

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ  
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL  
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE



***В І С Н И К***

***ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ***

***ВИПУСК 3***

***BULLETIN OF ENGINEERING ACADEMY  
OF UKRAINE***

***Issue 3***

**ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ  
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

**THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL  
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE**

**Журнал друкує статті науковців вузів та установ  
України, інших країн відповідно до рубрик:**

Авіаційна і космічна техніка  
Військово-технічні проблеми  
Геологія, видобування та переробка корисних  
копалин  
Інженерні проблеми агропромислового комплексу  
Інформаційні системи, обчислювальна й електронна  
техніка, системи зв'язку та приладобудування  
Матеріалознавство  
Машинобудування  
Медична інженерія  
Металургія  
Охорона навколишнього середовища (інженерна  
екологія) і ресурсозбереження  
Стандартизація, метрологія і сертифікація  
Будівництво та будіндустрія  
Технологія легкої промисловості  
Технологія харчової промисловості  
Хімічні технології й інженерна біотехнологія  
Економіка, право та керування в інженерній  
діяльності  
Енергетика  
Освіта та виховання

**Journal submits articles of researchers of universities  
and institutions of Ukraine and other countries in  
accordance with headings:**

Aviation and Space Engineering  
Military-technical problems  
Geology, Mining and Processing of Minerals  
Engineering Problems of Agroindustrial Complex  
Information systems , computers and electronic  
equipment , communication systems and instrumentation  
Material Science  
Mechanical Engineering  
Medical Engineering  
Metallurgy  
Preservation of Environment (Ecological Engineering)  
and Resource Saving  
Standardisation, Metrology and Certification  
Building and Construction Engineering  
Technology of Light Industry  
Technology of Food Industry  
Chemical Technologies and Engineering Biotechnology  
Economics, law and management in engineering  
Energetics  
Education and training

Матеріали друкуються українською, російською або  
англійською мовами.

Materials are submitted in Ukrainian, Russian or English  
languages.

Номер затверджено на засіданні Вченої ради  
Кіровоградського національного технічного  
університету

The issue is approved at the meeting of Academic  
Council of Kirovograd National Technical University

Протокол № 2 від 03.11.2016р  
Вісник Інженерної академії України включений у  
новий Перелік наукових фахових видань України, в  
яких можуть публікуватися результати дисертаційних  
робіт на здобуття наукових ступенів доктора і  
кандидата наук в галузі технічних наук (Наказ МОН  
України від 13.07.2015р. №747)

Protocol No.2 dated 03.11.2016  
Bulletin of Engineering academy of Ukraine is included  
into the new List of Scientific special editions of  
Ukraine, in which results of dissertation works may be  
published for to be conferred with academic degrees of  
doctor and candidate of sciences in the field of  
engineering sciences (Decree of Ministry Education and  
Science of the Ukraine No.747 dated 13.07.2015)

Співзасновники:  
Кіровоградський національний технічний  
університет  
Інженерна академія України  
Одеська державна академія технічного регулювання  
та якості

Cofounders:  
Kirovograd National Technical University  
Engineering Academy of Ukraine  
Odessa State Academy of Technical Regulation  
and Quality

ISBN 5-7763-8361-7

### Редакційна колегія:

Головний редактор – д.т.н., проф. **В.П. Квасніков**  
Заступник головного секретаря – к.т.н. **В.І. Савченко**  
Редактор – **А.С.Глуханюк, К.В.Потопчук**

### Члени редколегії:

**А.І. Бабушкін** - д.т.н., проф. (авіаційна і космічна інженерія),  
**Л.Р. Вышняков** – д.т.н.(матеріалознавство),  
**Р.Б. Гевко** - д.т.н., проф. (машинобудування),  
**В.Л. Дыкань** - д.т.н., проф. (економіка, право та управління в інженерній діяльності),  
**В.В. Древетський** - д.т.н., проф. (інформаційні системи обчислювальна й електронна техніка, зв'язку та приладобудування),  
**Ігор Емри** - доктор, проф. (директор Інституту інноваційних технологій, Словенія),  
**М.Ю. Ізбаш** - д.т.н., проф. (будівництво і інженерія),  
**Л.В. Коломієць** – д.т.н., проф. (стандартизація, метрологія і сертифікація),  
**В.І. Литвиненко** - д.х.н. (хімічні технології та біотехнологія),  
**А.П. Мельник** - д.т.н., проф. (нафтогазові тех. і),  
**В.М. Мельник** - д.т.н., проф. (геологія, добування та переробка корисних копалин),  
**Й.С. Мисак** - д.т.н., проф. (енергетика),  
**О.О. Панасенко** - д.т.н., проф. (водне господарство і гідротехніка),  
**В.В. Саловей** - д.т.н., проф. (охорона навколишнього середовища і ресурсозбереження),  
**В.І. Ступа** - д.т.н., проф. (технологія легкої промисловості),  
**О.К. Тришин** - академік УААН, д.с/г.н., проф. (інженерні проблеми АПК),  
**М.І. Хвусюк** - д.м.н., проф. (медична інженерія),  
**О.І. Черевко** - д.т.н., проф. (технологія харчової промисловості),  
**М.І. Чернової** – член-кор. УААН, д.т.н., проф. (матеріалознавство),  
**С.І. Ярошевський** - д.т.н., проф. (металургія).

