтаксичному рівні, він є універсальним з точки зору типу оброблюваних даних.

До основних операцій методу біноміального стиснення на основі двійкових біноміальних чисел відносяться підрахунок кількості  $k$  одиниць, декатенация серій одиниць або нулів в вихідній послідовності, а також додавання службового слова  $\text{Bin } k$  – двійкового значення  $k$ . Отримання двійкових біноміальних чисел на основі вихідних  $n$ -розрядних комбінацій здійснюється у відповідності до наступної системи кодоутворюючих обмежень:

$$((q = k) \wedge (x_r = 1)) \vee ((l = n - k) \wedge (x_r = 0)),$$

де  $x_r$  – останній розряд двійкового біноміального числа,  $l$  – кількість нулів в двійковому біноміальному числі.

До структури пристрою стиснення відносяться наступні основні блоки: блок буферних регістрів, блок лічильників нулів, блок лічильників одиниць та блок готовності. Вихідна комбінація у послідовному вигляді подається через блок буферних регістрів на вихід пристрою та одночасно поступає відразу на обидва блоки лічильників для підрахунку нулів і одиниць. Як тільки одним із блоків лічильників буде досягнуто граничне значення  $(n - k)$  нулів або  $k$  одиниць, то це означає, що стиснення завершено, а блок готовності формує зовнішній сигнал про готовність стискувати наступну послідовність.

Розроблений пристрій стиснення на основі двійкових біноміальних чисел відрізняється високою швидкістю і невеликим обсягом апаратних витрат, що обумовлює його ефективне використання для підвищення продуктивності різних інформаційно-керуючих систем.

**Про ефективність сполучення мажоритарного  
принципу передачі з кодовим захистом даних**  
Шевченко М.С., *аспірант*; Манько Д.С., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Наявність каналів зв'язку з підвищеним рівнем завад обумовлює збільшення вірності передачі тільки за рахунок застосування помилковиявляючих і коригувальних кодів, або шляхом багаторазового повторення даних. Якщо помилки в каналі незалежні або групуються в пакети невеликої кратності, то необхідна завадостійкість порівняно легко отримується завдяки застосуванню коригувальних кодів. Зі збільшенням пакетів помилок кодуєчі і декодуєчі пристрої виходять дуже громіздкими, а самі процедури кодування та декодування займають значний час. У цьому випадку доцільно використовувати мажоритарний принцип передачі, причому довжина повторюваного повідомлення повинна бути не менше тривалості пачки помилок.

Мажоритарний спосіб є найбільш простим способом підвищення достовірності: в канал посилається непарне число раз одне і те ж повідомлення, а на приймальній стороні відбувається порівняння між собою кодових комбінацій (за критерієм  $r/m$ , де  $r$  – число співпадаючих повідомлень, а  $m$  – число повторів повідомлень). Отримувачу видається те повідомлення, яке було прийнято більшу кількість разів. Недоліком такого принципу передачі є те, що надмірність інформації зростає пропорційно кількості повторень, аналогічно зростають і витрати часу на передачу всього блоку. Даний недолік стає ще більш помітним при пакетуванні помилок, коли доводиться робити їх декореляцію, тобто повторювати не окремі повідомлення, а їх групи.

З метою уникнення збільшення надмірності мажоритарного принципу передачі і підвищення його помилковиявляючої та коригувальної здатності пропонується замість повторення  $m$  двійкових звичайних повідомлень повторювати завадостійкі кодові комбінації, наприклад кодів за парністю одиниць, рівноважних або біноміальних кодів, кодів Хемінга або Файра. Це дозволить досить плавно регулювати помилковиявляючу і коригувальну здатність мажоритарного принципу передачі та виключити ситуацію неспівпадання усіх  $m$  повідомлень за рахунок використання завадостійких можливостей застосованих кодів.

### **Покроковий перетворювач двійкових чисел в двійково-десяткові**

Борисенко О.А., *професор*, Бережна О.В., *доцент*,  
Горішняк А.О., *аспірант*, Сердюк В.В., *аспірант*,  
Васильєв В.Р., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Двійково-десяткові числа застосовуються під час передачі та відображення інформації, яка знімається з датчиків тепла, води, електрики та інших подібних пристроїв. Вони також застосовуються в вимірювальних цифрових схемах, які, наприклад, вимірюють частоту, час, напругу. Тому постає задача перетворення двійкових чисел в двійково-десяткові числа. Є алгоритми побудови такого перетворення діленням на число 10, поданому в двійковому вигляді [1].

Однак, цей шлях є досить складним, особливо при схемній реалізації перетворювача, тому що потребує ділення на 10. В даній роботі пропонується зменшити складність перетворення замінивши ділення двійкового числа покроковим відніманням з нього 1, поки в кінцевому підсумку не буде отриманий 0, а паралельно при цьому проводиться покрокове підсумовування 1 в двійково-десяткових лічильниках з початковим встановленням їх в 0. Тоді в кінцевому підсумку отримана сума в цих лічильниках буде виражати вхідне двійкове число в двійково-десятковому вигляді.

Очевидним недоліком цієї схеми є те, що швидкість перетворення двійкового числа в двійково-десяткове значно знижується, тому що кількість тактів при перетворенні двійкового числа в двійково-десяткове число буде дорівнювати величині двійкового числа. З ростом кількості розрядів в ньому число тактів перетворення збільшується за експоненціальним законом. Однак, в багатьох випадках цей недолік не є вирішальним. Зате простота алгоритму, особливо при апаратній реалізації, зменшує складність програми і схеми, що дає йому важливу перевагу. Ця перевага складається з того, що збільшується надійність відповідних схем та спрощується технологія їх виробництва. Надійність збільшується тому, що зменшується кількість елементів перетворювача двійкового коду в двійково-десятковий код.

1. О.А. Борисенко, *Дискретна математика. Підручник* (Суми: ВТД «Університетська книга»: 2007).

## **Коди Фібоначчі в системах обробки інформації**

Борисенко О.А., *професор*, Бережна О.В., *доцент*,  
Романенко Є.С., *студентка*, Гагіна О.М., *студентка*,  
Погуляй О.Р., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розвиток інформаційного суспільства залежить від ефективності використання «розумних» систем на базі реалізації розподілених обчислювань. Ефективне вирішення цієї актуальної задачі залежить від алгоритмів, які забезпечують високу надійність та швидкість при обчислюванні та передачі даних, захист обладнання від завад та збоїв.

Використання в якості завадостійких кодів, наприклад, потужних циклічних кодів забезпечує досить високу достовірність інформації в телекомунікаційних системах. Але ці роздільні коди забезпечують завадостійку передачу інформації, а не її обробку. По-друге, такі завадостійкі коди не виконують контроль правильності роботи джерела інформації, обчислювальної системи або цифрового автомата.

У роботі проведено обґрунтування використання завадостійких нероздільних кодів Фібоначчі для здійснення наскрізного контролю інформації в завадостійких системах обробки та передачі інформації. Важливою властивістю коду є те, що його кодові комбінації являють собою числа відповідної системи числення, над якими можна виконувати арифметико-логічні операції в обчислювальному пристрої.

Крім того, код Фібоначчі характеризується простотою алгоритмів виявлення та виправлення помилок. Ознакою помилки в кодової комбінації є наявність двох, трьох та більше одиниць поспіль. Поява трьох одиниць, що стоять поруч, дозволяє виправляти одиночну помилку шляхом інвертування одиниці, що розташована всередині. Ця особливість дозволяє здійснювати самоконтроль працездатності цифрового автомату Фібоначчі при обробці даних, усувати збої в його роботі без додаткового обладнання та часу, виправляти помилки без організації перезапиту під час інформаційного обміну даними.

Дослідження показали, що нероздільні коди є універсальними, які дозволяють одночасно контролювати збір, обробку, формування сигналів керування та передачу інформації. Код Фібоначчі є простим у технічній реалізації та може ефективно використовуватися для обробки даних «автоматом Фібоначчі», їх шифруванні та подальшій передачі.

## Пристрій реєстрації аналогових сигналів

Бережна О.В., доцент; Щокотова І.В., зав. лабораторією;  
Васильєв В.Р., студент; Погуляй О.Р., студент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Сучасна тенденція розвитку розподілених інтелектуальних мереж потребує впровадження різноманітних пристроїв вимірювання, контролю та керування, які використовують для інтеграції до мереж послідовні інформаційні канали зв'язку. Для впровадження та ефективної підтримки каналів необхідна наявність пристроїв моніторингу інформаційного обміну та працездатності мереж.

Одним із ефективних засобів моніторингу якості інформаційного обміну є комунікаційні аналізатори реального часу, які дозволяють досліджувати обмін по послідовним портам шляхом приєднання до фізичних послідовних портів серверів та робочих станцій з метою здійснення аналізу та документування обміну даними. Недоліком таких засобів є відсутність можливості аналізу рівнів аналогових сигналів у інформаційних шинах та пошук причин відмов при передачі даних.

Дослідження показали, що для вирішення такої задачі доцільно створення такого програмно-апаратного пристрою, який би поєднував в себе властивості цифрового комунікаційного аналізатору параметрів обміну даними в реальному часі та аналогового осцилографу. Підключення в розрив каналу такого «сніфера» дозволяє «прослуховувати» канали передачі даних, аналізувати рівні та форму модульованих сигналів, здійснювати їх демодуляцію, конвертувати в строки символів формату ASCII та аналіз на логічному рівні протоколів обміну між сервером та кінцевими пристроями.

Аналіз алгоритмів показав, що в якості апаратної платформи для побудови такого «сніфера» достатньо обрати модуль Arduino, який містить в собі мікроконтролер серії ATmega 328P, розробити програму, яка передбачає підключення бібліотек для використання інтерфейсу SPI та графічної бібліотеки екрану (U8glib.h), ініціалізацію змінних, констант та портів на вхід/вихід.

Перспективою розвитку функціональності запропонованого пристрою може бути контроль каналів передачі від несанкціонованого втручання, шифрування та дешифрування даних з метою зменшення витоків інформації.

## Система збору даних із використанням технології WiMAX

Бережна О.В., доцент; Протасова Т.О., ст. викладач;  
Романенко Є.С., студентка; Гагіна О.М., студентка  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розвиток сучасних індустріальних автоматизованих систем, до складу яких входить значна кількість засобів автоматизації, розташованих на значній території, інфраструктура якої не дозволяє створити провідну або оптичну систему передачі даних, потребує впровадження ефективних безпроводних систем передачі даних.

Для створення магістральних мереж передачі даних на значні відстані використовуються сервіси пакетної радіопередачі GPRS та EDGE. Рішення проблем «останньої милі» здійснюється із використанням технологій WiFi, Zigbee та LoraWAN, які передають дані на незначні відстані та мають ефективну проникаючу здатність.

Всі перелічені технології мають достатньо низьку швидкість передачі даних (до 40 Кбіт/сек) та не дозволяють мультиплексувати канали зв'язку для тих засобів автоматизації, які розташовані на значній території та не в зоні прямої видимості.

Дослідження показали, що найбільш ефективним рішенням для таких об'єктів автоматизації є використання маршрутизаторів із технологією WiMAX. Ця технологія ширококутового бездротового зв'язку забезпечує високошвидкісні з'єднання на великих відстанях навіть за відсутності прямої видимості об'єкта на відбитому сигналі. На рівні «останньої милі», маршрутизатор дозволяє розгортати точки бездротового доступу за технологіями WiFi, Zigbee та LoraWAN.

Архітектура такого маршрутизатора дозволяє забезпечувати зони покриття в умовах відсутності прямої видимості від клієнтського обладнання до базової станції, функції ретрансляції, маршрутизації, самоорганізації та самовідновлення мережевої топології із наданням можливості засобам автоматизації знаходити друг друга та встановлювати між собою нові маршрути при передачі даних.

Безпроводні мультитехнологічні маршрутизатори дозволять як на магістральному рівні, так і на рівні «останньої милі» створити безпроводні мережі з оптимальними вартостями їх розгортання та володіння, які працюватимуть на значні відстані в індустріальних умовах зі значною швидкістю з високою проникаючою здатністю.

## Аналіз проблем впровадження мереж LTE

Гриненко В.В., доцент; Бойко Б.Р., студент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Насьогодні в умовах впровадження безпроводного зв'язку в Україні найбільш перспективним варіантом забезпечення міського округу високошвидкісним доступом в мережу Інтернет є побудова мереж стільникового рухомого радіозв'язку четвертого покоління (4G). Найбільш виправданим стандартом 4G для вирішення цього завдання є технологія бездротового доступу LTE. Проект LTE розроблявся, як технологія високошвидкісної передачі даних з метою значного збільшення продуктивності мереж мобільного зв'язку.

Очевидно, що при впровадженні LTE насамперед необхідно подолати той комплекс проблем, який був виявлений і не до кінця вирішений в ході розвитку проекту мобільного зв'язку попереднього покоління. При експлуатації мереж LTE були виявлені проблеми, які можна об'єднати в блоки: недостатня продуктивність для формування масового ринку послуг мобільної передачі даних; складність технологічної, маркетингової та організаційної міграції; незавершеність стандартизації; ряд техніко-економічних труднощів розвитку проекту.

Порівнюючи базові показники пропускної здатності радіотехнологій 3G/UMTS/HSDPA і LTE, можна бачити, що для LTE по-перше, оперування здійснюється піковими значеннями радіосигналу, а по-друге, настільки високі показники досягаються за рахунок серйозного погіршення загальної завадостійкості в радіоканалі і необхідність застосування дорогого методу множинних антен МІМО. До складу інфраструктури LTE входить нове транспортне ядро і нова мережа радіодоступу, що ставить перед оператором завдання одночасного управління відразу трьома мобільними платформами – GSM, 3G/HSPA і LTE. При стрімкому нарощуванні пропускної здатності радіоінтерфейсу LTE магістральний рівень розподілу може значно вплинути на розвиток мобільного бізнесу 4G. Виходячи з фрагментарності радіопокриття в мережах радіодоступу LTE, можна спрогнозувати виникнення проблем з підтримкою повнофункціональної мобільності (функції



хендовера) для ряду портативних термінальних пристроїв (лаптопів, планшетів, ноутбуків та т.п.).

