



Українське товариство
неруйнівного контролю та технічної діагностики

при сприянні



Міжнародного комітету
з неруйнівного контролю



Міжнародного товариства
з моніторингу стану



Європейської федерації
з неруйнівного контролю

8-а Національна науково-технічна
конференція і виставка

**Неруйнівний контроль
та технічна діагностика**

Україна, Київ, 22-24 листопада 2016

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Організатори



Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона
Національної академії наук України



Українське товариство неруйнівного
контролю та технічної діагностики



Міжнародний виставковий центр

Генеральний спонсор

**Діагностичні
Прилади**
НАУКОВО-ВИРОБНИЧА ФІРМА

Спонсори



НВФ "ПРОМСЕРВІСДІАГНОСТИКА"

АЦНК ПРИ ІЕЗ ІМ. Є. О. ПАТОНА НАН УКРАЇНИ

Інформаційна підтримка



ТЕХНІЧЕСЬКА ДІАГНОСТИКА
І НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ



МЕТОДИ ТА ПРИЛАДИ
КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

www.usndt.com.ua

УДК 620.179.1

Збірник доповідей 8-ї Національної науково-технічної конференції «Неруйнівний контроль та технічна діагностика – UkrNDT-2016» / Київ: УТ НКТД, 2016 – 380 с.

Оргкомітет конференції:

- **Голова –**
Троїцький В.О., професор, зав. відділом Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України, голова Українського товариства НКТД, член Міжнародної академії НК
- **Співголови –**
Лобанов Л.М., академік НАН України, заст. директора Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України;
Назарчук З.Т., академік НАН України, директор Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України;
Карпаш О.М., професор, проректор з наукової роботи Івано-Франківського національного нафти і газу, заст. голови Українського товариства НКТД;
Мозговой О.В., Дніпропетровський національний університет, заст. голови УТ НКТД
- **Почесні члени Оргкомітету –**
Патон Б.Є., академік, президент Національної академії наук України, директор Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України;
M. Farley, почесний президент Міжнародного комітету з НК (ICNDT);
P. Trampus, президент Європейської федерації з НК (EFNDT);
G. Nardoni, президент Міжнародної академії НК (ANDTI);
L. Gelman, голова Міжнародного товариства з моніторингу стану (ISCM)
- **Наукова рада –**
Бабак В.П., член-кор. НАН України, заст. директора Ін-ту технічної теплофізики НАН України;
Білокур І.П., проф., Національний авіаційний університет;
Бондаренко Ю.К., к.т.н., зав. відділом ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України;
Казакевич М.Л., к.т.н., заст. голови УТ НКТД, член ANDTI;
Карпаш М.О., проф., директор НДІ нафтогазової енергетики і екології;
Куц Ю.В., проф., НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»;
Луценко Г.Г., к.т.н., директор ЗАТ «УкрНДІНК»;
Малайчук А.П., проф., зав. кафедрою Дніпропетровського національного університету;
Мямлін С.В., проф., проректор з наукової роботи Дніпропетровського НУЗТ;
Недосека А.Я., проф., зав. відділом ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України;
Павлій О.В., директор НВФ «Діагностичні прилади»;
Півторак В.А., к.т.н., с.н.с. ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України;
Протасов А.Г., д.п.н., проф., зав. кафедрою НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»;
Середюк О.Е., проф., зав. кафедрою Івано-Франківського НТУ нафти і газу;
Сучков Г.М., проф., зав. кафедрою НТУ «Харківський політехнічний інститут»;
Учанін В.Н., к.т.н., зав. відділом ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України;
Шаповалов Є.В., к.т.н., зав. відділом ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України

Редакційна колегія:

Троїцький В.О. (гол. редактор), Шекеро А.Л. (координатор), Мозговой О.В., Посипайко Ю.М., Циприанович І.В., Шевченко І.Я., Щупак С.О.

Виконавча група:

Бондаренко О.Г. (координатор), Барташевич Д.В., Бородай О.С., Головченко А.П., Литвиненко Л.В., Троїцька Н.В.