### Editorial board:

Editor-in-chief – Dr. of Eng., Prof. **V.P. Kvasnikov**  
Executive secretary – Cand. of Eng. **V.I. Savchenko**  
Editor – **A.S. Glukhaniuk, K.V. Potapchuk**

### Members of editorial board:

**A.I. Babushkyn** – Dr. of Eng., Prof. (Aviation and Space Engineering),  
**L.R. Vyshniakov** - Dr. of Eng (Material Science),  
**R.B. Gevko** – Dr. of Eng., Prof (Mechanical Engineering),  
**V.L. Dykan'** - Dr. of Eng., Prof.( Economics, law and management in engineering),  
**V.V. Drevets'kyi** - Dr. of Eng., Prof. ( Information systems , computers and electronic equipment , communication systems and instrumentation),  
**Ihor Emri** – Dr., Prof. ( Director of the Institute of sustainable innovative technologies, Slovenia),  
**M.Yu. Izbash** - Dr. of Eng., Prof.( Building and Construction Engineering),  
**L.V. Kolomiets** – Dr. of Eng., Prof. (Standardisation, Metrology and Certification),  
**V.I. Lytvynenko** – Dr. of Chem. (Chemical Technologies and Engineering Biotechnology),  
**A.P. Melnyk** – Dr. of Eng., Prof. (Oil-and-Gas Technologies),  
**V.M. Melnyk** – Dr. of Eng., Prof. (Geology, Mining and Processing of Minerals),  
**I.S. Mysak** – Dr. of Eng., Prof. (Power Engineering),  
**O.O. Panasenko** – Dr. of Eng., Prof. ( Water management and hydraulic engineering ),  
**V.V. Solovey** – Dr. of Eng., Prof (Preservation of Environment (Ecological Engineering) and Resource Saving),  
**V.I. Stupa** – Dr. of Eng., Prof. (Technology of Light Industry),  
**O.K. Tryshyn** - academician of UAAS, Dr. of agriculture, Prof. ( Engineering Problems of Agroindustrial Complex),  
**M.I. Khvysuk** – Dr. of Med., Prof. (Medical Engineering),  
**O.I. Cherevko** - Dr. of Eng., Prof. ( Technology of Food Industry),  
**M.I. Chernovol** – A corresponding-member of UAAS, Dr. of Eng., Prof. (Material Science),  
**S.L. Yaroshevsky** – Dr. of Eng., Prof. (Metallurgy).

Підписано до друку 15.10.2016р.  
Ціна договірною  
Адреса редакції: просп. Космонавта Комарова, 1,  
кв. 11, кімн. 402, м. Київ, 03680, Україна  
Тел.: +38(044)406-71-58  
E-mail: kvp@nau.edu.ua

Signed for printing on 15.10.2016р.  
Agreed price  
Address of Editorial Staff: Cosmonaut Komarov St., 1,  
build. 11, 402 room, Kyiv, 03680, Ukraine  
Tel.: +38(044)406-71-58  
E-mail: kvp@nau.edu.ua