Платформа IMS і пов'язані з нею додатки включені до складу базових стандартів технології LTE, що означає їх майже обов'язкове розгортання при інсталяції радіомереж 4G/LTE. Проте, далеко не всі мобільні оператори включають платформу IMS в свої інсталяційні плани при розгортанні мереж LTE. Термінальне обладнання LTE не є уніфікованим, а категоризоване за певними функціональними параметрами. Високе енергоспоживання термінального обладнання може стати однією з ключових проблем в аспекті маркетингу мобільної передачі даних.

Одним із наслідків "голосової проблеми LTE" є протиріччя, виражене в тому, що виділений для цієї технології спектр зорієнтований насамперед на надання голосових послуг (тип схеми дуплексу, захисні інтервали і т.д.), в той час, як технологічна платформа LTE All-IP спеціалізується на пакетній передачі даних. Відповідно до стандарту LTE підтримує два режими дуплексу - частотний (FDD) і тимчасової (TDD). Режим FDD має сенс для двонаправленого голосового трафіку, але абсолютно неефективний для асиметричної передачі даних, при якій одна з дуплексних смуг буде повністю задіяна, а друга лише частково. В результаті, якщо оператор LTE купив частотну ліцензію з FDD, то він буде платити за не використовуваний радіочастотний ресурс.

В розрахунках проектування мережі LTE необхідно подолати технологічні, організаційні та інші проблеми, що виникають при впровадженні мережі LTE. В ході удосконалення мережі потрібно забезпечити необхідну ємність та створити оптимальну область покриття. Впровадження технології LTE для планування мережі на певній території виконується за результатами розрахунків на основі трафіку, кількості каналів в мережі та покриття мережі.

1. *Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMAX* (А.Е. Рыжков, М.А. Сиверс, В.О. Воробьев, А.С. Гусаров, А.С. Слышков, Р.В. Шуньков) (СПБ: Линк: 2012).
2. *Cisco Visual Networking Index (VNI) Global Mobile Data Traffic Forecast, 2010-2015.*

## Метеостанція для системи розумного будинку

Гриненко В.В., доцент; Ясько А.С., студент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Останнім часом завдання управління та моніторингу роботи різноманітних побутових приладів вирішується за рахунок використання комплексних автоматизованих систем «Розумний будинок». Зазначені системи дозволяють також значно полегшити управління системами освітлення, опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, електро- і водопостачання, відеоспостереження, сигналізації та надають можливість віддаленого моніторингу їх роботи.

Одним із головних завдань систем розумного будинку є вимірювання кліматичних параметрів як ззовні так і в середині приміщення та регулювання їх в приміщенні. Це вирішується за рахунок використання спеціалізованих метеостанцій, на розробку якої орієнтована наша робота.

В роботі запропонована структурна схема метеостанції для системи розумного будинку. Пристрій збирає інформацію про температуру, вологість повітря, атмосферний тиск, швидкість і напрям вітру, розташування сонця і напрямок світла, освітленість, сутінки, з власних сенсорів, частина з них встановлена в квартирі, або будинку, інша частина на вулиці. Інформація про параметри клімату може бути виведена на екран системи. На основі аналізу зазначеної інформації формуються керуючі сигнали пристроям регулювання мікроклімату в будинку: радіаторам – знизити чи підвищити температуру, кондиціонеру - не тільки відрегулювати температуру, але і включити зволоження або осушення повітря, системі вентиляції - затягувати всередину повітря або ні. Також відповідно до погоди і довжини світлового дня метеостанція може давати команду модулю керування шторами або жалюзями коли їм потрібно відкритися або закритися. Керування режимом відображення параметрів мікроклімату та налаштування метеостанції виконується з модуля клавіатури системи. В запропонованій системі за рахунок GSM-модуля передбачена можливість забезпечення віддаленого моніторингу її роботи та керування окремими приладами регулювання мікроклімату в середині приміщення.

## Мультиметр на основі мікроконтролеру

Дяденко В.В., студент; Д'яченко О.В., ст. викладач  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Мікроконтролери все більше входять в усі сфери життєдіяльності людини, їх насиченість у нашому оточенні росте щорічно.

Широкою областю застосування мікроконтролерів є вимірювальна техніка. Мультиметри широко використовуються в промисловій сфері, електротехніці, електроніці, в інженерних розрахунках, при проведенні ремонтних і експлуатаційних робіт. Разом з контрольними лампами мультитестери застосовують при роботах з налагодження, монтажу та підключення електричної мережі. Використання мультиметрів дає можливість забезпечення якісної установки електроустаткування.

Для проектування мультиметру використовується мікроконтролер. По суті, це – однокристальний комп'ютер, здатний виконувати прості завдання. Використання однієї мікросхеми значно знижує розміри, енергоспоживання і вартість пристроїв, побудованих на базі мікроконтролерів.

В основі вимірювальної частини цифрового мультиметра лежить АЦП подвійного інтегрування – аналого-цифровий перетворювач, в якому вхідний сигнал порівнюється з опорним.

Управління режимами його роботи і обробка результатів перетворення проводиться мікроконтролером, що пов'язаний з АЦП через інтерфейс SPI за сигналом готовності.

Перемикання меж вимірювання проводиться секцією перемикача S1, яка спільно з діодами забезпечує декодування положень перемикача, включаючи незадіяні. Перемикання видів вимірювання проводиться перемикачем S2. Всі зовнішні вимірювання проводяться через канал 1 АЦП.

Основні операції з таким мультиметром:

- Замір напруги (постійна (DCV) і змінна (ACV) напруга)
- Замір струму
- Замір опору

Використання зазначених рішень дозволило сполучити різні методи перетворення форми інформації і забезпечувати при цьому високу швидкодію і розширення функціональних можливостей приладу.

## Пристрій кодування на основі матричного коду з перевіркою на парність

Мандрика О.Ю., студент; Д'яченко О.В., ст. викладач;  
Протасова Т.О., ст. викладач  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

При передачі даних каналами з шумами завжди існує ймовірність того, що передані дані будуть містити помилки. Найбільш ефективним способом виправлення помилок є застосування методів заводостійкого кодування. Існує велика кількість різних кодів що різняться складністю реалізації та іншими параметрами. Матричний код з перевіркою на парність дозволяє виправляти поодинокі помилки передачі, а також значно збільшує ймовірність виявлення помилок. Платою за це є необхідність працювати з усією послідовністю блоків коду в цілому, що значно зменшує оперативність обробки. На практиці такий спосіб широко застосовувався, наприклад, для стрічкових накопичувачів даних.

Отримання кодових комбінацій проводиться за допомогою породжуючої матриці, що складаються з  $k$  рядків і  $n$  стовпців. Елементи перших  $k$  стовпців служать для інформаційних цілей, а ті що залишилися – для перевірочних. Зазвичай інформаційну матрицю беруть у вигляді одиничної матриці.

Розроблений пристрій при надходженні на його входи  $n$  інформаційних символів двійкового коду автоматично додає до інформаційних символів один контрольний символ «0» чи «1», в залежності від кількості одиниць в вихідний двійковій кодовій комбінації. Якщо кількість одиниць в двійковому коді парна, то контрольний символ дорівнює «0», якщо непарна - «1».

У результаті у всіх кодових комбінаціях кількість одиниць завжди повинна бути парною, тому проаналізувавши одержану кодову комбінацію на основі аналізу парності одиниць в комбінації можна виявити спотворену внаслідок завад комбінацію. Якщо парність порушена, то кодова комбінація не приймається.

Таким чином, даний дозволяє виявляти однократні помилки і всі помилки непарної кратності, тому що тільки в цих випадках кількість одиниць у комбінації стане непарною. Не виявляються помилки парної кратності.

## Застосування протоколу OpenVPN для корпоративної мережі

Третяк М.О., студент; Д'яченко О.В., ст. викладач;

Протасова Т.О., ст. викладач

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

З кожним днем зростає попит на технологію VPN. Virtual Private Network це віртуальна приватна мережа, яка може забезпечити безпечне онлайн з'єднання і конфіденційність. Вона дозволяє побудувати тунель між двома пристроями або мережею. В основному VPN сервіс використовують підприємства для своїх співробітників щоб була можливість працювати віддалено, але при цьому безпечно. Зараз же цим сервісом користуються мільйони людей щоб зберегти приватність в онлайн просторі.

Існують різні протоколи VPN: PPTP, OpenVPN, L2TP, SSTP в кожному з яких є як переваги, так і недоліки.

Для проектування корпоративної мережі був обраний OpenVPN. Це універсальний протокол, досить стабільний з якісною передачею даних. При правильному налаштуванні його буде складно розшифрувати, може використовувати широкий спектр алгоритмів шифрування, а також працювати крізь фаєрволи. Так само протокол використовує стандартні протоколи TCP і UDP, що дозволило йому стати альтернативою IPsec в той час як провайдер блокує інші протоколи. OpenVPN доступний для всіх платформ Windows, Linux, IOS, Android.

У компанії для підключення OpenVPN реалізовані протоколи як TCP так і UDP, автентифікація TLS, використання сертифікатів ключів шифрування для підвищення рівня безпеки VPN-підключення.

Таким чином отримана мережа має всі переваги які дає OpenVPN, але є і мінуси цього протоколу. Такі як: необхідна будова програмного забезпечення, досить незручний в налаштуванні, обмежена підтримка портативними пристроями. Однак ці недоліки не є визначальними, на противагу захищеності корпоративної мережі. Оскільки корпоративна мережа містить в собі критичні дані: документи, договори, інформацію про співробітників та контрагентів і т.д., а тому, втрата цих даних, може вилитись до серйозних фінансових втрат чи втрат репутації компанії.

## **Багатофункціональна система контролю параметрів клімату теплиць**

Новгородцев А.І., *доцент*; Мовенко А.І., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Для ефективного вирощування рослин, необхідні певні кліматичні умови, такі як температура повітря і ґрунту, вологості ґрунту, освітлення теплиці та інші. Деякі рослини потребують значну кількість контролю параметрів клімату за наявності багатьох датчиків та необхідного обладнання.

Існуючі складові системи контролю над кліматом теплиць, також набули широкого використання. Але у складових систем, відсутній загальний центр управління. Вони складаються з підсистем, кожна з яких контролює певні види параметрів. Недоліком таких систем є недостатня гнучкість у налаштуванні і слабкий функціонал.

Для виконання подібних операцій пропонується використання моноблочних контролерів з більш розширеними можливостями контролю і управління.

Малоблочні контролери у своєму складі містять процесор, який забезпечує необхідні режими роботи обладнання теплиць. Крім цього, він контролює велику кількість датчиків і видає команди на управління відразу багатьма підсистемами підтримки параметрів клімату.

Такі системи контролю, підлягають перепрограмуванню під будь-які режими роботи і зміни у параметрах. У своєму складі малоблочні контролери, окрім процесора, мають системи введення і виведення інформації, завдяки яким відбувається зв'язок процесора з усіма пристроями контролю і виконання.

Налаштування контролера виконується блоком управління, який дозволяє проводити відповідні маніпуляції та вносити необхідні вхідні параметри. Необхідна інформація виводиться на табло, пристроєм візуалізації контролера.

Для контролю і налаштування параметрів роботи системи моноблочних контролерів, поставляється спеціалізоване програмне забезпечення. Перевагою даної системи є універсальність. Вона може знайти використання і у багатьох інших об'єктах, які потребують контролю і управління.

## Підвищення надійності систем безпеки при роботі з сервісом GSM

Новгородцев А.І., *доцент*; Крапивний О.С., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На сьогоднішній день бездротові охоронні системи на базі GSM набули широкого поширення завдяки їх відносно невисокій вартості і простоті установки і експлуатації. Однак суттєвим недоліком подібних систем є низька перешкодозахищеність. Не секрет, що GSM-канал легко придушити, "GSM глушилками" які знаходяться сьогодні у вільному продажі, та й робота мережі GSM не завжди відрізняється високою стабільністю і може відмовити у самий відповідальний момент.

Зазначені недоліки обмежують застосування обладнання подібного класу при побудові систем безпеки. Дані системи, більшою мірою застосовуються в якості резервних (додаткових) каналів зв'язку або для побудови систем моніторингу віддалених об'єктів для збору телеметричної інформації.

Для обмеження зазначених недоліків, пропонується застосувати спеціалізовані GSM – модеми (M2M – рішення) для побудови на їх основі бездротових систем безпеки.

Промислові GSM-модеми (GPRS термінали) використовуються для підключення до мобільного інтернету різноманітних систем телеметрії і автоматики. Опитування лічильників і датчиків, управління віддаленим обладнанням, оповіщення про збої та організація сигналізації - для вирішення всіх цих завдань широко застосовуються GSM-термінали.

Застосування GSM – модемів у системах безпеки, істотно підвищить надійність роботи системи, а також надасть розробникам систем безпеки додаткові можливості по роботі з сервісами GSM.

Як спосіб передачі інформації в GSM-системах використовуються SMS-повідомлення, модемне з'єднання (CSD), передача тонових посилок (режим DTMF) і режим пакетної передачі повідомлень GPRS. Поява режиму GPRS дозволило істотно знизити витрати на експлуатацію систем радіо охоронних пристроїв. З розвитком систем передачі інформації охоронні GSM-комплекси вийдуть на новий рівень якості, надійності і доступності для користувачів.

## **Індукційний нагрівач з фазовим автопідлаштуванням резонансної частоти**

Новгородцев А.І., *доцент*; Шаповалов О.І., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Індукційний нагрів має суттєві переваги порівняно з традиційними конструкціями нагрівачів оскільки дає можливість нагрівати заготовку уникаючи безпосереднього контакту з нею що дозволяє уникнути взаємодії заготовки з киснем шляхом розміщення її у вакуумі або в середовищі інертних газів. Нагрівачі даного типу позбавлені традиційного недоліка більшості звичайних нагрівачів – значного термо-навантаження клем по яким подається напруга живлення.