*При передрукуванні матеріалів посилання на цей збірник обов'язкове
© Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики, 2016*

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

<u>Б.Е.Патон, В.А.Троицкий. Основные направления работ ИЭС ИМ. Е.О.Патона в совершенствовании неразрушающего контроля сварных соединений</u>	8
<u>В.А.Троицкий. Промышленный радиационный контроль без промежуточных носителей информации</u>	29
<u>В.А.Троицкий. Новая высокоэффективная технология магнитопорошкового контроля на основе подвижных намагничивающих устройств</u>	40
<u>В.П.Бабак. Моніторинг об'єктів теплоенергетики з використанням безпілотних літальних апаратів</u>	48
<u>М.О.Карпаш, О.М.Карпаш. Развитие методов многопараметрового диагностирования металлоконструкций долготривалой эксплуатации</u>	54
<u>В.М.Учанін, О.П.Осташ, Ю.В.Головатюк, О.І.Семенець, Л.Б.Ковальчук, В.Я.Дереча. Моніторинг процесів експлуатаційної деградації алюмінієвих сплавів авіаційних конструкцій засобами вихрострумової структуроскопії</u>	58
<u>В.М.Учанін, С.М.Мінаков. Електромагнітні методи визначення напружено-деформованого стану конструкцій із феромагнітних матеріалів</u>	64
<u>В.Н.Воеводин, Л.С.Ожигов, А.С.Митрофанов, Н.Д.Рыбальченко, С.В.Шрамченко, Е.А.Крайнюк, Р.Л.Василенко. Метод магнитной памяти металла в неразрушающем контроле трубопроводов из низколегированных сталей на энергоблоках АЭС</u>	71
<u>И.П. Белокур, В.Г. Демидко. Диагностика – индикатор безопасности авиационной техники</u>	73
<u>С.М. Маєвський. Аналіз вірогідності контролю</u>	79
<u>В.Р.Харун, П.М.Райтер, І.М.Гладь. Моніторинг технічного стану СШНУ на основі дистанційного контролю зміни кутової швидкості кривошипа</u>	85
<u>Л.Й.Воробйов, Л.В.Декуша, О.О.Назаренко, Р.В.Сергієнко. Контроль палива за теплою згоряння з використанням бомбового квазідиференціального калориметру теплового потоку</u>	89
<u>В.П.Кравець. Аналіз кращої світової практики і положень стандартів провідних міжнародних організацій в галузі неруйнівного контролю для створення на їх основі нового стандарту з атестації і сертифікації персоналу з НК в атомній енергетиці</u>	95
<u>В.О.Троїцький, С.О. Щупак, Ю.М.Посипайко. Система міжнародної та національної стандартизації в сфері неруйнівного контролю</u>	99
<u>Ю.М. Посипайко. Дефектоскопія в антарктиці. Технічне діагностування резервуара РВС-200 на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський»</u>	104

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

<u>В.С. Єременко. Застосування нейромережкових технологій в комп'ютеризованих системах діагностики виробів із композитів</u>	110
<u>В.Н.Воеводин, Л.С.Ожигов, А.С.Митрофанов, Р.Л.Василенко, Н.Д.Рыбальченко, С.В.Гоженко, Е.А.Крайнюк. использование методов неразрушающего контроля для продления назначенного срока эксплуатации главного циркуляционного трубопровода энергоблоков ВВЭР-1000</u>	115
<u>Л.С.Ожигов, А.С.Митрофанов, Г.Д.Толстолуцкая, Р.Л.Василенко, В.В.Ружицкий, Н.Д.Рыбальченко, С.В.Шрамченко, А.В.Мозговой Комплексный контроль металла барабанов котлов тепловых электростанций</u>	117
<u>Л.М.Лобанов, В.А.Пивторак, П.Д.Кротенко. Определение геометрических параметров коррозионных дефектов в элементах конструкций методами лазерной интерферометрии</u> ..	119
<u>А.И.Красильников. Перспективные направления шумовой диагностики теплоэнергетического оборудования</u>	125
<u>И.В.Богачев, Л.В.Мелещенко. Улучшение основных параметров магнитострикционных сенсоров</u>	131
<u>З.А.Бурова, О.Л.Декуша. Контроль якості теплоізоляційних матеріалів</u>	137
<u>О.Л.Декуша, Л.Й.Воробйов, Р.В.Сергієнко. Методи і засоби моніторингу огорожувальних конструкцій будівель</u>	141
<u>С.І.Ковтун. Метрологічне забезпечення засобів контролю теплового потоку</u>	147
<u>А.О.Запорожець, А.Д.Свердлова. Розроблення ієрархічної системи діагностування теплоенергетичного обладнання</u>	152
<u>С.О.Іванов, Л.Й.Воробйов, Л.В.Декуша. Прилад для вимірювання теплоти випаровування вологи та теплоємності неоднорідних вологих матеріалів методом синхронного теплового аналізу</u>	158
<u>В.А.Троицкий, С.Р.Михайлов, Р.О.Пастовенский. X-ray mini технология контроля на основе твердотельных плоскочелюстных детекторов</u>	162
<u>В.С.Берегун, О.І.Красильніков, Т.А.Полобюк. Статистичний аналіз акустичних сигналів витоків рідини в трубопроводах</u>	168
<u>Ю.В.Куц, Ю.Ю.Лисенко, О.Л.Дугін. Застосування імпульсної вихрострумової дефектоскопії для моніторингу технічного стану великогабаритних об'єктів</u>	174
<u>Э.С.Крылов, В.А.Кулиш. Неразрушающий контроль объектов технологических комплексов угольных предприятий, отработавших нормативный срок службы</u>	179
<u>А.О.Назаренко. Система моніторингу та контролю теплоспоживання з використанням альтернативних джерел енергії</u>	185