## Зміст

## Авіаційна та космічна техніка

Безвесільна О.М. ТРИКООРДИНАТНИЙ НИЗЬКОЧАСТОТНИЙ ГРАВИМЕТР	8
Кашматов В.И. КВАЗИПРЕДМЕТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ВОЗДУШНОГО СУДНА	10
Конин В.В., Олевинская Т.И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИБОРНОЙ СКОРОСТИ САМОЛЕТА БЕЗ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ	15
Лазарев Ю.Ф., Мироненко П.С., Ильчук С.В. О ВАРИАНТЕ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ	19
Нахаба О.О. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ І ПАРАМЕТРИ РЕГУЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОГО ПОЛЬОТУ ПОЛІКОПТЕРНОГО БПЛА НАУ ПКФ «АВРОРА»	23
Овсянкін А.М., Демидко В.Г. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТУРБУЛЕНТНОГО ДВОФАЗНОГО СТРУМЕНЯ ПРИ КАПЛЯРНОМУ КОНТРОЛІ	28
Подчашинський Ю.О., Лугових О.О., Івашук В.В., Терещук В.І. ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНИТОРИНГУ ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ У ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	33
Рудик А.В. ОЦІНКА ТОЧНОСТІ НАВИГАЦІЙНО-ЧАСОВИХ ВИЗНАЧЕНЬ В СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВИГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	39
Сивернюк В.В. О МНИМОМ РАСШИРЕНИИ ВСЕЛЕННОЙ	46
Смолич Д.В., Кіреєв М.Е., Шпилька О.О. СПЕКТРАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ УХИЛІВ ТА РІВНОСТЕЙ ПОКРИТТЯ АЕРОДРОМНИХ КОНСТРУКЦІЙ	50
Сокол О.Л. ВНЕДРЕНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА АЭРОДРОМАХ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ	54
Шмельова Т.Ф., Аргунов Г.Ф., Стратій А.В. РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНИМИ ПОВІТРЯНИМИ СУДНАМИ	57

**Інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування**

Безвесільна О.М., Киричук Ю.В., Чепюк Л.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРАЦІЙНОГО ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ КОМПЛЕКСУ СТАБІЛІЗАЦІЇ	63
Безвесільна О.М., Ткачук А.Г., Свістельник С.С., Богдановський М.В. РОЗРОБКА НОВОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ ВИСОКИХ ПОРЯДКІВ	67
Зенкін А.С., Бугера Т.Я. УДОСКОНАЛЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ФЛЕКСОГРАФІЧНИХ ДРУКОВАНИХ ФОРМ	73

8	Лемирчук С.В., Гололобов А.Ю., Арджомандифард А. СИНТЕЗ СИСТЕМ ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	78
10	Кучеров Д.П., Моргун К.О., Голенковская Т.И. ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОСВЕЩЁННОСТИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ	82
15	Козловский В.В., Чирва Д.П., Басюк И.А., Приходько Т.Ю. ПРОДУКЦИОННЫЕ МОДЕЛИ БАЗЫ ЗНАНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ НЕРЕГУЛЯРНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ	88
19	Пархоменко І.І., Кузнецов К.Ю. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ АСИМАТРИЧНОГО ШИФРУВАННЯ	93
23	Пенцак Т.О., Білецький В.С. ЗАХИСТ WEB-РЕСУРСІВ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ДОСТУПУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕХАНІЗМІВ ВНЯВЛЕННЯ МЕРЕЖНИХ АТАК ТА МОНІТОРИНГУ ПІДОЗРІЛОЇ АКТИВНОСТІ	99
28	Рудницький В.М., Шувалова Л.А., Нестеренко О. Б. СИНТЕЗ ОПЕРАЦІЙ КРИПТОГРАФІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗА КРИТЕРІЕМ СТРОГОГО СТІЙКОГО КОДУВАННЯ	105
33	Семенова К.І. АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ДАНИХ RSA ПЕРЕДНЬО-БОКОВОГО ОГЛЯДУ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ	108
39	Таллопа С.В., Вітер В.В. МЕТОДИ І ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ДОСТУПУ В ІНФОРМАЦІЙНО - КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ	114
46	Фролова Н.Е., Блакита Ю.П. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ГРАФІЧНИХ КАРТ В КЛАСТЕРНИХ СИСТЕМАХ	119
50	<b>Матеріалознавство</b>	
54	Ковальчук В.В., Крижанівська Т.В., Смірнов А.В. ДИПОЛЬНІ МОМЕНТИ НАНОКЛАСТЕРІВ КРЕМНІЮ: МОДЕЛЮВАННЯ	124
57	Ковальчук В.В., Сербов Н.Г., Коваленко Л.Б. ЕЛЕКТРОННА СТРУКТУРА НАНОКЛАСТЕРІВ КРЕМНІЮ: МОЖЛИВОСТІ ПАРАМЕТРИЧНИХ СХЕМ	129
	Філюненко С.Ф. СВЯЗЬ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ДИСПЕРСНОСТИ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМОГО КОМПОЗИТА	133
	<b>Машинобудування</b>	
63	Аулін В.В., Кропівний В.М., Кузик О.В. ХАРАКТЕР ФОРМОУТВОРЕННЯ ГРАФІТУ В ЧАВУНІ В ПРОЦЕСІ ВИПЛАВКИ ТА ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ	139
	<b>Охорона навколишнього середовища (інженерна екологія) і ресурсозбереження</b>	
67	Подчашинський Ю.О., Кошоба І.Г., Сельнікова Т.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВОД ЗВАЛИЩА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ М. ЖИТОМИРА	146
73	Филипчук В.Л., Курилюк М.С., Филипчук Л.В., Курилюк О.М., Крилюк В.М., Почтар О.В. ОЧИЩЕННЯ КАЛАМУТНИХ ВОД У ФІЛЬТРАЦІЙНО-РЕГЕНЕРАЦІЙНИХ БІОПЛАТО	150