Навантаженням для індукційного нагрівача є резонансний контур послідовного або паралельного резонансу. В якості генератора змінної напруги використовується мостовий інверторний перетворювач напруги, оскільки дана схема є двотактною вона пред'являє менші вимоги до габаритної потужності узгоджуючого трансформатора порівняно з одноктактними схемами. Живиться генератор від випрямленої та згладженої напруги мережі.

Мінімізація втрат енергії на елементах пристрою та забезпечення протікання значних струмів Фуко всередині заготовки що нагрівається, вимагає використання індукційним нагрівачем ефективної системи керування. Вона буде забезпечувати точну роботу на резонансній частоті та корегування її у залежності від зміни магнітної проникності заготовки внаслідок нагріву. З цією метою найбільш доцільним є використання системи фазового автопідлаштування резонансної частоти контура. В момент запуску пристрою, генератор працює на частоті що перевищує резонансну, після чого фазовий компаратор відслідковує фазу струму і фазу напруги і зменшує частоту роботи пристрою, доки фазовий зсув не стане дорівнювати нулю. Це дозволяє точно виставити резонансну частоту та максимізувати к. к. д. нагрівача.



**Режими нанесення напівпровідникових структур на основі ZnO,  
Cu<sub>2</sub>ZnSn(S,Se)<sub>4</sub>, CdS методом друку**

Гузенко О.І., аспірант;

Опанасюк А.С., професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україн

У теперішній час з'явилася потреба переносити процеси виготовлення елементів електроніки від масштабних промислових потужностей, до локальних підприємств, або взагалі домашнього виготовлення. Це пов'язано з меншими ресурсними затратами останніх. Тож провідні наукові центри та підприємництва переходять на створення елементів електроніки, в тому числі різних приладових структур за допомогою пошарового нанесення чорнил на основі наночасток методом 2D та 3D друку. Це зумовлено дешевизною матеріалів, простотою цих методів, в порівнянні з іншими технологіями, бо вони не потребують складних процесів створення фотомасок, нанесення фоторезисту, відпалів ультрафіолетовим випроміненням, тощо.

Саме тому за допомогою вказаного методу нами були отримані отримані напівпровідникові структури на основі ZnO, Cu<sub>2</sub>ZnSn(S,Se)<sub>4</sub>, CdS на молібденовій підкладці. Для створення структур з прийнятними властивостями треба виконувати деякі умови під час нанесення і відпалу плівок. Для крашої адгезії була обрана температура підкладки 150 °С. Кожен шар отримувався методом спреїпіролізу, розпиленням чорнил протягом 3 секунд, з інтервалом 5 секунд між кожним повторенням, для отримання достатньої товщини плівки потрібно було здійснити 20 повторень. Відстань між поверхнею і аерографом повинна бути 15см. Між шарами отримуваної структури був витриманий інтервал в 5 хвилин для підсихання поверхні кожного шару Відпал структур відбувався в атмосфері аргону. Нами були обрані температурні (200°C, 250°C та 300°C) та часові (10хв, 20хв, 30хв), які задовольняють потреби стосовно якості отриманих зразків. Зараз проводяться дослідження морфологічних, електричних та фізичних характеристик отриманих напівпровідникових структур.

### Структурні та оптичні характеристики плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$

Пащенко М.В., *аспірант*; Шаповалов О.І., *студент*;

Знаменщиков Я.В., *старший викладач*; Опанасюк А.С., *професор*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У наш час все активніше проводяться дослідження у напрямку вивчення напівмагнітного напівпровідника  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ , оскільки на його основі можна виготовляти сенсори магнітного поля та магнітно-оптичних приладів, а головне, використовувати його як альтернативу твердому розчину  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  для виготовлення детекторів жорсткого випромінювання. Важливою особливістю матеріалу є те, що при зростанні концентрації Mn, ширина забороненої зони ( $E_g$ ) та постійна ґратки ( $a$ ) збільшується майже лінійно.

Однак сьогодні плівки  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  досліджені набагато гірше ніж монокристали, внаслідок складності отримання, оскільки тиски компонентів твердого розчину суттєво відрізняються один від одного. У зв'язку з цим, тонкі шари трикомпонентного розчину в основному наносять методами лазерного та вибухового випаровування, високочастотного магнетронного розпилення або методом випаровування у квазізамкненому об'ємі (КЗО).

У роботі вивчено вплив фізико-технологічних умов конденсації на елементний склад, структурні та оптичні характеристики плівок  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ , нанесених методом термічного випаровування у КЗО. Плівки були отримані на очищених скляних підкладках при тиску залишкових газів у камері не більше ніж  $6 \cdot 10^{-5}$  Па. Температура підкладки при нанесенні тонких шарів становила  $T_s = (400) ^\circ C$ . Температура випарника дорівнювала  $T_v = 650 ^\circ C$ . Час конденсації шарів становив  $t = (8-10)$  хв.

В подальшому нанесені шари використані для структурних та оптичних досліджень. Показано, що плівки відповідали твердому розчину  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  з різним вмістом марганцю та кубічною структурою. Проведені дослідження спектральних залежностей коефіцієнта відбиття  $R(\lambda)$  та пропускання  $T(\lambda)$  плівок дозволили визначити ширину забороненої зони матеріалу  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  -  $E_g = (1,46-1,57)$  еВ. За значеннями  $E_g$  з використанням довідникових даних визначено вміст Mn в плівках. Він складав  $x = 0,02-0,08$ . Отже, даний метод може бути використаний для нанесення шарів  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ .

**Вплив відпалів у різних середовищах на структурні  
характеристики надрукованих плівок оксиду цинку**  
Євдокименко В.Ю., *аспірант*; Кравченко П.Е. *студент*;  
Доброжан О.А., *ст. викладач*; Пшеничний Р.М., *доцент*;  
Опанасюк А.С., *професор*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У сучасному світі галузь електроніки розвивається надзвичайно швидкими темпами. При цьому особливої актуальності набуло створення електронних схем і їх елементів за допомогою друку, що дозволяє значно знизити собівартість виробництва та збільшити його обсяги. Метод друку дає можливість отримувати зразки на твердих та гнучких підкладках будь-якої форми, а їх розміри визначаються лише можливостями принтера, що використовуються для цього. Для друку звичайно використовуються матеріали, які володіють оптимальними реологічними властивостями для виходу із сопла та подальшого рівномірного розподілення за поверхнею підкладки. Одним з найбільш перспективних матеріалів електроніки, що знайшов широке приладове використання є наноструктурований оксид цинку.

Синтез наночастинок оксиду цинку проводили поліольним методом. Чорнило для нанесення плівок було створено шляхом диспергування 4 мл синтезованих нанокристалів, вирощених протягом 120 хв, у 6 мл дистильованої води. Тонкі плівки ZnO отримували методом нанесення чорнил на підкладку, попередньо нагріту до 150 °С, за допомогою 3D принтеру. Як підкладки використано покривне скло з розмірами 5 см × 2 см × 125 мкм. Після осадження плівки ZnO відпалювали при  $T_a = (200\text{--}400)$  °С протягом  $t_a = 60$  хв на повітрі та у вакуумі.

Було встановлено, що відпал на повітрі та у вакуумі різним чином впливає на розмір областей когерентного розсіювання (ОКР) плівок вимірний у різних напрямках кристалічної ґратки гексагональної фази. Так зміна температури відпалу на повітрі з 200 °С до 400 °С приводить до приблизно однакового збільшення розміру ОКР у кристалографічних напрямках [100], [002], [101]. На відміну від цього у зразках, що відпалювалися у вакуумі, зростання розмірів ОКР є нерівномірним, при цьому найбільше зростання  $L$  відбувається у напрямі [002].

Таким чином, встановлено умови відпалів надрукованих плівок ZnO, що дозволяють випалити залишкові домішки, не порушуючи при цьому наноструктурований стан шарів.

## Оптичні властивості наночастинок сполуки $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$ з різним хімічним складом

Кахерський С.І., *аспірант*; Шкиря Ю.О., *студент*; Рогоз В.М.  
*ст. викладач*; Пшеничний Р.М., *доцент*; Опанасюк А.С., *професор*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Як поглинальний шар сонячних елементів (СЕ) третього покоління у наш час запропоновано використовувати сполуку  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$  з кестеритною структурою. Вона має ширину забороненої зони ( $E_g$ ) близьку до максимуму Шоклі-Квайзера, високий коефіцієнт поглинання світла ( $\sim 10^5 \text{ см}^{-1}$ ), *p*-тип провідності та досить високу рухливість носіїв заряду. Матеріал не містить рідкісних та екологічно небезпечних компонентів, а всі елементи що входять до складу сполуки широко поширені в земній корі, в той час як вартість їх виробництва низька.

Для зниження вартості СЕ останнього покоління запропоновано створювати безвакуумними методами. До цих методів відноситься і метод друку з використанням принтерів, де традиційні чорнила замінюються суспензіями наночастинок (НЧ) напівпровідникових матеріалів в екологічно безпечних розчинниках. З метою створення таких чорнил нами синтезовано НЧ сполуки  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$  різного хімічного складу та вивчено їх оптичні характеристики. На відміну від традиційного способу синтезу при якому як джерело селена використовувалася селеномочевина  $(\text{NH}_2)_2\text{CSe}$ , нами запропонована схема де для цього використано подріблений аморфний селен. Це дозволило значно знизити вартість кінцевої сполуки та НЧ на її основі.

НЧ твердих розчинів  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$  були одержані методом поліольного синтезу в середовищі триетиленгліколю (ТЕГ) при температурі  $280^\circ\text{C}$  в інертній атмосфері аргону. Суміш солей  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  для синтезу брали в мольному співвідношенні 0,6:1:0,45 для забезпечення збільшення вмісту цинку в кінцевому продукті. При цьому елементарні S та Se що вводилися в розчин у мольних співвідношеннях  $x\text{S} : (1-x)\text{Se}$  ( $x = 0; 0,1; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 0,9; 1$ ) та 18 мл ТЕГ поміщали в тригорлу колбу на 50 мл та нагрівали в електричному колбонагрівачі з інтенсивним перемішуванням тефлоновою мішалкою. Як стабілізатор утворених

частинок кінцевої фази використовували 0,150 г полівінілпіролідону (PVP).

Після досягнення температури 120 °С з колби відкачували повітря та напускали інертний газ аргон. Суміш витримували 30 хв. для розчинення PVP та швидко нагрівали до температури синтезу. Після витримки при температурі синтезу 120 хв. суміш охолоджували до кімнатної температури та відділяли синтезований продукт від TEG та розчиненого PVP за допомогою центрифугування. Залишки органічної складової відмивали етанолом при інтенсивному збовтуванні з наступним центрифугуванням. Відмиті зразки  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$  сушили при температурі 60 °С упродовж 12 год.

Оптичні дослідження матеріалу проводилися на спектрофотометрі UV-VIS PB 2201 в інтервалі довжин хвиль  $\lambda = (0-1100)$  нм. Знімалися спектральні залежності коефіцієнта відбиття  $R(\lambda)$  та пропускання  $T(\lambda)$ . Для вимірювання оптичних спектрів синтезовані раніше НЧ диспергувалися у спирті і відповідні кювети з суспензією частинок розмірювалися у прилад. Типові спектри пропускання та відбивання від суспензії НЧ з різним складом, наведені на рис. 1.

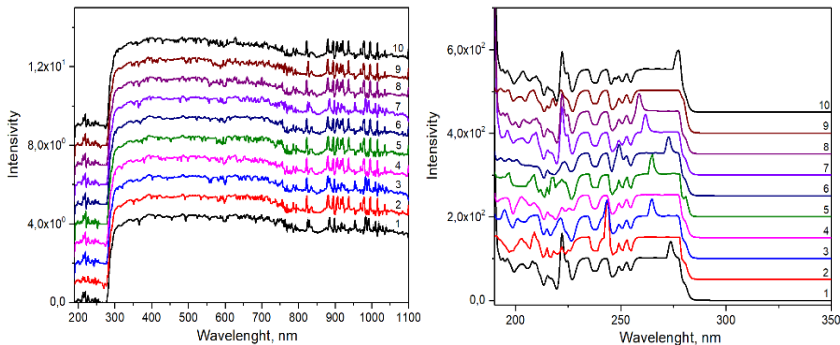


Рисунок 1 – Спектри пропускання (а) та відбивання (б) від суспензії наночастинок  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$

З рисунку видно, що при довжині хвилі більшій тієї, що відповідає краю полоси поглинання матеріалу ( $\lambda = 290$  нм), досліджені суспензії мають високий коефіцієнт пропускання світла  $T$ , щодо коефіцієнту відбивання випромінювання від НЧ, то він сягає максимальних значень при  $\lambda = 220$  нм.

## **Пристрій для вимірювання температури і вологості повітря навколишнього середовища**

Ротенберг І.С., *студент*; Опанасюк А.С., *професор*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В наш час IoT (Internet of Things) прилади стрімко набувають популярності серед населення світу. Глобальне розповсюдження доступу до інтернет мережі сприяло зростанню зацікавленості середньостатистичного користувача у приладах і системах, які можуть полегшити його рутинні процеси, використовуючи, дротові та бездротові протоколи.

Метою роботи є розробка приладу, який при підключенні до інтернет мережі міг би робити вимірювання та передавати данні про такі характеристики повітря, як температура і вологість. Завдяки розробленому пристрою, користувач зможе здійснювати моніторинг параметрів повітря, наприклад, у будь якому місці своєї оселі, знаходячись при цьому на роботі, в дорозі, або в будь-якій точці планети, де є точка доступу до мережі інтернет. Також приладом можуть скористатися аграрії або фермери, які зможуть моніторити температуру і вологість у місцях утримання великої рогатої худоби, теплицях, сараях тощо. Відображення одержаних даних буде відбуватися на портативному або стаціонарному, комп'ютерному пристрої користувача в форматі xml в режимі реального часу (з поправкою на латентність датчика). Розроблений пристрій може використовуватися, як в стаціонарному так і портативному режимі завдяки підключенню зовнішнього енергоносія.