<u>Ю.Й.Стрілецький, О.Є.Середюк. Дослідження температурного імпедансу пластично деформованих ділянок металу при неруйнівному контролі</u>	190
<u>А.М.Карпаш, Н.Л.Тацакович, В.О.Шабалдас. Експериментальні дослідження та практика визначення залишкового ресурсу металоконструкцій довготривалої експлуатації з врахуванням напруженого стану</u>	193
<u>І.В.Рибіцький, А.В.Яворський, П.М.Райтер. Досвід виявлення та оцінки втрат природного газу на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях</u> ...	197
<u>А.В.Яворський, І.І.Височанський, М.О.Карпаш, П.М.Райтер, І.В.Рибіцький. Досвід розробки і впровадження пристрою для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу</u>	203
<u>В.С.Цих, А.В.Яворський. Електромагнітний контроль ізоляції підземних трубопроводів з поверхні землі</u>	206
<u>В.С.Цих, І.Р.Вашишак, С.П.Вашишак. Розроблення нормативного документу щодо методики безконтактного контролю ізоляційного покриття підземних трубопроводів</u>	208
<u>В.Д.Миндюк. Досвід неруйнівного контролю структурної деградації металу тривало експлуатованих конструкцій</u>	212
<u>М.М.Чуйко, Л.А.Витвицька. Контроль змочуваності рідинами поверхонь твердих тіл імпедансним методом</u>	216
<u>Р.Т.Боднар, О.Б.Барна, В.Б.Біліщук. Контроль міжфазних властивостей на межі розділу фаз «нафта – розчин поверхнево-активної речовини»</u>	219
<u>С.М.Глабець, А.І.Павлій. Фазовані антенні решітки - потужна технологія в ультразвуковому неруйнівному контролі</u>	222
<u>В.Г.Баженов, А.П.Красковский. Комп'ютеризована система на базі п'єзоелектричних фазованих антенних решіток контролю колісних пар залізничних вагонів в процесі експлуатації</u>	225
<u>A.R.Alexiev, O.P.Masiuchok, S.N.Buharov. Investigation on composite materials used for damaged highway pipelines bandaging by low frequency resonance vibrations method</u>	228
<u>І.Й.Мацько, Р.І.Романишин, О.М.Шебордаєв. Концепції створення інформаційної системи для діагностики та моніторингу стану вузлів авіаційної техніки</u>	232
<u>Р.М.Джала, Б.Я.Вербенєць, М.І.Мельник. Нові методи і засоби контролю ПКЗ підземних трубопроводів за вимірами струмів і потенціалів</u>	236
<u>Р.М.Джала, І.Б.Івасів, Л.Є.Червінка, О.О.Червінка, О.М.Семенюк. Оцінка розмірів корозійних точок на поверхні металу за критерієм гладкості сигналу сенсора дифузного відбивання світла</u>	240
<u>Alin Dinita, Olha Borodai. development of new methods for the materials selection and for the repairing pipelines with composite materials wraps</u>	243