## Стандартизація, метрологія і сертифікація

- Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. 156  
СТУПІНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ І ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ НАЦІОНАЛЬНИМИ ТА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ
- Безвесільна О.М., Нечай С.О., Чепюк Л.О. 163  
ЗМЕНШЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ПОХИБОК НАВІГАЦІЙНИХ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОМПЛЕКСУ СТАБІЛІЗАЦІЇ
- Васілевський О.М., Компанець Д.М. 167  
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ГРАФЕНУ
- Зенкін М.А., Золотарьова Є.С., Василенко І.Ю. 171  
РОЗРОБКА МОДЕЛІ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СКЛАДНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА
- Зенкін М.А., Нестеренко Ю.М. 176  
УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ОБЛІКУ ВИТРАТ РІДИНИ
- Зубрецька Н.А., Воронянська Л.В. 181  
СИСТЕМА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСІВ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА
- Катаєва М.О. 186  
МЕТОД ОПИСУ ТРЕНДА ПОВЕРХНІ АВІАЦІЙНОЇ ДЕТАЛІ СКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ
- Квасніков В.П., Єгоров С.В. 190  
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ
- Мельник О.Г., Мельник Р.П., Гончар С.В. 196  
ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОСТОВІРНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЧАСУ НА ЕВАКУЮВАННЯ ЛЮДЕЙ
- Монченко О.В., Ткачик Р.Ю. 199  
ВИЗНАЧЕННЯ ДИСКРЕТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ
- Орнатський Д.П., Марченко Н.Б., Добржанська Б.В., Шумков В.Г. 203  
СИСТЕМА РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ МАЛОПОТУЖНИХ МЕРЕЖ З ПОКРАЩЕНИМИ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ
- Охрименко К.Я., К. Eichhorn (К.К. Охрименко), Здир А.А., Чернявський М.В. 207  
ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ НАКОПЛЕННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ШАГА ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ШАГА
- Охрименко К.Я., К. Eichhorn (К.К. Охрименко), Манзюра А.В., Новикова Л.В. 214  
ВЛИЯНИЕ НАКОПЛЕННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА ТОЧНОСТЬ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИВодОВ ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА.
- Рудницький В.М., Фауре Е.В., Сисоєнко С.В. 219  
ОЦІНКА ЯКОСТІ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ НА ОСНОВІ ДОДАВАННЯ ЗА МОДУЛЕМ
- Трофименко В.И., Задорожний Р.А., Самойличенко О. 222  
МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ АТТЕСТАЦИЯ КООРДИНАТНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ И ЕЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ
- Чорненький Ю.В. 227  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЦИОНАРНОЙ И НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФУНКЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ В ШАРИКО-ВИНТОВЫХ ПАР

**Будівництво та будіндустрія**

- 150 [Redacted] А.О., Талах С.М., Дубик О.М.  
[Redacted] ДЕФОРМУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ, ВІДНОВЛЕНИХ  
[Redacted] ЛЮГІЄЮ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ 232
- [Redacted] В.Д., Марченко О.О., Василюк В.І., Козаченко Н.В., Тараборкін Л.А.  
163 [Redacted] РАХУНКИ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ 239
- [Redacted] В. М., Лисницька К. М.  
[Redacted] ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД 243
- 167 [Redacted] С.В.  
[Redacted] ВИКОРИСТАННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННІ ПАРАМЕТРІВ 248
- 171 [Redacted] ПУБЛІЧНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ НА  
[Redacted] ПОВІТРЯНИХ ПЕРЕХОДІВ