При розробці пристрою в якості елементної бази були відібрані наступні модулі: плата управління NodeMCU V3 на базі мікроконтролера ESP 8266 та датчик температури і вологості повітря DHT-11. В процесі створення проекту було розроблене програмне забезпечення для коректного функціонування та виконання всіх інструкцій і алгоритмів збору, обробки та відправки даних. Алгоритм програмної частини включає в себе підключення бібліотеки DHTesp.h, а також інструкції з відправки та виведення інформації HTTP\_init.

Базуючись на вище викладеній інформації, а також дослідженні актуальності описаного приладу, була спроектована та розроблена відповідна портативна метеостанція.

### Оптичні властивості плівок NiO, виготовлених на основі відпалених при різних температурах наночастинок

Кахерський С.І.<sup>1</sup>, *аспірант*; Шкиря Ю.О.<sup>1</sup>, *студент*; Зайцев Р.В.<sup>2</sup>  
*доцент*; Пшеничний Р.М.<sup>1</sup>, *доцент*; Опанасюк А.С.<sup>1</sup>, *професор*  
<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми, Україна  
<sup>2</sup> НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Оксид нікелю (NiO) – прозорий напівпровідний матеріал *p*-типу провідності з шириною забороненої зони  $E_g = (3,4-4,3)$  еВ. Він має привабливі електричні, електрохромні і термоелектричні властивості, для використання у електроніці, а також високу хімічну стійкість та екологічну чистоту. NiO вважається багатообіцяючим функціональним матеріалом для різних застосувань, таких як, датчики газу і магнітоопору, сонячні елементи, фотоелектролізери тощо. Останнім часом проводиться багато досліджень оптичних характеристик наночастинок (НЧ) та плівок NiO, пов'язаних з можливістю застосування їх у дисплеях та “розумних вікнах”.

З використанням суспензій невідпалених та відпалених НЧ NiO створювалися плівки. Оптичні дослідження проводилися на спектрофотометрі СФ-2000 в інтервалі довжин хвиль  $\lambda = (400-800)$  нм. Знімалися спектральні залежності коефіцієнта пропускання  $T(\lambda)$  та відбиття  $R(\lambda)$ , а за ними розраховувалися залежності коефіцієнта поглинання  $\alpha(\lambda)$ . Типові спектри  $\alpha(\lambda)$  від плівок наведені на рис. 1.

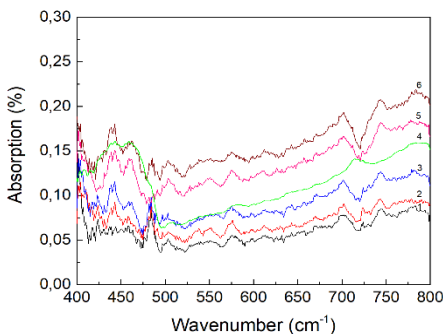


Рисунок 1 - Спектри пропускання плівок, нанесених з суспензій НЧ NiO, відпалених за температур 300 °C (1), 350 °C (2), 400 °C (3), 450 °C (4), 500 °C (5), 6- 550 °C (6).

З рисунку видно, що отримані плівки мають максимальний коефіцієнт поглинання світла при  $\lambda = 775$  нм. Встановлено, що з ростом температури відпалу коефіцієнт відбивання шарів зростає.

## Створення прототипу сонячного елемента з конструкцією $ZnO/n-CdS/p-Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4/Mo$ методом друку

Гузенко О.І., аспірант; Опанасюк А.С., професор  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У наш час для створення поглинальних шарів сонячних елементів (СЕ) третього покоління наземного використання запропоновано сполуку  $Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$  з кестеритною структурою. Цей матеріал має оптимальну для перетворення сонячної енергії ширину забороненої зони, не містить рідкісних та екологічно небезпечних компонентів, в той час як всі елементи, що входять до складу сполуки, широко поширені в земній корі, а вартість їх видобутку низька.

Однак при широкомасштабному застосуванні виникає потреба виготовлення СЕ з використанням безвауумних низькоенергетичних процесів. Саме тому провідні наукові центри світу розробляють технології створення різних приладових структур, включаючи СЕ, за допомогою шарового нанесення чорнил на основі наночастинок (НЧ) методом 2D та 3D друку. Це зумовлено дешевизною та простотою цих методів, в порівнянні з іншими технологіями, оскільки вони не потребують складного обладнання і можуть бути реалізованими навіть в домашніх умовах.

Саме тому за допомогою вказаного методу нами були отримані багат шарові напівпровідникові структури на основі шарів  $ZnO$ ,  $Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$ ,  $CdS$  на молібденовій підкладці. Тут шар  $ZnO$  виконує функцію верхнього струмознімального контакту,  $CdS$  – віконного шару, а  $Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$  – поглинального шару. Для забезпечення кращої адгезії була обрана температура підкладки  $150^\circ C$ . Кожен шар отримувався розпиленням чорнил (спрей методом), що містили НЧ відповідного матеріалу. Розпилення проводилося 20 разів протягом 3 секунд кожне, з інтервалом 5 секунд між ними. Відстань між поверхнею і аерографом складала 15 см. Для підсихання поверхні кожного шару між циклами був витриманий інтервал в 5 хвилин. Відпал структур проводився в атмосфері аргону. Нами були обрані температурні ( $200^\circ C$ ,  $250^\circ C$ ,  $300^\circ C$ ) та часові (10 хв, 20 хв, 30 хв) режими відпалу, що дозволяють підвищити структурну якість шарів. На даний час проводяться дослідження морфологічних, електричних та фізичних характеристик отриманих напівпровідникових структур.



## Виявлення сигналів у білому шумі

Приходіна П.А., студентка; Кобяков О.М., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Виявлення сигналів - це один з типів їх обробки, для якої концепція простору сигналів грає особливо велику роль. Теорія виявлення також розглядає завдання оцінки параметрів.

У двійковій задачі виявлення ми хочемо на основі вимірів, проведених над прийнятим сигналом, вирішити, яка з двох гіпотез  $H_0$  або  $H_1$ , вірна:

$H_0$  - присутній сигнал  $s_0(t)$ ,

$H_1$  - присутній сигнал  $s_1(t)$ .

На основі прийнятої інформації приймач повинен вирішити, чи рівне правильне значення параметра  $\theta$  нулю чи одиниці. У багатьох областях, таких як радіолокація, потрібно прийняти  $s_0(t) = 0$ , тобто гіпотеза  $H_0$  відповідає відсутності сигналу. Можливі чотири різних результати, що наведені в таблиці.

Таблиця 1- Результати

Рішення	Справжня ситуація	
	$H_0$ вірна	$H_1$ вірна
Прийнято $H_0$	Правильно	Помилка II роду (пропуск)
Прийнято $H_1$	Помилка I роду (хибна тривога)	Правильно

Приймач, що вибирає гіпотезу, яка забезпечує найменший апостеріорний ризик, називається байсовим приймачем. Байсовий приймач забезпечує мінімум середнього ризику. Остаточні характеристики байсового приймача можна визначити, зв'язавши апостеріорні ймовірності з властивостями джерела сигналів (ап'юрними ймовірностями) із каналом передачі (ймовірністю випадкових спотворень).

Просто n-мірні щільності ймовірностей називаються функціями вірогідності і описують потрібні нам властивості каналу (зауважимо, що вони не залежать від ап'юрних ймовірностей). Величина  $\lambda(y)$  називається відношенням вірогідності для каналу.

Байсовий приймач обчислює значення відношення вірогідності для прийнятого сигналу і порівнює його з порогом, який визначається

з урахуванням цін і апіорних ймовірностей. Якщо відношення вірогідності менше порога, приймається гіпотеза  $H_0$ , в іншому випадку -  $H_1$ .

Коли апіорні ймовірності заздалегідь невідомі, краща стратегія, відповідає мінімаксному критерію, при якій мінімізується найбільший середній ризик. Очевидно, це відповідає прямій з нульовим нахилом, тобто  $C_m P_m = C_f P_f$ , і мінімаксні ризики не залежать від  $p$ . Мінімаксна стратегія відповідає порогу:

$$\lambda_0 = \frac{1-p_m}{p_m} \frac{C_f}{C_m}, \quad (1)$$

де  $p_m$  - апіорна ймовірність, для якої  $\bar{C}_B$  максимальний,  $C_f$ - ціна помилки I роду,  $C_m$ - ціна помилки II роду.

Лема Неймана-Пірсона стверджує, що критерій відношення вірогідності найбільш потужний. Іншими словами, для заданої ймовірності помилкової тривоги  $P_f$  найкращою стратегією, що мінімізує ймовірність пропуску  $P_m$ , є та, яка приймає рішення в залежності від того, чи перевищує відношення вірогідності  $\lambda$  ( $y$ ) граничне значення  $\lambda_0$ .

Дамо визначення гаусового випадкового процесу. Якщо випадкові величини  $x_i = x(t_i)$ ;  $i = 1, 2, \dots, r$  для будь-якого множини  $\{t_i\}$  і будь-якого  $r \in$  спільно розподіленими гаусовими випадковими величинами з нульовим середнім, то  $x(t)$  - гаусовий випадковий процес з нульовим середнім. Зауважимо, що такий процес повністю характеризується функцією автоковаріації. Якщо гаусові випадкові величини  $\{a_i\}$  некорельовані, то вони статистично незалежні.

Отже, приймач повинен сформувати скалярний добуток прийнятого сигналу і різниці переданих сигналів ( $y$  приймачі повинен зберігатися опорний сигнал) і порівняти це значення з заздалегідь розрахованим порогом, який визначається величиною  $\lambda_0$  і різницею енергії переданих сигналів. У разі білого шуму мінімізація середнього квадрата помилки при оцінці амплітуди імпульсу еквівалентна перевірці гіпотез за відношенням вірогідності.

1. Л. Френкс, *Теорія сигналів. Нью-Джерси*, 1969 г. (Пер. с англ., под ред. Д. Е. Вакмана) (М.: «Сов. радио»: 1974).

## Оптимальна фільтрація сигналів

Абрамян А.О., студент; Кобяков О.М., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Задача оцінки параметру в системах передачі сигналів ілюструється на рисунку 1.

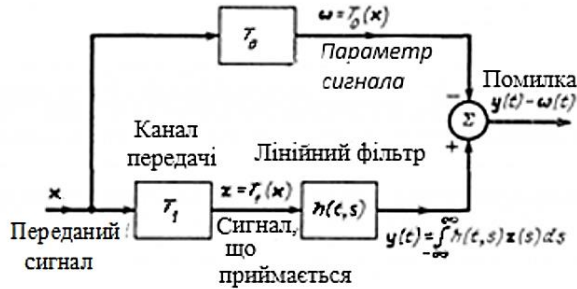


Рисунок 1 – Система передачі сигналів

Імпульсна характеристика фільтра повинна бути вибрана так, щоб на виході отримати мінімальну середньоквадратичну похибку оцінки параметра  $\omega(t)$  який є у сигналі  $x(t)$ . Припускаючи, що сигнал є речовим, запишемо функціонал середньоквадратичної похибки для моменту  $t$  у вигляді

$$I = E[|y(t) - \omega(t)|^2] = E[|y(t)|^2] - 2E[y(t)\omega(t)] + E[|\omega(t)|^2] \quad (1.1)$$

Використовуючи зв'язок входу та виходу фільтра, одержуємо

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t, s)z(s) ds \quad (1.2)$$

Стационарні точки функціоналу  $I$  визначаються при варіюванні  $h(t, s)$  розв'язками рівняння

$$\int_{-\infty}^{\infty} k_{zz}(s, \sigma)h(t, \sigma)d\sigma = k_{z\omega}(s, t) \quad (1.3)$$

яке дійсне, якщо градієнт функціоналу  $I$  прирівняти до нуля.

Якщо розглядати функціонал помилки у просторі випадкових величин, то рівняння (1.3) можна переписати в еквівалентній формі:

$$E\{[L_0 z(t) - \omega(t)]z(s)\} = 0$$

де  $L_0$  – лінійний оператор фільтра, що задовольняє умову (1.3).

Це означає, що  $L_0$  потрібно вибирати так, щоб випадкова помилка  $y(t) - \omega(t)$  була ортогональна до усіх випадкових величин із процесу  $z$ , який відповідає прийнятому сигналу.

У класичній задачі фільтрації потрібно відновлювати сигнал з високою точністю. Часто потрібно встановлювати зміщений у часі сигнал який передається. Враховуючи це, ми припускаємо  $T_0$ :  $\omega(t) = x(t - T)$ .

Умова (1.3) для стаціонарних процесів приймає форму

$$\int_{-\infty}^{\infty} k_{zz}(s - \sigma)h(t - \sigma)d\sigma = k_{z\omega}(s - t). \quad (1.4)$$

Замінюючи змінні  $\tau = t - s$ ,  $\eta = \sigma - s$ , знаходимо

$$\int_{-\infty}^{\infty} k_{zz}(\eta) \cdot h(\tau - \eta) = k_{\omega z}(\tau) \quad (1.5)$$

Функція передачі оптимального фільтра одержується шляхом перетворення Фур'є від (1.5):

$$H(f) = K_{\omega z}(f)/K_{zz}(f) \quad (1.6)$$

Відтак, у багатьох роботах з фільтрації розглядається канал з постійними параметрами та дисперсійною характеристикою  $G(f)$ , а також враховується вплив адитивного стаціонарного у широкому сенсі шуму з нульовим середнім, для чого часто вводять еквівалентний генератор шуму на вході приймача (Рис. 2).



Рисунок 2- Канал з постійними параметрами та дисперсійною характеристикою

Якщо проаналізувати роботу розглянутого фільтра то ми доходимо висновку, що цей фільтр насправді є фільтром Вінера.

1. Л. Френкс, *Теория сигналов. Нью-Джерси*, 1969 г. (Пер. с англ., под ред. Д. Е. Вакмана) (М.: «Сов. радио»: 1974).