РОЗРОБКА МЕТОДІВ І НОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В.Р.Скальський, Є.П.Почапський, Б.П.Клим, Я.Д.Толопко, О.Г.Сімакович, Н.П.Мельник, М.О.Рудак, І.М.Коблан. Розроблення концепції побудови системи діагностування виробів та елементів конструкцій за параметрами магнетопружної акустичної емісії	249
Л.І.Муравський, Т.І.Вороняк, В.Р.Джала, Я.Л.Іваницький, О.Г.Куць, Г.І.Гаськевич, І.С.Голинський. Переносний апаратно-програмний комплекс для неруйнівного контролю композитних елементів конструкцій авіакосмічної техніки: принципи побудови	255
І.М.Яворський, Р.М.Юзефович, І.Й.Мацько, І.Г.Стецько, О.Ю.Дзерин. Засоби неруйнівного контролю та методи нестационарного аналізу вібраційних сигналів обертових вузлів складних машинних комплексів	260
В.В.Павлищук, И.В.Василенко, М.Л.Казакевич. Разработка магнитной жидкости на основе монодисперсных наночастиц $CoFe_2O_4$ для магнитопорошкового неразрушающего контроля	266
А.Я.Недосека, С.А.Недосека, М.А.Овсиенко, М.А.Яременко. Оценка методики принятия решения о состоянии материала конструкций на основе акустической эмиссии	269
В.А.Троицкий, М.Н.Карманов, С.Р.Михайлов, В.А.Шалаев, Р.О.Пастовенский. X-ray mini технология контроля на основе твердотельных детекторов	275
Г.Р.Трохим, І.М.Яворський, Р.М.Юзефович. Об'єкти, підходи та методи для мобільної вібродіагностики	285
В.М.Учанін, Я.П.Кулинич. Моделирование влияния мартенситных перетворень метастабильных аустенитных сталей на сигнал вихрострумового перетворювача ...	288

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

О.Г.Бондаренко. Вплив факторів контактуючих поверхонь на чутливість системи «перетворювач - виріб» у низькочастотній дефектоскопії	292
О.Г.Бондаренко, М.Є.Стахів. Експериментальні дослідження геометричних характеристик нерівностей поверхні труби	299
А.Я.Тетерко, Г.Г.Луценко, В.І.Гутник, Б.А.Бошонко. Метод вихрострумового контролю товщини стінки та питомої електропровідності матеріалу оболонок із виключенням похибки від впливу зазору	302
Г.М.Мартинюк, Л.М.Щербак. Метрологічний контроль генераторів псевдовипадкових чисел для моделювання шумових сигналів	308

<u>Р.М.Галаган, А.С.Момот. Розробка алгоритмів класифікації технічного стану композиційних матеріалів за результатами акустичного контролю</u>	313
<u>О.Д.Близнюк, О.Ю.Гусєв, Н.О.Науменко, Ю.В.Ковбасюк. Методика опрацювання інформаційних сигналів вихрострумових перетворювачів при неруйнівному контролі деталей авіаційної техніки циліндричної форми</u>	317
<u>О.В.Дергунов, О.В.Монченко, Д.О.Трегуб, Д.В.Барташевич. Оцінювання показників точності результатів вимірювань фазових характеристик сигналів при проведенні неруйнівного контролю деталей авіаційної техніки</u>	320
<u>Д.В.Трушаков, А.Л.Шекеро, Ю.Н.Посыпайко. Моделирование физических процессов в вихретоковом преобразователе п-образной формы</u>	325
<u>Є.Ф.Суслов. Статистичний метод оцінки спектрів інформаційних сигналів імпульсних імпедансних дефектоскопів в процесі моніторингу конструкцій з композиційних матеріалів</u>	332
<u>В.Ю.Глуховський. Визначення геометричних параметрів дефектів тепловізійним методом контролю</u>	335
<u>В.Г.Баженов, Д.К.Івіцька. Електростатичний амплітудно-фазовий метод неруйнівного контролю з підвищеною завадостійкістю</u>	340
<u>В.Б.Бондаренко, С.В.Серебренніков, Д.В.Трушаков. Електромагнітний контроль параметрів структурно-анізотропних композитів давачами з орієнтованим полем</u> ...	342
 ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ І ПІДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛУ	
<u>А.Г.Потап'євський, Ю.К.Бондаренко, Ю.В.Логінова, К.О.Артюх. Технологічне управління якістю та експлуатаційними властивостями виробів в зварювальному виробництві</u>	345
<u>Ю.К.Бондаренко, Ю.В.Логінова, К.О.Артюх. Підготовка зварювального виробництва як основа для створення безпечних конкурентоздатних конструкцій машинобудування</u>	350
<u>Ю.К.Бондаренко, О.В.Ковальчук. Оцінка ризику експлуатації зварних конструкцій на підставі моніторингу процесів системи управління якістю і проведення комплексу випробувань</u>	355
<u>Н.Ф.Хорло, Н.А.Сергеева. Применение международного стандарта iso 9712 в промышленности Украины</u>	361
<u>М.Ф.Хорло. Сертифікація фахівців неруйнівного контролю: алгоритми спеціальної підготовки кандидата</u>	368
<u>А.В.Баглай. Практический опыт применения вибродиагностического метода неразрушающего контроля в металлургической отрасли</u>	372
<u>В.О.Троїцький, Ю.М.Посипайко, А.Л.Шекеро. Українському товариству неруйнівного контролю та технічної діагностики – 25 років</u>	378

МЕТРОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ГЕНЕРАТОРІВ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ШУМОВИХ СИГНАЛІВ

Г.М.Мартинюк, Л.М.Щербак
Національний авіаційний університет, Київ

В засобах неруйнівного контролю часто використовуються шумові сигнали. Для обґрунтування структур таких засобів виконують моделювання процесу опрацювання таких сигналів. Якість отримуваних результатів таких досліджень безпосередньо зв'язана з якістю генераторів псевдовипадкових послідовностей чисел.

На даний час існує значна кількість генераторів псевдовипадкових послідовностей, але їх якість в технічній документації відомих програмних середовищ не вказана. Тому у більшості випадків під час комп'ютерного моделювання реалізацій випадкових сигналів виникає практична проблема: як визначити (оцінити шляхом статистичного аналізу) якість такого моделювання? Відповідь можна отримати методами статистичного опрацювання змодельованих реалізацій сигналів. Відома значна кількість критеріїв узгодження випадкового сигналу і його комп'ютерної моделі – часового цифрового ряду. Проте відсутня інформація з рекомендаціями щодо прийняття рішення стосовно вибору кращого генератора для певного практичного застосування.

На сьогодні розроблено значну кількість інструментальних засобів, які дозволяють проводити попередній аналіз придатності до використання в модельних експериментах послідовностей сформованих псевдовипадкових чисел. В той же час розробники алгоритмів формування псевдовипадкових чисел пропонують свої засоби дослідження, які не завжди використовують комплекти тестів, рекомендовані NIST (National Institute of Standards and Technology) або іншими авторитетними метрологічними організаціями.

Завдання дослідження. На основі аналізу результатів відомих публікацій розробити метод обґрунтування використання генератора псевдовипадкових чисел, розподілених за рівномірним законом, у якого ступінь відповідності реалізацій рівномірному закону буде більш статистично вагомою за метрологічними характеристиками і провести його дослідження в програмному середовищі Matlab.

В якості генераторів псевдовипадкової послідовності чисел вибрані генератори, які реалізують наступні методи:

- метод Мартіна, в якому кожне наступне число з послідовності обирається за формулою

$$X_{n+1} =]c \times X_n [,$$

де символ $] \circ [$ означає операцію отримання дробової частини числового добутку, що міститься між дужками;

- конгруентний метод, згідно з яким наступне число з послідовності обирається за формулою

$$X_{n+1} = (aX_n + c) \bmod m,$$

в якості значень a , c , m використовувалися різні значення, які рекомендовані в [1];

- вбудований у середовищі Matlab генератор з рівномірним законом розподілу (функція `unifrnd`).

Для вирішення завдання був розроблений метод оцінювання ступеню відповідності реалізацій білого шуму [5], блок-схема алгоритма програмної реалізації якого наведено на рис. 1

Дослідження генераторів проводилося для псевдовипадкових послідовностей чисел з об'ємами вибірок 100, 1000 та 10000 елементів з метою проведення порівняльного аналізу отриманих результатів.