**Енергетика**

- 176 [Redacted] Л.В. Варченко О.І.  
[Redacted] ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТЕПЛОВЕ ПОСТАЧАННЯ 252
- 181 [Redacted] В УКРАЇНІ
- [Redacted] О.М. Мисак Й.С.  
[Redacted] ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕЛІОПОКРІВЛІ ВПРОДОВЖ ДНЯ 257
- 186 [Redacted] Г.О., Мисак Й.С.  
[Redacted] ДОДА ПОПРАВЧНИХ КРИВИХ НА ВІДХИЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАРИ ТА ТЕПЛОВОЇ 261
- 190 [Redacted] СИСТЕМИ ТУРБООУСТАНОВКИ ВІД НОМІНАЛЬНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

**Освіта та виховання**

- 196 [Redacted] О.В.  
[Redacted] АРХИТЕКТУРА ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІТИЧНОЇ ОЦІНКИ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ 266
- 199 [Redacted] В.П.  
[Redacted] ПРОБЛЕМАТИКА ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЛАДИ В РЕГІОНІ 270
- 203 [Redacted] В.П., Юрчук А.О.  
[Redacted] ПИТАННЯ РУХОМ АВТОНОМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА У ВІДНОСНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ 273
- 207 [Redacted] ДЮ  
[Redacted] ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ OLAP ТА DATA MINING ПРИ ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМНИХ 277
- [Redacted] В ГАЛУЗІ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
- 214 [Redacted] АЦІЇ 284
- В [Redacted] ПРОБЛЕМИ ПРО АВТОРІВ 293
- [Redacted] ДО СТАТТЕЙ 396

219

М

222

227

U1316.925(075)

Ориятський Д.П., д.т.н.,  
Марченко Н.Б., к.т.н.,  
Добржанська Б.В., асистент,  
Шумков В.Г., к.т.н.

## СИСТЕМА РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ МАЛОПОТУЖНИХ МЕРЕЖ З ПОКРАЩЕНИМИ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Національний авіаційний університет, [ivs@nau.edu.ua](mailto:ivs@nau.edu.ua)

присвячена підвищенню надійності, заводо захищеності та покращенню метрологічних характеристик роботи системи релейного захисту для малопотужних мереж з покращеними техніко-економічними показниками, через відсутність проблем притаманних стандартним багатоступеневим захисту розподільних мереж, особливо при двосторонньому живленні.

**Ключові слова:** струмовий захист, датчики Холла, мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики, функціональна схема системи захисту, системи централізованого типу, схема регулятора змінних напруг.

### Вступ

Основними проблемами, що виникають при створенні селективних захистів особливо від короткого замикання (к.з.) на землю у мережах (6 – 10) кВ є суперечливі вимоги до їх чутливості, селективності, надійності в умовах коли струми на пошкодженій і непошкодженій ділянках мають недостатньо чіткі і різкі зміни. Це робить задачу поліпшення метрологічних характеристик вимірювальних засобів релейного захисту актуальною [1].

Широке розповсюдження отримав струмовий захист (завдяки своїй чутливості) з трансформаторами нульової послідовності, які в даний час замінюються вимірювальними перетворювачами струму (з коефіцієнтом перетворення 1:1000) на основі датчиків Холла в інтегральному виконанні класу точності 0,2...0,5, що не мають низькочастотні полюси та по масогабаритним показникам переважають трансформатори струму [2].

Переваги таких перетворювачів полягають також у відсутності похибок пов'язаних з індукцією магнітного поля трансформатору струму та зі значними обмеженнями опору по навантаженню. Однак, при використанні таких перетворювачів також залишаються проблемні задачі з відлаштуванням від стрибків емнісного струму, що насичені високими гармоніками при замиканнях на землю на інших лініях. Це потребує для забезпечення селективності збільшення струму спрацювання захисту над допустимими границями, в той же час як для підвищення надійності компенсованих мереж необхідно знижувати цей струм, що суттєво обмежує застосування даного методу.

Проте, в цьому випадку суттєво зростають вимоги до метрологічних характеристик використання вимірювальних перетворювачів, що ускладнюється тією обставиною, що такі вимірювання необхідно проводити для основних гармонік з високою швидкістю і точністю.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Одним з можливих шляхів розв'язання цього протиріччя є використання реле (потужності струмів нульової послідовності) реактивної для некомпенсованих радіальних мереж і активної для компенсованих. Наприклад: мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики серії РС83 призначені для використання на приєднаннях (6 – 10) кВ підстанцій та розподільчих пунктів.