## Представлення випадкових сигналів

Усик А.О., студентка; Кобяков О.М., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Зазвичай, під сигналом розуміють величину, що відображає якимось чином стан фізичної системи. У цьому сенсі природно розглядати сигнал як результат деяких замірів, що проводяться над фізичною системою в процесі її спостереження. Часто стається так, що в фізичних системах деякі з джерел сигналів здатні виробляти одну серед більшої (часто незліченної) множини можливих функцій часу.

Для зручності аналізу корисно ввести імовірнісний закон. Множина (разом із законом імовірності) є ансамблем сигналів, що виробляються джерелом. Будемо говорити, що таке джерело виробляє сигнал  $x$ , який називається випадковим, або стохастичним процесом.

Більш точно визначимо випадковий процес як сукупність випадкових значень, кожне з яких відноситься до свого моменту часу:

$$x = \{x(t); t \in T\}. \quad (1)$$

Якщо  $T$  – зліченна множина, то ми говоримо, що  $x$  – процес із дискретним часом, якщо ж  $T$  – істотний інтервал, то  $x$  – процес із неперервним часом. Таким чином, проведення випадкового процесу у часі характеризується поведінкою різноманітних сподівань як детермінованих функцій часу, але не формою конкретного сигналу.

Випадкова величина  $x$  є функцією визначеною на просторі вибірки  $\Omega$ . Простір вибірок  $\Omega$  – це множина подій  $\Omega = \{\omega\}$ , при чому скалярна функція  $\bar{x}(\omega)$  називається реалізацією випадкової величини  $x$ . Простір вибірок характеризується також законом імовірності, який ставить у відповідність різним підмножинам із  $\Omega$  деякі імовірності.

Підбиваючи підсумки, можна сказати, що випадковими називають такі сигнали, значення яких у будь-який момент часу неможливо передбачити абсолютно точно. Випадковими сигналами є різноманітні електромагнітні коливання атмосферного та промислового походження, а також сигнали інших передавальних станцій, які перешкоджають прийманню інформаційних сигналів.

1. Л. Френкс, *Теорія сигналів. Нью-Джерси*, 1969 г. (Пер. с англ., под ред. Д. Е. Вакмана) (М.: «Сов. радио»: 1974).

## Пристрій адаптивного кодування на основі мажоритарно-комбінаторного коду

Лопатін Д.О., студент; Колесник В.В., студент;

Протасова Т.О., старший викладач

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Створення сучасних ефективних надійних та гнучких систем зв'язку, що забезпечують швидку передачу даних з максимальною достовірністю – на сьогодні залишається актуальною задачею. В таких системах доцільно застосовувати коди з значною надмірністю. Досить ефективними є мажоритарні коди. Класичними мажоритарними кодами прийнято розуміти такі коди, які при передачі інформаційної частини пакета додатково формують і передають перевірочну частину, що складається, як правило з дворазового або, що рідше, чотириразового повторення початкового пакета. При декодуванні отриманого пакета використовується принцип рішення з більшості (або, так званий, мажоритарний принцип). Але триразове (або навіть п'ятиразове) збільшення довжини кодових комбінацій при застосуванні класичних мажоритарних кодів призводить до значної втрати швидкості передавання інформації. Тому на сьогодні більш цікавим є застосування комбінаторних мажоритарних кодів, при побудові яких також застосовують повторення розрядів початкового кодового слова, але не всього слова, а окремих розрядів в заданій послідовності.

Для отримання оптимальних параметрів мажоритарного коду був проведений аналіз різних варіантів формування перевірочної частини.

Для покращення характеристик завадостійкості передачі інформації додатково були застосовані адаптивні алгоритми. Була обчислена ймовірність виявлення помилок при передачі інформаційних пакетів, що містять одне, два, три і чотири інформаційних слова.

В пристрої реалізовано два режими роботи. Перший – це передача інформації по одному слову, організується у випадку великої кількості завад, і відповідно, великої кількості помилок. Другий – це передача пакета, сформованого з трьох двійкових слів. Інформаційні розряди доповнюються перевірочними за властивостями мажоритарно-комбінаторних кодів.

Таким чином, комплексний підхід дозволив значно покращити якість передачі інформації.

## Вплив шумів на завадостійкість телекомунікаційних систем передачі даних

Нижегородцев І.В., студент;

Протасова Т.О., старший викладач

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

До сучасних телекомунікаційних систем висувається ціла низка вимог. Це, в першу чергу, висока надійність, суворі вимоги до інформаційної безпеки, значна функціональність, точність. Але найголовнішою задачею для якісної та надійної передачі даних в ТКС є задача забезпечення завадостійкості та захисту інформації. Система повинна бути спроектована та експлуатуватися таким чином, щоб у разі появи завад забезпечувалась задана якість передачі інформаційних сигналів. Під завадостійкістю каналу передачі інформації розуміють здатність системи розрізняти та відновлювати сигнали із заданою достовірністю за наявності зовнішніх та внутрішніх завад. Вплив завади може призвести до значних помилок при функціонуванні систем. Аналіз завад та розрахунки впливу завад на передавання сигналів та розробка способів зменшення цього впливу є основними задачами, що вирішуються при проектуванні завадостійких телекомунікаційних систем.

На сьогодні найбільший вплив на функціонування ТКС вносять наступні види завад:

- Тепловий шум;
- Індустріальний шум;
- Атмосферний шум;
- Механічні пошкодження(імпульсні шуми, шуми переривання);
- Внутрішні шуми;
- Дробові шуми.

Для кожного з цих типів пропонується свій ефективний варіант боротьби, а саме:

- для кабельного типу передачі даних зазвичай перевіряється провід на наявність механічних пошкоджень, при наявності яких можуть виникати різкі переривання, сигнал то згасає, то з'являється. Також для кабельної передачі даних характерні завади імпульсного типу, які виникають зазвичай при комутації. Для зменшення впливу

- завад в цьому випадку доречно використовувати ізоляцію полімерного типу, наприклад поліуретан;
- за відомих частот пристрою можна відсікати сигнали які більші заданих частот за допомогою фільтрів;
  - великий вплив вносить тепловий шум, коли за фізичними властивостями в провіднику збільшується опір за нагрівання; дробовий шум, який виникає при дискретизації події (заряду в електроніці та фотону в оптиці). Дробовий шум є основним з внутрішніх шумів обладнання.

Ефективне значення струму для дробового шуму можна визначити за формулою У.Шотки:

$$I_{др} = \sqrt{2qI_0}B$$

- де  $q$  – заряд електрона ( $1,6 \cdot 10^{-19}$ , Кл);
- $I_0$  – середнє значення постійного струму, А;
- $B$  – смуга пропущення, Гц.

Спектр дробових шумів флуктуацій анодного струму, обумовлених дробовим шумом струму катода, має незмінну спектральну щільність потужності до дуже високих значень частот (до частот, на яких стає істотним час прольоту електрона від катода до анода).

- У радіоканалах часто зустрічаються атмосферні завади, обумовлені електричними процесами в атмосфері й ,насамперед, грозовими розрядами. Ефективним рішенням при цьому буде застосування заземлення.
- - Індустріальний шум може бути викликаний роботою техніки. Потрібно застосувати шумо-ізолюючий матеріал, який не підвладний електричному та магнітному полю.

Загальна формула впливу завади  $n(t)$  на передаваний сигнал  $u(t)$  можна виразити оператором:

$$Z = \Psi(u, n).$$

Методи боротьби з завадами, що розглядаються, дозволяють зменшити втрату інформації через вплив шумів. Близько 5% інформації втрачається саме через шуми. Ці методи варто вважати більше як профілактичні заходи, які необхідно проводити постійно, бо 50 % роботи системи чи пристрою залежить від нагляду за обладнанням.



## Числа Фібоначчі. Минуле та сьогодні

Лопатін Д.О., студент; Протасова Т.О., старший викладач;  
Бережна О.В., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Щороку 23 листопада в світі згадують першого великого математика середньовічної Європи Леонардо Пізанського, відомого під прізвиськом Фібоначчі. Він відкрив для сучасників десяткову арабську систему числення і в цілому збагатив їх знання в точних науках. Але головним його відкриттям стала послідовність, названа числами Фібоначчі. В одній зі своїх найвідоміших праць під назвою «Liber abaci», Леонардо Пізанський наводить унікальну закономірність чисел, які при розміщенні в рядок утворюють лінію цифр, кожна з яких є сумою двох попередніх чисел. Першими чотирнадцятьма його членами будуть числа 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377. Ця послідовність має багато цікавих властивостей. Наприклад, квадрат будь-якого члена послідовності дорівнює добутку попереднього і наступного члена, і плюс або мінус один (згідно з хвильовою теорією Еліота, яка ще називається правилом чергування). Також цікавий факт в тому, що послідовність є частковим випадком зворотної послідовності її характеристичного багаточлена  $x^2 - x - 1 = 0 = \Phi$ ,  $= -1/\Phi$ . Квадрат кожного члена ряду Фібоначчі, зменшений на добуток попереднього і наступного членів, дає поперемінно то +1, то -1.

Якщо розділити два послідовних числа в цьому ряду, наприклад 144/89, в кінцевому підсумку вийде число 1,618, яке називається «Золоте число» або «Золотий переріз». Золотий переріз - це таке пропорційне ділення відрізка на частини, при якому весь відрізок так відноситься до більшої частини, як найбільша частина відноситься до меншої; тобто менший відрізок так відноситься до більшого, як більший до всього відрізка, тобто:  $a/b = b/c$  або  $c/b = b/a$ .

Широке поширення отримали так звані «Золоті фігури», що мають у своїй основі «золотий перетин».

«Золотий трикутник» - це рівнобедрений трикутник, у якого відношення довжини бічної сторони до довжини основи дорівнює 1.618.

Є й «золотий кубоїд» - прямокутний паралелепіпед з ребрами, що мають довжини 1.618, 1 і 0.618. «Золота спіраль» і так далі.

Принцип золотого перерізу - найвищий вияв структурної та функціональної досконалості цілого та його частин у мистецтві, науці, техніці та природі. Цей принцип називають дивовижним за властивість несподівано проявлятися в самих різних сферах життя - від біології до живопису.

Теорії «Золотого перетину» присвятив свою наукову діяльність Стахов Олексій Петрович (07.05.1939 р. – 25.01.2021 р.) - радянський і український математик-фібоначчист. Автор робіт з алгоритмічної теорії вимірювання, систем числення, заснованих на числах Фібоначчі і Золотого перетину. Доктор технічних наук (1972 р), професор (1974), академік Академії інженерних наук України (1992). Його наукові інтереси стосуються теорії вимірювання, кодування і криптографії, комп'ютерної арифметики, чисел Фібоначчі, Золотого перетину, історії та основ математики. Розробив теорію матриць Фібоначчі і «золотих» матриць і створив на цій основі нову теорію кодування і криптографії. Проектувальник перешкодостійких «комп'ютерів Фібоначчі», перспективного кібернетичного напрямку, захищеного 65 патентами в США, Японії, Англії, Німеччині, Франції, в Канаді та інших країн. На початку 2004 р О.П. Стахов переїжджає до Канади, де розгортає діяльність Міжнародного Клубу Золотого Перетину. Працює науковим консультантом Канадської комп'ютерної фірми «Esinex», яка розробляє програмні продукти на основі фібоначчійової теорії кодування.

Ці ідеї знаходять подальшу реалізацію у наукових працях та практичних розробках великої низки вчених.

«Синтез компонентів цифрових пристроїв на основі мінімальної форми коду Фібоначчі» - таку назву має дисертаційна робота на здобуття вченого звання кандидата технічних наук та захищена в 2016 році викладачкою кафедри Електроніки і комп'ютерної техніки Маценко С.М.

В науковому світі сьогодні досліджуються математичні теорії, пов'язані з принципами «золотого перетину»: нова теорія гіперболічних функцій, нова теорія чисел, нова теорія вимірювання, теорія матриць Фібоначчі і так званих «золотих» матриць, нові комп'ютерні арифметики, нова теорію кодування і нова теорія криптографії.

Дана тема буде актуальною ще довгий час, і будуть відкриватися все нові і нові факти, що підтверджують присутність і вплив послідовності Фібоначчі на життя.

## Вплив відпалів на елементарний склад плівок CZTSe, отриманих друком

Кахерський С.І., *аспірант*; Шаповалов О.І., *студент*;  
Пшеничний Р.М., *доцент*; Опанасюк Н.М., *доцент*;  
Доброжан О.А. *ст. викладач*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Сполука  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  (CZTSe) кестеритної фази все частіше розглядається як альтернатива таким традиційним матеріалам геліоенергетики як CdTe, CIS ( $\text{CuInS}_2$ ), CIGS ( $\text{CuInGaS}_2$ ), тому що усуває їх основні недоліки, такі як дефіцит In, Ga в природі та токсичність Cd, які обмежують можливість багатосерійного наземного виробництва плівкових сонячних елементів (СЕ) з використанням вказаних сполук.

Як і для інших поглинальних шарів СЕ, для CZTSe термічна обробка є обов'язковим етапом отримання тонких шарів високої структурної якості. Однак однією з проблем, з якими стикаються в процесі відпалу, це втрати Se при високій температурі відпалу ( $T > 400$  °C), що веде до зміни стехіометрії сполуки та виникненню власних дефектів і додаткових фаз, що погіршує їх властивості.

Тонкі плівки CZTSe були отримані з використанням розробленого нами 3D принтера, в якому традиційні чорнила були замінені на спеціальні наночорнила на основі суспензій наночастинок (НЧ). Після отримання на скляних підкладках плівок, вони були відпалені при температурах від 300 до 550 °C з кроком в 50 градусів та часі одна година на повітрі. Хімічний склад плівок до та після відпалів був досліджений за допомогою енергодисперсійного спектрометра AZtecOne з детектором X-MaxN20 (виробник Oxford Instruments plc), структурні характеристики рентгендифракційним методом.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що відпали необхідно проводити при температурах не більших за 350 °C, однак такі малі температури не дозволяють повністю видалити органіку, використану під час синтезу НЧ та в процесі отримання наночорнил, з нанесених плівок. Тому пропонується збільшити час відпалу, або при високотемпературних відпалах плівок використовувати додаткові гази або їх суміші, які унеможливають вивільнення селену з матеріалу, наприклад такі, що містять селен.