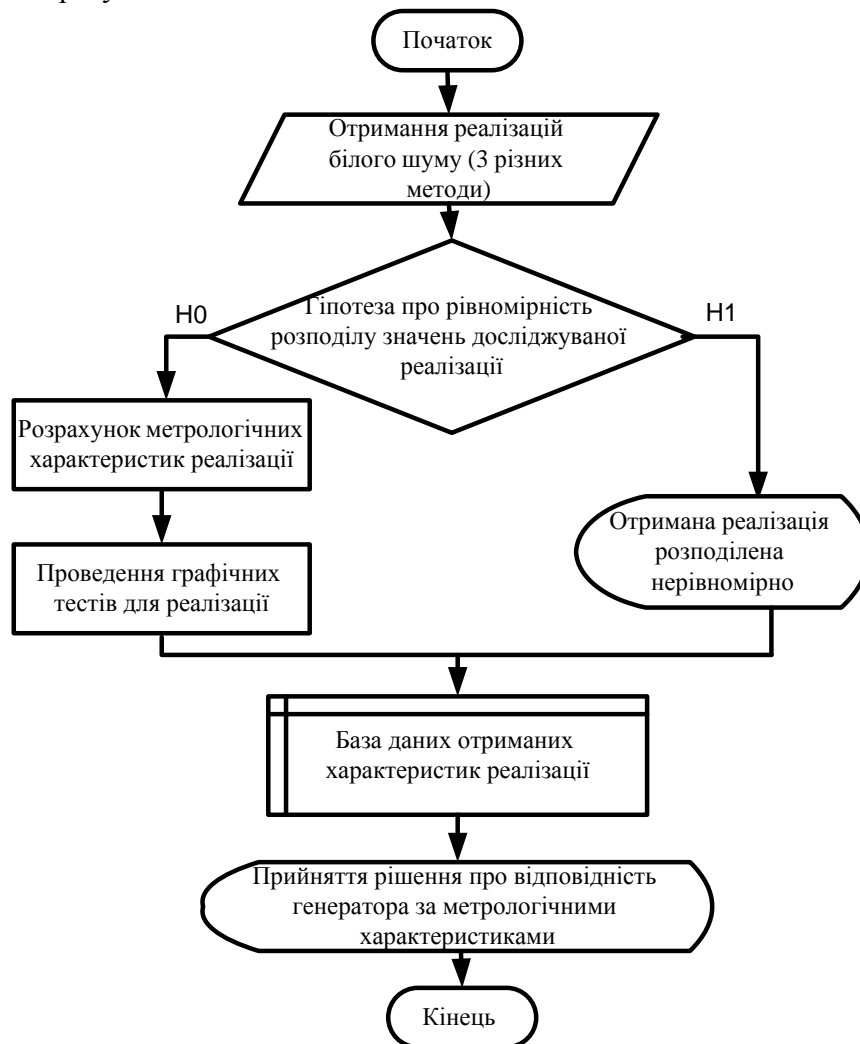


Рис. 1. Блок-схема алгоритму програмної реалізації методу оцінки реалізацій білого шуму і вибору генератора псевдовипадкових чисел

В якості критеріїв перевірки гіпотез про рівномірність досліджуваної реалізації використовувалися критерій Колмогорова-Смірнова та χ^2 -критерій.

Розраховувалися наступні метрологічні характеристики статистичних оцінок:

- математичне сподівання та відносна похибка його вимірювання (теоретично обґрунтоване значення дорівнює 0,5);
- дисперсія (теоретично обґрунтоване значення 12^{-1}) та відносна похибка її визначення.

В якості графічних тестів для реалізацій білого шуму використовувалися:

- графік і відповідні значення так званого кореляційного шуму [3] (значення нормованої оцінки автокореляційної функції (АКФ) реалізації з вилученням значення 1 за відсутності шуму) та розрахунок на його основі кількості значень АКФ, які перевищу-

вали заданий допустимий поріг (вибірка об'ємом 100 елементів – 0,1; вибірка 1000 елементів – 0,02; вибірка 10000 елементів – 0,01);

- графік реалізації кореляційного шуму та знаходження його максимального значення;

- гістограма досліджуваної реалізації білого шуму та знаходження максимального відхилення значень гістограми (значення гістограми повинні бути на рівні 1).

На основі названих вище характеристик приймалося рішення про вибір генератора псевдовипадкової послідовності чисел. Для цього використовувався метод Парето для вирішення багатокритеріальних задач, за результатами якого відкидаються свідомо неприродні або не вигідні рішення, і зберігаються тільки ті рішення, для яких не існує домінуючих у багатокритеріальній задачі. Авторами запропоновано використовувати саме цей метод, оскільки в цьому випадку багатокритеріальна задача продовжує носити лінійний характер та на формальному рівні відповідає багатьом змістовно зрозумілим передумовам.