Склад серії призначений для виконання функцій РЗА розподільних мереж практично без використання додаткової апаратури, при цьому базовим пристроєм серії є багатоступеневий прилад – мінімальний струмовий захист.

Пристрої вигідно відрізняються від вітчизняних і зарубіжних аналогів доступністю, малими витратами, низьким споживанням, точністю контролю параметрів і зручністю експлуатації, а по надійності функціональність/вартість перевершують більшість аналогів [3].



До недоліків мікропроцесорних пристроїв релейного захисту [4, 5] можна віднести високу вартість та низьку ремонтпридатність [6].

Електролітичні конденсатори, що входять до складу релейного захисту навіть країн Японії після 7 років роботи в імпульсних блоках живлення втрачають свої властивості, і створюють протікання електроліту, здатного з'їсти мідні доріжки плат.

Мікропроцесорний пристрій серії PC83 базується на методах і засобах побудови захистів, струмова відсічка, до недоліків яких відносять: неповне охоплення ліній, значні втрати поблизу джерел живлення, хоча за умов стійкості для цього необхідне надшвидке ввімкнення. Нестабільність зони дії через зміни опору в зоні пошкодження та зміни режиму системи, що використовується в мережах (6-10) кВ.

В цих випадках необхідно використовувати системи захисту, що забезпечують пошкодження без витримки часу в межах всієї лінії, що захищається, в тому числі і на протяжності. Це так звані поздовжні диференціальні системи захисту, вони забезпечують відключення к.з. в будь-яких точках захисту ділянки і мають селективність при к.з. за межами захищається. Тобто для них немає потреби в узгодженості, до того ж вони не реагують на зміни в мережі.

Єдиним недоліком цього методу є висока вартість з'єднувального кабеля і робіт по його

#### Постановка задачі дослідження

Для запобігання вищезгаданих недоліків була розроблена функціональна схема системи захисту, представлена на рис. 1, яка дозволить передавати сигнали вимірювальної інформації по лініям зв'язку в режимі реального часу з великою точністю, яка базується на використанні вузькосмугових ШІМ модемів з використанням не класичної системи ФАПЧ та ітераційних перетворювачів з динамічними запам'ятовувачами пристроями з покращеними характеристиками. При цьому вартість комплектуючих всієї системи передачі еквівалентна вартості модемів для передачі цифрової інформації, в той час як в альтернативному варіанті роботи кабеля та його собівартість будуть сягати десятки тисяч у.о.

Ще однією перевагою запропонованої системи завдяки наявності прицевийного каналу вимірювальних сигналів за допомогою ШІМ модуляції – є можливість використання безпервинних вхідних ланок (без трансформаторів) на основі операційних підсилювачів або перетворювачів на ефекті Холла. Крім того така система по своїй архітектурі буде відноситися до децентралізованого типу (з великою кількістю однотипних елементів). Відомою перевагою такої системи є економічність, завдяки тому, що резидентна частина системи буде складатися лише з перетворювачів та ШІМ модуляторів з мережевим адаптером.

#### Виклад основного матеріалу

Робота системи базується на диференціальному методі побудови релейного захисту з децентралізованою структурою централізованого типу. На Рис. 1 а представлена структурна схема однієї з ланок частини системи, яка встановлюється на кінцях захищеної лінії. Особливістю є використання сигналів вимірювальної інформації "вузькосмугової" широтно-імпульсної модуляції, яка передається має асиметричну трикутну форму. Такий сигнал отримується в лінійному імпульсному модуляторі на основі "квадратичних" перетворювачів напруга-частота і передається за допомогою трансформатора лінії потрапляє в телефонну лінію.

В якості первинних датчиків струмів використовуються ідентичні вимірювальні трансформатори струмів, які б не мали низькочастотного полюса в АЧХ, наприклад, датчики струму на основі ефекту Холла, або датчики струму в яких низькочастотний полюс розташовується у високочастотній області, наприклад повітряні трансформатори або шунти з гальванічно-ізольованими підсилювачами, що сприятиме зменшенню аперіодичної складової.

На Рис. 1 б показано розподіл смуги пропускання телефонного каналу між смугами ШІМ\* сигналу, який гуртується біля частоти 1,8 кГц та смугою сигналу тривоги. Для передачі використовується одна з частот тонального виклику (367 Гц).