## До задачі мінімізації логічних функцій

Борисенко О.А., професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

При мінімізації логічних функцій, заданих в кон'юнктивних нормальних логічних формах (КНФ), по методу Квайна виникає задача переведення їх в досконали кон'юнктивну нормальну форму (ДКНФ), а уже потім виконується алгоритм мінімізації [1,2]. Ця задача для невеликої кількості змінних в диз'юнкціях КНФ вирішується з допомогою їх розгортки в конституенти 0, а далі проводиться заміна всіх однакових конституент 0 які виникли при розгортці диз'юнкцій, однією константою 0. Однак при значній кількості змінних потрібно буде проводити велику кількість розгорток, яку може не виконати навіть дуже потужна ЕОМ.

Тоді потрібен буде більш ефективний алгоритм, який би виключив розгортки в явному вигляді.

Щоб отримати такий алгоритм введемо деякі означення.

**Означення 1.** Множина конституент 0, яка формується однією диз'юнкцією, називається її *покриттям*.

**Означення 2.** Множина, яка отримана одними і тими ж конституентами 0 покриттів двох і більше диз'юнкцій, називається їх *перерізом*.

**Означення 3.** Якщо покриття однієї з декількох диз'юнкцій збігається з перерізом з ними, то така диз'юнкція називається *повністю поглиненою*, а сама процедура поглинання покриття такої диз'юнкції *повним поглинанням*.

**Означення 4.** Якщо покриття однієї з декількох диз'юнкцій збігається частково з їх перерізом, то таке покриття називається *неповним або частково поглиненим*, а сама процедура поглинання покриття такої диз'юнкції *неповним або частковим поглинанням*.

**Означення 5.** Диз'юнкції в яких є інверсні по відношенню одна до одної змінні називаються *несумісними*.

**Означення 6.** Диз'юнкції, в яких немає інверсних по відношенню одна до одної змінних, називаються диз'юнкціями *загального виду*.

**Означення 7.** Змінні, які зустрічаються в диз'юнкціях логічної функції називаються *базовими*.

**Означення 8.** Базові змінні, які не зустрічаються в інших диз'юнкціях називаються *вільними*.

**Означення 9.** Змінні, які не відносяться до базових і вільних, називаються *скритими*.

**Теорема 1.** Диз'юнкція, в якій  $k \leq n$  змінних, покриває 2 в степені  $n - k$  конститuent 0.

**Теорема 2.** Диз'юнкції, які мають інверсні змінні є несумісними.

**Теорема 3.** Перетин несумісних диз'юнкцій є пустою множиною.

**Теорема 4.** Кон'юнкція всіх несумісних диз'юнкцій створює СДНФ.

**Теорема 5.** Якщо диз'юнкції різної довжини мають співпадаючі змінні з інверсією чи без, то покриття диз'юнкцій меншої довжини поглинає покриття диз'юнкцій більшої довжини.

Наявність наведених теорем дозволяє запропонувати алгоритм розгортки КНФ великої довжини в ДКНФ і тим самим значно зменшити кількість обчислювальних операцій, а інколи взагалі обійтись без них. Це можливо тому, що велика кількість конститuent 0 відсікаються не з допомогою перебору, а в результаті логічного аналізу.

По цьому алгоритму проводиться аналіз на несумісність диз'юнкцій, що входять в логічну функцію в КНФ. Якщо такої несумісності нема, то проводяться можливі поглинання, спочатку повні, а потім неповні. Поглинають диз'юнкції меншої довжини диз'юнкції більшої.

В результаті таких повних і неповних поглинань кількість диз'юнкцій скорочується, а ті що осталися становляться несумісними. Вони і дають кінцевий результат розгортки логічної функції в КНФ в СДНФ.

Кількість операцій по даному алгоритму значно знижується в порівнянні з відомими і тому його можна пропонувати у випадку великої кількості диз'юнкцій в логічній функції, що мінімізується. Його недолік це складність логічної побудови алгоритму і його аналізу.

1. О.А. Борисенко, *Дискретна математика. Підручник* (Суми: ВТД «Університетська книга»: 2007).
2. М.Ф. Бондаренко, Н.В. Білоус, А.Г. Руткас, *Компютерна дискретна математика: Підручник* (Харків: «Компанія СМІТ»: 2004).

## **Програмно-апаратний комплекс для вимірювання оптичних властивостей матеріалів**

Кобяков В.А., доцент; Гришко В.А., студент

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, м. Харків

Мета роботи полягала у створенні установки для вимірювання спектрів світіння та поглинання твердих та рідких зразків [1] на основі монохроматорів МСД-2 та МДР-23.

Джерело світла через МСД-2 та конденсор опромінює зразки збуджуючим світлом з певною довжиною хвилі. Спектр емітованого з зразка світла вимірюється за допомогою МДР-23 та фотоелектронних помножувачів (ФЕП). Світло, що пройшло крізь зразки, може бути спрямоване на фотоприймачі для вимірювання спектру поглинання.

Було створено пристрій, що містить у собі підсилювачі для ФЕП та фотодіодів, АЦП, модуль керування кроковими двигунами монохроматорів та мікроконтролер. Він під'єднується до комп'ютера за допомогою інтерфейсу USB. Для роботи з цим пристроєм та відображення даних було створено комп'ютерну програму.

Підсилювач для ФЕП містить у собі два канали: струмовий та імпульсний [2]. Імпульсний режим використовується для вимірювання слабких світінь, а струмовий – світінь середньої та високої інтенсивностей.

Контролер здійснює первинну обробку даних, отриманих з АЦП (цифрова фільтрація). Також через модуль керування кроковими двигунами він задає довжини хвиль та швидкості сканування для монохроматорів.

До цього приладу створено багатоплатформовий додаток із використанням Qt Framework. Він запускається на комп'ютері, який під'єднано до приладу, та відображає вимірювані дані у реальному часі, а також забезпечує зручне керування монохроматорами та надає можливість автоматичного вимірювання спектрів.

1. M. Baranska (Ed.), *Optical Spectroscopy and Computational Methods in Biology and Medicine* (Springer: 2013).
2. T. Nakamata (Ed.), *Photomultiplier tubes: Basics and Applications (Edition 3a)* (Hamamatsu Photonics K. K.: 2007).

## Електронна система керування біонічним протезом кисті руки

Шкиря Ю.О., студент; Знаменщиков Я.В., старший  
викладач; Колесник М.М., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У наш час електро-біонічні протези набувають все більшого поширення, поступово замінюють механічні або косметичні протези. Одним з пріоритетних завдань в даному напрямку є розробка надійної і універсальної системи керування для протезів з використанням електричних сигналів, знятих з м'язів, і перетворення їх в цифровий сигнал для керування електроприводами протезу.

Сучасні електро-біонічні протези, що випускаються промислово, мають високу вартість, що суттєво знижує їх доступність пересічним користувачам. З іншого боку, поширення засобів розробки і проектування, таких як 3D принтери, програмно-апаратні платформи типу Arduino, дозволяє створювати складні пристрої і механізми, а на Інтернет-ресурсах з'являється все більше відкритих проектів по створенню біонічних протезів. Враховуючи недоліки існуючих проектів, а також орієнтуючись на низьку собівартість та доступність, було розроблено універсальну систему керування біонічним протезом.

Відповідно до вищезазначених умов розроблено принципову електричну схему, механічну частину і програмне забезпечення прототипу протезу руки. Основою системи керування протезом послугує платформа Arduino, яка зарекомендувала себе як універсальна платформа з великою кількістю різноманітних модулів, датчиків та іншої периферії. Згідно створеної схеми був використаний сенсор м'язових скорочень AD8232, який має обмежений функціонал і важко реалізує здатність розрізняти сигнали кожного м'яза, але його перевагами є надійність, доступність, компактність, висока швидкодія і мале енергоспоживання.

З часом планується перехід на іншу платформу, а саме мікрокомп'ютер Raspberry Pi, що дозволить використовувати передові датчики і сенсори і розширити можливості протезу. З переходом на мікрокомп'ютерну систему з'явиться можливість використання сенсора Myo Armband – браслета з бездротовим інтерфейсом та високою чутливістю.

## **Автоматизована система контролю параметрів мікроклімату у боксах для утримання тварин**

Волобуєв В.В., студент; Знаменщиков Я.В., старший викладач;  
Колесник М.М., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У наш час розвиток електроніки дозволяє створювати прості і функціональні рішення в галузі контролю параметрів мікроклімату, які можуть бути застосовані в багатьох сферах життєдіяльності. Однією з таких сфер є клімат-контроль в боксах для утримання тварин для забезпечення їх нормальної життєдіяльності в несприятливих умовах (підвищена чи низька температура навколишнього середовища, висока вологість, тощо). Проте на вітчизняному ринку цей сегмент продукції представлений слабо, що обумовлює актуальність даного дослідження.

У роботі представлено автоматизовану систему, що забезпечує контроль параметрів мікроклімату у боксі для утримання тварин або іншому невеликому приміщенні площею близько 5 м<sup>2</sup>. Значне різноманіття мікроконтролерів, а також датчиків контролю параметрів, таких як: температура, вологість, хімічний склад повітря, дозволяє створити точну та надійну систему контролю параметрів мікроклімату.

Представлена система побудована на основі модуля Arduino Uno, додаткових модулів, рідкокристалічного дисплея та підключених до нього датчиків: датчик вологості і температури AM2302, що має підвищену точність та заводське калібрування і характеризується низьким енергоспоживанням; датчик CO<sub>2</sub> MG-811, що має високу чутливість до CO<sub>2</sub> і низьку до парів води. Набір виконуючих пристроїв дозволяє здійснювати нагрів та охолодження повітря, проводити механічну та природну вентиляцію боксу. Передбачено зворотній зв'язок з користувачем - власником тварини шляхом надсилання поточних параметрів на мобільний телефон або через мобільний додаток.

Запропонована система контролю параметрів мікроклімату, є універсальною та може використовуватися в боксах різних розмірів. Можливість заміни функціональних блоків дозволяє адаптувати систему відповідно до поставлених задач.



## **СЕКЦІЯ 6**

**«Електротехніка і енергетика»**

## Доцільність переведення електричних мереж на вищий клас напруги

Спірін Д.В., *студент*; Кучмій Д.В., *студент*;

Лебедка С.М., *ст. викладач*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На сьогодні розподільні електричні мережі характеризуються високим ступенем фізичної та моральної зношеності електроустаткування, значними втратами електроенергії, потребують підвищення рівня автоматизації.

Зростання електричних навантажень часто призводить до технічного обмеження в сучасних мережах.

Для безперебійного живлення комунально-побутових споживачів, особливо у великих містах, пропускна спроможність розподільних мереж повинна бути суттєво збільшена.

Одним із перспективних способів зменшення електричних втрат та збільшення пропускної спроможності є застосування номінальної напруги 20 кВ замість традиційних 6 (10) кВ.

За розрахункову схему взято схему нормального режиму Тростянецького РЕМ АТ «Сумиобленерго» з номінальними напругами 35 кВ та 10 кВ, що живиться від підстанції «Тростянець» 110/35/10 кВ.

В роботі проведений аналіз фактичного навантаження ділянок електричних мереж напругою 35 кВ та 6(10) кВ. Проведено розрахунки втрат електричної енергії та пропускної здатності електричних мереж напругою 6(10) кВ та 20 кВ.

Проведений розрахунок оцінки окупності капітальних вкладень при впровадженні вищого класу напруги.

Запропоновано заходи щодо підвищення ефективності роботи розподільчої мережі, переваги переведу міських електричних мереж 6 кВ на вищий клас напруги.

Це дозволить передавати більшу потужність, знизить технологічні витрати при транспортуванні електроенергії, зменшить недовідпуск електроенергії шляхом автоматизації мереж, усунить дефіцит потужності центрів живлення, створить можливість підключення розподільної генерації, а також покращити показники якості електропостачання SAIDI та SAIFI.

## Магнітно пульсуючий електродвигун

Заєць А.В., *студент*; Петровський М.В., *к.ф.-м.н., доцент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На сьогоднішній день існує велика кількість різноманітних модифікацій електродвигунів, під будь-які задачі та умови експлуатації. Як показують дослідження, використання постійних магнітів при побудові ротору або статора значно спрощує конструкцію і знижує втрати електричної енергії при роботі електродвигуна. Подальше збільшення ефективності електричних двигунів пов'язане з удосконаленням їх конструкції і потребує розробки нових механізмів перетворення електричної енергії. У зв'язку із цим в роботі пропонується схема електричного двигуна на магнітно пульсуючому принципі.

Конструкція такого двигуна складається з магнітної системи (рис. 1а) та ротора, на якому розташовані постійні магніти у формі подвійної спіралі (рис. 1б).