Результати досліджень реалізацій шумового сигналу на рівномірність розподілу. Для дослідження реалізацій шумового сигналу використовувалися вибірки об'ємом 100, 1000 та 10000, які генерувалися методами Мартіна, конгруентним та за допомогою вбудованого генератора.

Для методу Мартіна для генерування послідовностей були проведені дослідження для різних значень c та X_1 .

Для генерування вибірки № 1 взято значення $c = 7875$, $X_1 = 0,1663$; для вибірки № 2 – $c = 6075$, $X_1 = 0,1283$; для вибірки № 3 – $c = 714025$, $X_1 = 0,150889$.

Для конгруентного методу генерування послідовностей були проведені дослідження для різних значень коефіцієнтів a , c , m .

В якості вибірки № 1 взято вибірку зі значеннями $m = 7875$, $c = 1663$, $a = 211$; в якості вибірки № 2 – $m = 6075$, $c = 1366$, $a = 1283$; а в якості вибірки № 3 – $m = 714025$, $c = 4096$, $a = 150889$.

Отримані результати для кожного об'єму вибірки окремо наведено нижче.

Результати досліджень для вибірки об'ємом 100 елементів. На основі використання критерія Колмогорова-Смірнова та χ^2 -критерія підтверджена гіпотеза про рівномірність розподілу значень досліджуваних реалізацій для всіх методів генерації. Результати оцінювання метрологічних характеристик досліджуваних реалізацій наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Метрологічні характеристики статистичних оцінок послідовностей, згенерованих методами Мартіна, конгруентним та за допомогою вбудованого генератора для вибірок об'ємом 100 елементів

Метод генерування	№ вибірки	MX1	MX2	MX3	MX4	MX5
Метод Мартіна	1	0,167	11,525	4	0,157	0,733
	2	1,099	17,901	4	0,261	0,733
	3	8,046	12,493	2	0,222	0,857
Конгруентний метод	1	0,629	12,907	1	0,150	0,571
	2	5,037	7,857	3	0,181	0,615
	3	2,415	0,352	1	0,110	0,929
Вбудований генератор	-	0,402	0,712	0	0,039	0,109

У табл. 1 (та далі у табл. 2 та табл. 3) використані наступні позначення метрологічних характеристик:

- MX1 - відносна похибка математичного сподівання, %;

- MX2 - відносна похибка дисперсії, %;
- MX3 - кількість значень АКФ з 10 можливих (для табл. 2 - 100 можливих, а для табл. 3 – 1000 можливих значень), які перевищили заданий допустимий поріг;
- MX4 - максимальне значення кореляційного шуму;
- MX5 - максимальне відхилення значень гистограми відносно 1.

Результати досліджень для вибірки об'ємом 1000 елементів. На основі критеріїв Колмогорова-Смірнова та χ^2 підтверджена гіпотеза про рівномірність розподілу значень отриманих реалізацій для всіх генераторів псевдовипадкових чисел. Отримані метрологічні характеристики досліджуваних реалізацій наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Метрологічні характеристики статистичних оцінок послідовностей, згенерованих методами Мартіна, конгруентним та за допомогою вбудованого генератора для вибірок об'ємом 1000 елементів

Метод генерування	№ вибірки	MX1	MX2	MX3	MX4	MX5
Метод Мартіна	1	0,581	5,317	38	0,062	0,442
	2	1,271	1,818	54	0,085	0,467
	3	1,635	3,449	50	0,094	0,510
Конгруентний метод	1	0,143	1,016	28	0,170	0,219
	2	3,156	0,107	56	0,076	0,553
	3	2,414	0,254	48	0,097	0,449
Вбудований генератор	-	0,402	0,712	27	0,054	0,264

Результати досліджень для вибірки об'ємом 10000 елементів. На основі критеріїв Колмогорова-Смірнова та χ^2 підтверджена гіпотеза про рівномірність розподілу значень досліджуваних реалізацій для всіх генераторів псевдовипадкової послідовності чисел. Метрологічні характеристики досліджуваних реалізацій наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Метрологічні характеристики статистичних оцінок послідовностей, згенерованих методами Мартіна, конгруентним та за допомогою вбудованого генератора для вибірок об'ємом 10000 елементів

Метод генерування	№ вибірки	MX1	MX2	MX3	MX4	MX5
Метод Мартіна	1	1,188	1,149	279	0,034	0,371
	2	0,218	0,043	315	0,030	0,319
	3	0,191	0,619	296	0,035	0,348
Конгруентний метод	1	0,094	0,138	75	0,799	0,125
	2	0,194	0,315	97	0,585	0,143
	3	0,872	0,259	254	0,029	0,309
Вбудований генератор	-	0,600	0,350	532	0,068	0,500

Аналіз результатів дослідження. Для методу Мартіна та конгруентного методу генерування псевдовипадкової послідовності чисел проводилося по три експерименти для вибірок різного об'єму з різними початковими значеннями. Тому, для вибору генератора спочатку необхідно було обґрунтувати вибір тієї чи іншої вибірки для двох зазначених методів генерування.