Приймальна частина системи розташована на генеруючій станції і складається з перетворювачів змінних напруг по одному на кожен ділянку мережі, що захищається. Структурна схема перетворювачів змінних напруг представлена на Рис. 1 в. Схема складається з двох ідентичних каналів: каналів, кожен з яких містить послідовно з'єднані трансформатор лінії ТЛ, широтно-імпульсний

ступеневий слідкуючий режекторний фільтр, перша ступінь якого є двоканальним фільтром, реалізується двадцять четвертою гармонікою мережевої частоти (~ 1200 Гц). Для синхронізації формується за допомогою синтезатора прямого синтезу (СПС) з третьої частоти мережі (~ 150 Гц) триразовим подвоєнням її частоти за допомогою аналогових підсилювачів, що забезпечить високу якість сигналу синхронізації. Друга ступінь режекторного фільтру є чотирьохканальним фільтром (4-х), який синхронізується дванадцятю гармонікою мережевої частоти (~ 1800 Гц). В якості каналних фільтрів використані ітераційно-інтегруючі перетворювачі з динамічними характеристиками пристроями, що забезпечує покращення метрологічних характеристик фільтру.

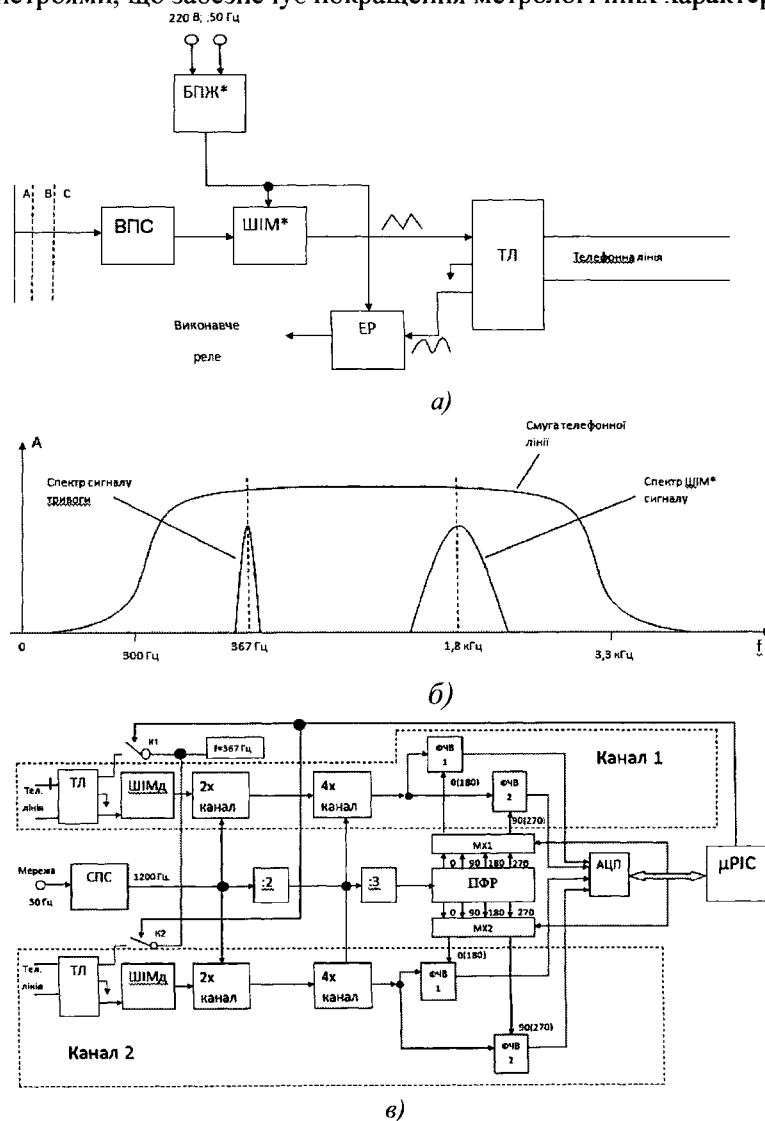


Рис. 1 – Структурна схема системи захисту: а) ячейка резидентної частини системи, БПЖ – безперебійний блок живлення, ЕР – електронне реле, ТЛ – трансформатор лінії;

б) – для визначення смуги пропускання телефонного каналу; в) структурна схема компаратора змінних напруг, Р – подільник фазорозщеплювач, МХ1, МХ2 – аналоговий диференціальний мультиплексор, :2, :3 – подільники частоти відповідно на два та на три

Результати дослідження АЧХ фільтру в програмному середовищі Electronic Workbench наведені на рис. 2. Як видно з наведених даних придушення непарних гармонік значно перевищує 80 дБ у більшій частині діапазону частот. Найближчі парні гармоніки: друга та четверта придушують у 27 та 61 дБ, але завдяки використанню двохнапівперіодного детектування їх вплив буде знешкоджено.