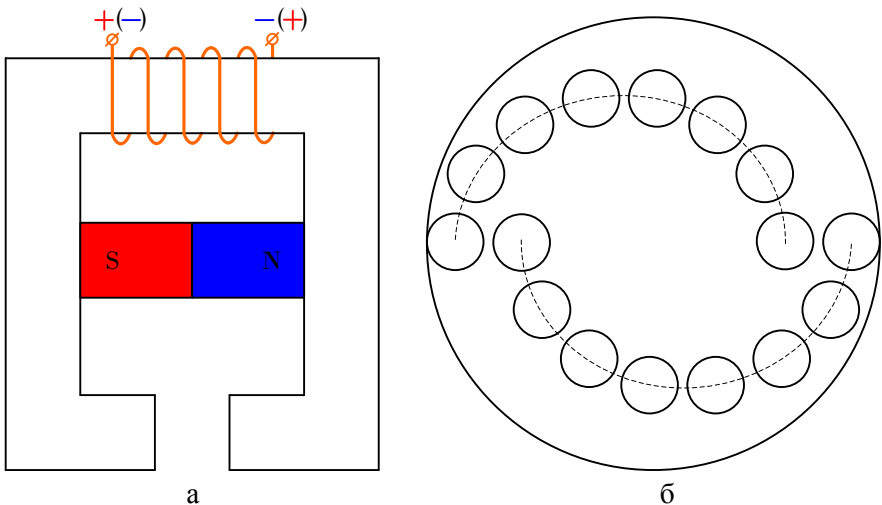


Рисунок 1 – Конструкція магнітно пульсуючого електродвигуна  
а – магнітна система; б – ротор з постійними магнітами

Ротор виконується з немагнітного матеріалу та слугує каркасом для кріплення магнітів. Магнітна система має два паралельні контури. Перший контур складається з постійного магніту, а інший утворюється котушкою індуктивності. Котушка живиться постійною напругою, полярність якої може змінюватися для створення необхідного напрямку магнітного потоку в магнітопроводі магнітної системи. Ротор розташовується між полюсами магнітної системи та обертається за рахунок взаємодії магнітних полів постійних магнітів ротора та поля, що формується між полюсами магнітної системи. Поле між полюсами магнітної системи утворюється за рахунок суперпозиції магнітних потоків постійного магніту магнітної системи та електромагніту.

Обертальний момент ротора створюється за подачі на котушку прямої полярності, що відповідає додаванню її магнітного потоку до потоку постійного магніту під час проходження спіралі магнітів ротора між полюсами магнітної системи. При положенні ротору, що відповідає проходженню точки дотику спіралей, полярність напруги, що подається на котушку, змінюється. Це викликає зникнення магнітного потоку між полюсами магнітної системи і за рахунок інерції ротору введення в область взаємодії іншого сегменту магнітної спіралі. Після цього полярність котушки знову вмикається на пряму і процес взаємодії магнітних полів продовжується.

Для швидкого комутування полярності електромагніту доцільно використовувати Н-міст з MOSFET або IGBT транзисторами. Електронна схема керування Н-мостом повинна відслідковувати положення ротору та проводити перемикання полярності електромагніту у відповідні фази обертання. Це можна реалізувати за допомогою енкодера, встановленого на роторі, або датчиків, що працюють на ефекті Холла.

Таким чином, запропонована конструкція дозволяє створювати високоефективні двигуни з постійними магнітами. Технічні характеристики описаної конструкції можна покращити за рахунок використання більшої кількості спіральних магнітів на одному роторі та збільшенні кількості магнітних систем.

## Захист ліній електропередачі від ударів блискавки

Дудник Б.В., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В останні роки розподільні електричні мережі напругою 0.4 – 35 кВ оснащуються електричним обладнанням, пристроями, апаратами, проводами та ізоляторами, які виготовляються на новій технічній основі.

Використання таких мережевих споруд, значною мірою, потребує надійної системи захисту від перенапруг спричинених ударами блискавки. Вирішення даної проблеми можливе за допомогою сучасних технічних засобів. Розробка методів захисту та технічних засобів від перенапруг пов'язана з кількісною оцінкою параметрів блискавки та можливою кількістю пошкоджень від блискавки.

На сьогодні захищені проводи для повітряних ліній електропередачі набувають все більшого поширення в Україні завдяки технічній політиці Міністерства палива та енергетики. Дріт у захисній оболонці для повітряних ліній напругою 6–35 кВ був розроблений для підвищення надійності розподілу та передачі електроенергії. Використання дротів у захисній оболонці дає ряд явних переваг, а саме : економічна доцільність, надійність. Проте, маючи істотні переваги, є і недолік, який визначається необхідністю захисту повітряних ліній електропередачі від удару блискавки.

Розраховуючи кількість пошкоджень повітряної лінії електропередачі 6–35 кВ, слід враховувати, що на дану лінію впливають не лише прямі удари блискавки, але і удари блискавки поблизу лінії, що супроводжують перенапруги на лінії.

Повітряні лінії електропередачі із захищеними проводами потребують захисту від прямих ударів блискавки, тому визначення кількості прямих ударів блискавки та розробка системи захисту є доцільним завданням.

Існуючі методи визначення прямих ударів блискавки в лінії електропередачі потребують уточнення.

Розроблено критерії успішності блискавкозахисту повітряних ліній електропередачі 6-35 кВ, у вигляді вірогідності виникнення струмів блискавки більших за ті, що створюють напруги вищі за електричну міцність ізоляції повітряної лінії електропередачі.

## Дослідження утворення підсушених зон від дії струмів витоку на поверхні забрудненого ізолятора

Борзенков І.І., *аспірант*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Шевченко С.Ю., *д.т.н. професор*; Данильченко Д.О. *к.т.н., доц.*  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

В експлуатації для ізоляції проміжків систем провід-траверса опори ліній електропередачі використовують тарілчасті ізолятори, які збираються в гірлянди. Типи ізоляторів а також їх кількість в гірлянді залежить від умов експлуатації і класу напруги ліній електропередачі.

Як відомо за дії струмів витоку по забрудненій і зволоженої поверхні ізолятора утворюються підсушені кільцеві зони. За рахунок цього на поверхні тарілки ізолятора утворюється перерозподіл падіння напруги і на підсушених кільцевих зонах з'являються часткові розряди у вигляді короткочасного горіння дуги. Такі процеси визивають на поверхні ізоляції інтенсивну іонізацію повітря, що призводить до перекриття як одного ізолятора так і всієї гірлянди ізоляторів в цілому.

Ціллю роботи є експериментально дослідити процеси утворення кільцевих підсушених зон на поверхні забрудненої і зволоженої ізоляції в лабораторних умовах. В якості об'єкта дослідження був обраний тарілчастий ізолятор типу ПСД-70Е.

Експериментальна установка рисунок 1 складається з високовольтного випробувального трансформатора типу АИ-70, самого ізолятора, вимірювального шунта на 38 кОм і електронного осцилографа для реєстрації досліджуваного сигналу. Попередньо ізоляційна поверхня ізолятора була штучно забруднена розчином каоліну і просушена протягом 24 годин. Безпосередньо перед проведення експерименту поверхня ізолятора була зволожена розпилювачем у вигляді мілкодисперсних капель дистильованої води для імітації туману чи роси.

З виводу високовольтного трансформатора рисунок 1 який послідовно з'єднаний з електродом ізолятора подавалась випробувальна напруга діюче значення якої 10 кВ. З шапкою

ізолятора послідовно увімкнений резистор «шунт» який іншим кінцем приєднаний до землі.

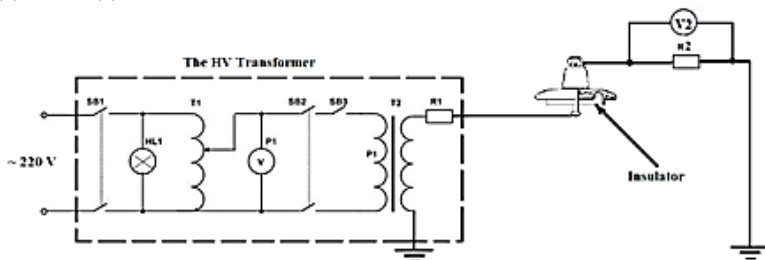


Рисунок 1 – Загальний вигляд експериментальної установки [1]

Результати досліджень наведені на рисунку 2 а, б, в.

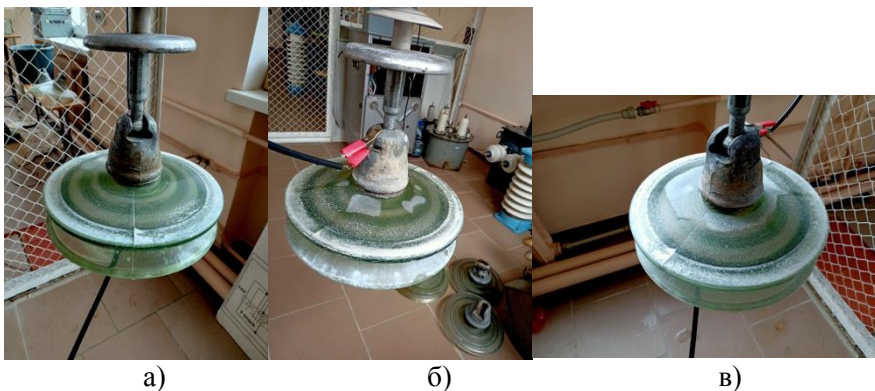


Рисунок 2 – Результати досліджень: а) ізолятор в зволоженому стані на початку проведення експерименту, б) поверхня ізолятора з підсушеними зонами, в) поверхня ізолятора з кільцевою підсушеною зоною

Як видно з рисунку 2 кільцеві підсушені зони не спостерігаються. На рисунку 2 б показані зони у вигляді островків, які почергово утворилися після 9 хвилин від початку проведення експерименту. На рисунку 2 в показана кільцева зона яка утворилася після 16 хвилин від початку проведення експерименту.

**Додавання нових сонячних панелей до наявної системи панелей**Загородня Т.М., *к.т.н., асистент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

За результатами досліджень відомо, що відновлювальна енергетика за карантинних умов була єдиним джерелом енергії, що продемонструвала збільшення відпуску на 2%. Найпопулярнішим джерелом енергії серед останніх є сонячні електростанції. За останній час собівартість для даного виду енергії знизилась більше ніж у два рази, чому сприяло здешевлення основних компонентів обладнання. Зокрема ціни на кремнієві фотоелектричні батареї знизилися з 70-100 доларів за Вт до 5 доларів за Вт й продовжують знижуватися далі.

На ринку доволі багато різноманітних панелей і інверторів, починаючи від нових і дорогих, і закінчуючи використаними і бюджетними. Вартість набору потужністю 30кВт становить близько 12 тис. доларів. (монтаж, налаштування і додаткове обладнання не враховується). Бувають випадки, коли користувач хоче зробити свою сонячну енергосистему потужнішою. Але ж вихідна потужність сонячних панелей з часом змінюється і в реальних умовах майже неможливо підібрати однакові панелі по їх специфікації, крім того напруга сонячних панелей додається при послідовному з'єднанні. Для незмінного значення загальної напруги кола, до кожної ділянки зі «старих» сонячних панелей слід послідовно додати однакову кількість «нових» сонячних панелей. Проте, в такому випадку різні батареї в колі будуть виробляти різний струм, і загальний струм буде дорівнювати струму панелі з найменшим струмом. У випадку паралельного з'єднання сонячних панелей – струм додається. Якщо розглянути випадок, коли користувач додає до кола з сонячних панелей що вже існує, ще одну ділянку, яка повністю складається з нових сонячних панелей, то матимемо наступну ситуацію. Якщо ділянка кола з «новими» сонячними панелями має в точці максимальної потужності напругу більшу, ніж ділянка кола зі «старих» панелей, то 2 паралельних кола працюватимуть при якійсь одній, неоптимальній для обох ділянок, напрузі. Робоча точка може зміститися як в сторону більшої, так і меншої напруги від точки максимальної потужності кола. У цьому випадку власник переплатить за потужність сонячних панелей, яку ніколи не отримає.



Проте при виконанні певних умов, різні панелі можна з'єднати в одну систему.

Існують два основні способи з'єднання сонячних панелей. Кожен спосіб підключення призначений для певної мети (виробляти більше вихідної напруги або виробляти більше струму). Послідовне з'єднання сонячних панелей («Series Wiring») використовується для збільшення загальної напруги системи. Панелі сонячних батарей послідовно використовують користувачі, у яких є інвертор, підключений до сітки, або контролер заряду, який вимагає 24 В або більше. Якщо використовується послідовне з'єднання, то потрібно враховувати певні обмеження: обмеження по мінімальній і максимальній напрузі. Мінімальна напруга залежить від ефективності інвертора і розраховується у максимально сонячний найтепліший день. А максимальна напруга розраховується для максимально сонячного дня, але за найнижчої температури (для нашого географічного положення – взимку), при цьому напруга на сонячних елементах є найбільша. Паралельне підключення сонячних панелей використовується для підвищення загального струму системи. У випадку використання паралельного з'єднання сонячних панелей, то обов'язково потрібно враховувати можливе затемнення окремих сонячних панелей, оскільки, якщо дві або більше сонячні панелі працюють паралельно, а одна з них затемнена, то вона погіршує роботу системи. Тому при паралельному з'єднанні ставлять розв'язуючі діоди, для того, щоб «виключити» таку затемнену панель з роботи. Для м. Суми середня річна генерація електроенергії становить близько 9800 кВт·год/рік (причому у зимові місяці складає 10-15% від літньої). Для найбільш ефективного проектування електростанції варто використовувати інвертори, які дозволяють залучати велику кількість стрінгів, тобто послідовних ланцюжків панелей, які будуть зорієнтовані на різні сторони горизонту. Наприклад, якщо користувач має сонячну електростанцію, панелі якої орієнтовані на південь, то можна додати елементи, які будуть орієнтовані на схід або на захід, для того, щоб максимально продовжити освітленість сонячним промінням з'єднані панелі.

1. Особливості проектування сонячних електростанцій [Електронний ресурс]: – 2018 р. – Режим доступу до ресурсу: <https://rent techno.ua/ua/blog/bipv-design.html>.

## Підвищення ефективності екранування магнітного поля високовольтних кабельних ліній

Ткаченко О.О., *м.н.с.*; Грінченко В.С., *заст. д-ра з наук. роб.*  
Державна установа «Інститут технічних проблем магнетизму  
НАН України», м. Харків, Україна

Дотримання норм по гранично допустимим рівням магнітної індукції є обов'язковим при прокладанні високовольтних кабельних ліній (КЛ). Наприклад, в зоні муфтового з'єднання КЛ відстань між кабелями складає щонайменше 0,5 м. Це призводить до кратного перевищення нормативного рівня магнітного поля (МП). Для нормалізації МП КЛ застосовуються магнітостатичні або електромагнітні екрани. До останніх можна віднести власні екрани високовольтних кабелів. Так, при заземленні КЛ з обох кінців власні екрани утворюють контури, в яких індукується електричний струм. МП струмів в екранах певною мірою компенсує МП, утворене струмами жил кабелів. Це дозволяє використовувати заземлення з обох кінців для екранування МП КЛ.