Згідно з даними табл. 1 та використанням паретовських рішень для багатокритеріальних задач, для реалізації білого шуму методом Мартіна об'ємом вибірки 100 елементів краще вибрати вибірку № 1, для конгруентного методу також краще вибрати вибірку № 1.

Згідно з даними табл. 2, для вибірок об'ємом 1000 елементів для реалізації білого шуму методами Мартіна конгруентним та краще вибрати вибірку № 1

Необхідно звернути увагу, що згідно з даними табл. 1 та табл. 2, для вибірок об'ємом 100 та 1000 елементів найбільш ваговою за метрологічними характеристиками є ступінь відповідності реалізацій шумового сигналу, отриманого за допомогою вбудованого генератора (функція `unifrnd`).

Для вибірок більшого об'єму результати вже різняться. Так, згідно з даними табл. 3 та використанням паретовських рішень для багатокритеріальних задач, для реалізації білого шуму методом Мартіна об'ємом вибірки 10000 елементів краще вибрати вибірку № 2, а для реалізацій білого шуму конгруентним методом – № 1.

З порівняння метрологічних характеристик генераторів псевдовипадкової послідовності чисел об'ємом вибірки 10000 елементів можна зробити висновок, що найбільш ваговою за метрологічними характеристиками є ступінь відповідності реалізацій шумового сигналу, отриманого за допомогою конгруентного метода.

Такі результати зумовлені тим, що у випадку використання методів конгруентного або Мартіна для малих об'ємів вибірки (порядку 100-3000 елементів) результати не можуть носити повністю випадковий характер, але для вибірок достатньо великого об'єму (більше 3000 елементів), вбудовані генератори дають гірші результати за метрологічними характеристиками.

Отримані результати дослідження можуть бути використані для розроблення паспорту конкретного програмного забезпечення з відповідними метрологічними характеристиками.

Висновки. Проведене дослідження з оцінювання ступеню відповідності реалізацій білого шуму, отриманих за допомогою різних генераторів псевдовипадкової послідовності чисел до самого білого шуму з рівномірним законом розподілу дозволяє зробити висновок, що результати статистичної вагомості метрологічних характеристик реалізацій залежать більшою мірою від об'єму вибірки елементів досліджуваної реалізації.

Результати дослідження показали, що у випадку використання паретовських рішень для багатокритеріальної задачі статистичної відповідності метрологічних характеристик реалізацій білого шуму з рівномірним законом розподілу для вибірок малого об'єму (до 3000 елементів), кращу ступінь відповідності реалізацій має вбудований у середовище Matlab генератор (функція `unifrnd`), але для реалізацій білого шуму більшого об'єму (більше 3000 елементів) вагомішим стає конгруентний метод генерації псевдовипадкової послідовності чисел. Метод Мартіна не виявив себе як кращий за метрологічними характеристиками для жодного об'єму вибірки.

1. Иванов М. А. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайной последовательности [Текст] / М. А. Иванов, И. В. Чугунков. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. – 240 с.

2. Random number generation. [Электронный ресурс]. URL: <http://mandala.co.uk/links/random/>

3. Мартинюк Г. В. Статистичний аналіз кореляційних характеристик псевдовипадкових шумових сигналів [Текст] / Г. В. Мартинюк, Л. М. Щербак // Вісник інженерної академії наук. – 2015. - № 2. – С. 101-105.

4. Rukhin, A. A statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications. NIST, 2001 [Электронный ресурс]. URL: <http://csrc.nist.gov/rng/SP800-22b.pdf>.

5. Мартинюк Г.В. Аналіз генераторів псевдовипадкових чисел за метрологічними характеристиками / Г.В. Мартинюк, Ю.Ю. Оникієнко, Л.М. Щербак // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Т. 1/9 (79) – С. 25-30.