З виходу фільтру очищений сигнал основної гармоніки потрапляє на фазочутливі ФЧВ 1 та ФЧВ 2 за допомогою яких визначаються квадратурні складові першої гармоніки сигналу. Таким чином, визначивши координати векторів струмів на початку та в кінці захищається, можна визначити зсув фаз між ними та їхні модулі, що дасть можливість наявність будь-якого к.з.

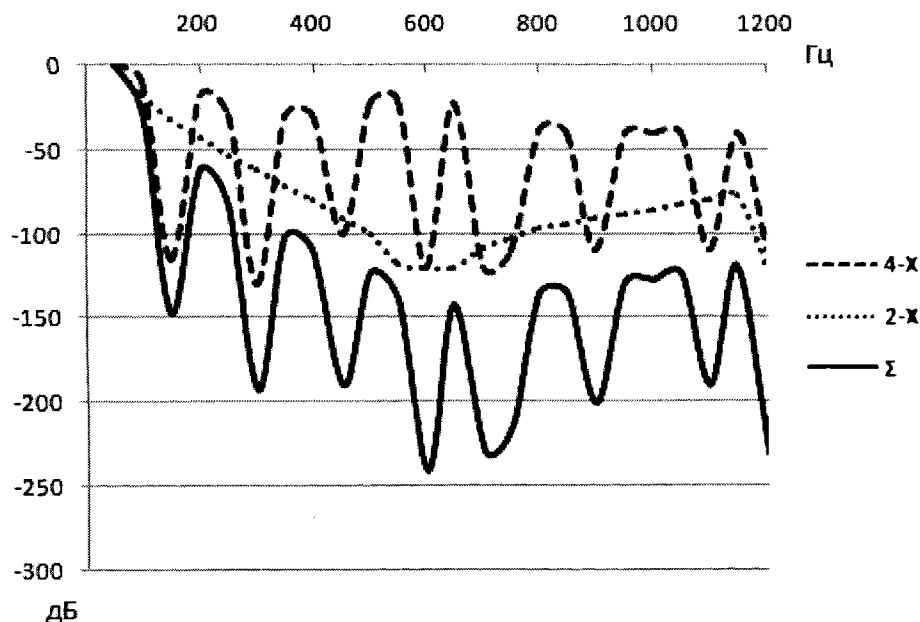


Рис. 2 – дослідження АЧХ фільтру в програмному середовищі Electronic Workbench 2-Х- двоканального фільтру, 4-Х– чотиріканального та  $\Sigma$ -підсумкового

### Висновки

1. Підвищені метрологічні характеристики системи (швидкодія, точність, селективність) досягнуті завдяки використанню нетривіальних технічних рішень основних компонентів з високими метрологічними характеристиками (ШІМ модеми, вимірювальні підсилювачі з диференціальним струмовим входом, режекторні слідкуючі фільтри, фазочутливі випрямлювачі, безперебійний блок живлення з гармонійним сигналом, що трансформується та підсилюється до класу АВ) значно скорочують номенклатуру засобів, які було б необхідно використовувати в системі з рівними функціональними можливостями, при цьому також значно зменшується необхідного програмного забезпечення.

2. Підвищується надійність, заводо захищеність роботи системи, через відсутність притаманних стандартним багатоступеневим системам захисту розподільних мереж при двосторонньому живленні.

### Список літературних джерел

1. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие / Чернобровов Н.В., Семенов В.А. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
2. Електронний ресурс: Rs-catalog, <http://ru.rsdelivers.com>.
3. Електронний ресурс: Микропроцессорные устройства РЗА <http://rzasystems.ru/56.html>
4. Никитин А.А. Цифровая релейная защита. Основы синтеза и реализации микропроцессорных реле: текст лекций / Никитин А.А. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2008. – 100 с.
5. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Шнеерсон Э.М. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 100 с.
6. Гуревич В.И. Уязвимости микропроцессорных реле защиты: проблемы и решения / В.И. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 248 с.