Для підвищення ефективності екранування кожний з кабелів пропонується охоплювати феромагнітним осердям, що дозволяє посилити магнітний зв'язок між струмами жил та контурів, утворених власними екранами кабелів. Як результат, збільшується ефективність екранування МП. Тоді при прокладанні кабелів «у трикутник» ефективність екранування має вигляд:

$$SF_{\text{тр}} = \sqrt{1 + \left( \frac{\mu_0 \omega}{2\pi R^*} \cdot \left( \ln \frac{d}{r} + (\mu - 1) \cdot \frac{l_{\text{ФО}}}{l} \cdot \ln \frac{r_1}{r_2} \right) \right)^2}, \quad (1)$$

де  $R^*$  – опір одиниці довжини екрана кабелю, Ом/м;  $\omega = 2\pi \cdot 50$  – кутова частота струму,  $\text{с}^{-1}$ ;  $d$  – відстань між осями кабелів, м;  $r$  – радіус екрана, м;  $\mu$  – магнітна проникність осердя;  $l_{\text{ФО}}$  – довжина феромагнітного осердя на кожному з кабелів, м;  $l$  – довжина екранованої ділянки кабельної лінії, м;  $r_1$  та  $r_2$  – відповідно, зовнішній та внутрішній радіус феромагнітного осердя, м.

Для схеми прокладання кабелів «у площині» значення  $SF$  визначається за допомогою співвідношення (1) шляхом заміни  $d$  на  $2 \cdot d$ .

## Розробка моделей схем релейного захисту в програмному комплексі MatLab

Крамський І.О., *студент*; Ніконов М.С., *студент*;  
Петровський М.В., *к.ф.-м.н., доцент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У сучасному інформаційному світі стрімкий розвиток комп'ютерних технологій призвів до широкого використання дистанційних технологій навчання. Створення віртуальних схем релейного захисту дозволяє моделювати поведінку реле в комп'ютерному середовищі і допомагає в оволодінні новими знаннями та вміннями. Використання моделей дає змогу не лише спостерігати за певним експериментом, а й безпосередньо брати в ньому участь, а це в свою чергу сприяє засвоєнню знань на більш свідомому та глибокому рівні.

Головною метою роботи було створення моделей релейного захисту за допомогою програмного пакету MatLab.

Перша модель демонструє роботу двофазного максимального струмового захисту (МСЗ) на постійному оперативному струмі. Даний стенд імітує роботу електричної мережі 10 кВ. Основними елементами моделі є трифазне джерело змінної напруги, високовольтний вимикач, лінія електропередач (ЛЕП), навантаження та схема МСЗ. При запуску моделі автоматично з'являються вікна, в яких у вигляді анімації будуються графіки залежності струмів, що протікають у кожній фазі та стан елементів від часу.

Наступна модель симулює роботу двофазного максимального струмового спрямованого захисту (МССЗ) ЛЕП. У віртуальному стенді розглядається мережа з двостороннім живленням, до якої входять: симетричні трифазні джерела змінної напруги, ЛЕП, високовольтні вимикачі, споживачі та МССЗ. Для того щоб налаштувати елементи схеми необхідно натиснути на відповідний елемент схеми та ввести параметри. За допомогою групи вимикачів можна в схемі промоделювати трифазне КЗ та двофазне КЗ. При запуску моделі розраховуються струми, які протікають в лінії у нормальному, аварійному та післяаварійному режимах. Після закінчення моделювання, з'являються графіки залежності струмів, що протікають у кожній фазі та стан елементів від часу.

## Розробка алгоритмів для вимірювання несинусоїдальності напруги та тимчасової перенапруги

Ніконов М.С., студент; Крамський І.О., студент;  
Петровський М.В., к.ф.-м.н., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В реальних умовах експлуатації електричних мереж виникають режими, які впливають на номінальні значення основних параметрів електричної енергії. З іншого боку, робота потужних споживачів: плавильних печей, перетворювачів частоти і навіть побутових приладів істотно впливають на несинусоїдальність напруги, яка характеризується коефіцієнтом  $n$ -ої гармонічної складової напруги й коефіцієнтом викривлення синусоїдальної кривої напруги.

Відхилення таких показників якості електроенергії від допустимих значень, впливає на роботу силового електрообладнання, релейного захисту й навіть на системи обліку електроенергії. Зміна зазначених показників додатково проявляється у вигляді втрат активної та реактивної потужностей, скорочення терміну служби ізоляції електрообладнання, створення електромагнітних перешкод, які несприятливо впливають на системи автоматики та захисту. У зв'язку з цим розробка автоматизованих вимірювальних систем показників якості електричної енергії з використанням цифрових приладів збору та обробки даних в реальному часі є актуальною задачею.

У даній роботі за допомогою електронного приладу збору даних фірми National Instrument USB-6009 та програмного пакету MatLAB розроблено вимірювальну систему для визначення показників: коефіцієнта  $n$ -ої гармонічної складової напруги, коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги та тимчасової перенапруги у відповідності з ДСТУ EN 50160:2014.

Необхідними параметрами для розрахунку коефіцієнта  $n$ -ої гармонічної складової напруги й коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги є напруги гармонік вихідного сигналу. Для їх визначення використовується метод швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) та, для збільшення точності частоти та амплітуди напруги, додатковий метод Квіна (Quinn's Estimator). Таким чином, використання зазначених методів розрахунку дозволяє отримати амплітудно - частотний спектр, з якого в подальшому можна

визначити амплітуди гармонік, що слугують основою для розрахунку коефіцієнта  $n$ -ої гармонічної складової напруги й коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги у відповідності з ДСТУ EN 50160:2014.

Для аналізу параметра якості електроенергії тимчасової перенапруги використовуються коефіцієнт тимчасової перенапруги  $K$  та її тривалість  $\Delta t$ . Для їх визначення використовується алгоритм, розроблений в програмному пакеті MatLAB у відповідності з ДСТУ EN 50160:2014.

Робота алгоритму починається з розбиття вихідного сигналу на проміжки. Величина таких проміжків дорівнює півперіоду. У подальшому, на кожному проміжку виміряне амплітудне значення напруги порівнюється з номінальним амплітудним значення напруги. Відхилення виміряного значення амплітуди напруги за граничне значення вказує на те, що в мережі виникла тимчасова перенапруга. На досліджуваному проміжку фіксується час початку перенапруги. Далі, за допомогою розробленого алгоритму визначається максимальне значення амплітуди напруги на наступних проміжках та їх значення записуються в окремому масиві. Кінець перенапруги визначається як спад амплітуди напруги на певному проміжку до номінального значення і якщо на наступному півперіоді максимальне значення амплітуди напруги не перевищує граничне значення. У подальшому, розраховується тривалість перенапруги  $\Delta t$ , як різниця часу кінця і часу початку перенапруги, та коефіцієнт тимчасової перенапруги  $K$ . Для розрахунку коефіцієнта тимчасової перенапруги, спочатку визначається максимальне значення амплітуди напруги  $U_{max}$  в масиві даних, в який програма записувала значення напруги на кожному інтервалі. Після цього, значення коефіцієнта тимчасової перенапруги  $K$  розраховується як відношення  $U_{max}$  до номінальної напруги сигналу.

Вище зазначені алгоритми дозволяють з високою точністю фіксувати відхилення досліджуваних показників якості електричної енергії і на основі їх аналізу, виробляти рекомендації по оптимізації режимів роботи електричних мереж, з метою усунення небажаних явищ різноманітними споживачами та зменшення втрат електроенергії в мережах її розподілу.

## Чисельне моделювання розподілу статичного геомагнітного поля в приміщенні будинку з використанням спрощеної розрахункової моделі

Грецьких С. В., *к.т.н., науковий співробітник*

Державна установа «Інститут технічних проблем магнетизму  
НАН України, м. Харків, Україна

В сучасних висотних каркасно-монолітних житлових будинках, що характеризуються максимальним об'ємом феромагнітних мас в залізобетонних конструкціях, індукція статичного геомагнітного поля (ГМП) значно нижче безпечного і комфортного рівня для проживання населення [1, 2]. При вирішенні задачі моделювання ослаблення ГМП в приміщенні потрібно враховувати взаємний магнітний вплив колон і плит, з яких формується залізобетонний каркас приміщення житлового будинку. Для оцінки цього впливу проведено чисельне моделювання розподілу ГМП на висоті 0,5 м над нижньою плитою всередині спрощених розрахункових моделей (рис. 1) під дією повного вектора ГМП.

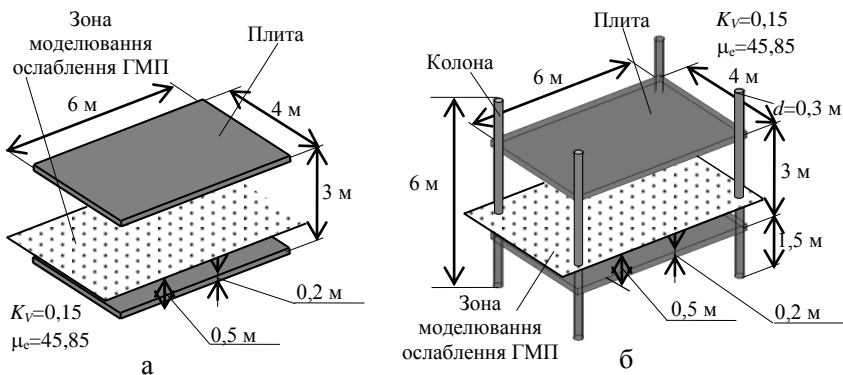


Рисунок 1 – Використовувані при моделюванні ослаблення ГМП конструкції: (а) з 2-х залізобетонних плит; (б) з 2-х залізобетонних плит і чотирьох колон.

При цьому передбачалося, що залізобетонні колони і плити мають реальні геометричні розміри, максимальну початкову магнітну проникність сталеві арматури  $\mu_n = 300$ , максимальний коефіцієнт

заповнення металом  $K_V = 0,15$  відповідно до діючих ДБН і ефективну магнітну проникність  $\mu_e$ , яка визначається виразом

$$\mu_e = (\mu_n - 1) K_V + 1, \quad (1)$$

що дозволяє досліджувати явище ослаблення ГМП для найгіршого випадку, відповідного максимальній інтенсивності ослаблення ГМП, що виникає в висотних каркасно-монолітних житлових будинках [2].

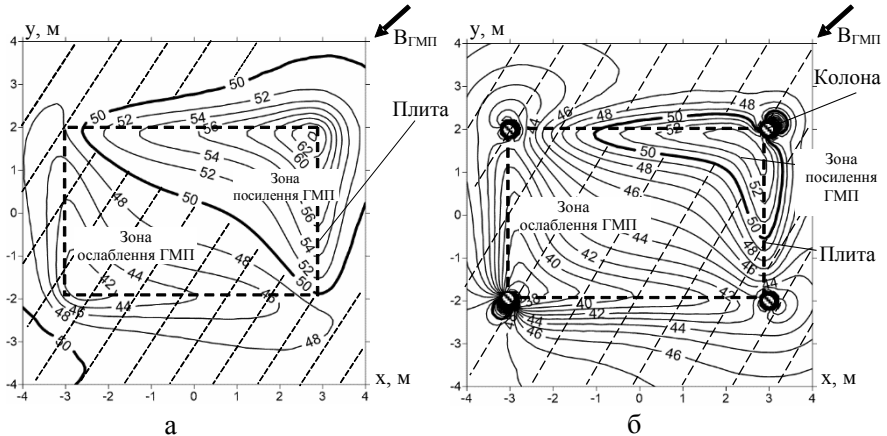


Рисунок 2 – Розподіл модуля вектора індукції магнітного поля (мкТл) на висоті 0,5 м над нижньою залізобетонною панеллю (рис. 1) під дією повного вектора ГМП, зорієнтованого під кутом  $45^\circ$  до осі  $x$  плити.

Як випливає з рис. 2 (а), в порівнянні з рис. 2 (б) істотно змінився характер розподілу зони ослаблення ГМП, яка поширилася практично на всю площу над панеллю. При цьому також збільшився рівень ослаблення ГМП з 42 мкТл до 38 мкТл. Зазначені зміни викликані наявністю залізобетонних колон (рис. 1 б) в розглянутій конструкції, які суттєво впливають на просторову структуру МП.

1. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2008 (Germany: Institut fer Vaubiologie + Ekologie IBN, 2008)
2. В.Ю. Розов, Д.Е. Пелевин, С.В. Левина *Экспериментальные исследования явления ослабления статического геомагнитного поля в помещениях* (Електротехніка і електромеханіка: 2013, №6).

Наукове видання

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2021**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
студентів та молодих вчених

Відповідальний за випуск  
Декан ф-ту ЕлІТ

доц. **О.О. Дрозденко**

Комп'ютерне верстання  
Дизайн обкладинки

ст. викладач **Ю.М. Шабельник**  
ст. викладач **Ю.М. Шабельник**

Відповідальний редактор

ст. викладач **Ю.М. Шабельник**

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 8,08 Обл.-вид. арк. 6,30 Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Р.-Корсакова, 2, м. Суми, 40007,  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007



**Секції конференції:**

- 1. Фізика та методика викладання фізики.**
- 2. Наноматеріали: властивості та застосування.**
- 3. Матеріалознавство мікро- та наоелектроніки.**
- 4. Електронне інформаційні системи.**
- 5. Електронні системи, прилади та засоби кодування інформації.**
- 6. Електротехніка та енергетика.**

**Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Сумський державний університет  
вул. Римського-Корсакова, 2, 40007 м. Суми, Україна  
тел. +38 0542 33 71 44  
<https://elitconference.sumdu.edu.ua>**