

УДК 004

Д.Лисенко, магістр гр. КІ-23М

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПРОГРАМАТОРА ВЕРСТАТІВ ЧПК З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТРОЛЕРА AT90USB647-AU

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU. Об'єктом дослідження є процес програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU. Предметом дослідження є методи програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU. Методи дослідження базуються на методах цифрової схемотехніки, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Фахівець, що припускає використовувати всі переваги ЧПК, зобов'язаний, насамперед, вивчити його, причому одночасно із двох точок зору: спочатку з позиції програміста й з позиції оператора-верстатника. Першим завданням будь-якої людини, що опановує технологією обробки металів за допомогою ЧПК, є вивчення основ традиційної механічної обробки металів. Спроба вивчити нове обладнання без сукупності знань про загальні принципи металообробки порівнянна з вивченням керування літаком без знань про основи аеродинаміки. Основними поняттями при роботі з верстатами зі ЧПК є: попереднє й чистове гостріння, нарізування різьблення й т.п. З погляду програміста вивчення будь-якого верстата зі ЧПК необхідно починати з вивчення чотирьох основних моментів:

- основні компоненти верстата;
- рух інструмента або стола у всіх припустимих напрямках (осях);
- допоміжні елементи верстата;
- тонкості програмування кожної з функцій верстата.

Знання конструкції верстата допомагає чітко усвідомити межі можливих операцій на даному верстаті для найбільш ефективного його застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи програматора верстатів чпк з використанням контролера AT90USB647-AU.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU.
- Дослідження системи програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU.
- Програмна реалізація системи програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU.

Об'єктом дослідження є процес програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU.

Предметом дослідження є методи програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU.

Методи дослідження базуються на методах цифрової схемотехніки, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Програмування з ЧПК – це послідовність кроків, які перетворюють концептуальний проект у відчутну реальність. Розуміння тонкощів цього процесу проливає світло на те, як верстати з ЧПК забезпечують точність і ефективність виробництва.

Доступ до дизайну: моделі 3D або CAD

Подорож починається з того, що програміст ЧПК отримує доступ до тривимірної (3D) або моделі автоматизованого проектування (CAD) запланованої деталі. Це цифрове представлення служить основою для подальших кроків програмування. Модель CAD інкапсулює зовнішню геометрію деталі та інші важливі деталі, такі як розміри, характеристики та характеристики матеріалів.

Перехід на програмне забезпечення САМ

Перехід від моделі САПР до машинних інструкцій з ЧПК передбачає використання програмного забезпечення автоматизованого виробництва (САМ). Програмне забезпечення САМ діє як міст, перекладаючи геометричну інформацію з **CAD файлу** відчутні траєкторії. Верстат з ЧПК слідуватиме цим траєкторіям під час процесу обробки. Цей крок має вирішальне значення для оптимізації траєкторії інструменту на основі складності конструкції для забезпечення ефективності та точності.

Генерація G-коду

Після встановлення траєкторії інструменту програмне забезпечення САМ починає генерувати код обробки, широко відомий як G-код. G-код містить серію буквено-цифрових команд, які диктують дії машини. Ці команди містять інформацію про рух інструменту, швидкість шпинделя, швидкість подачі та інші важливі параметри для процесу механічної обробки.

Подача в машину з ЧПК

Програміст ЧПК передає інструкції в блок керування верстата з ЧПК. Зазвичай це досягається шляхом передачі файлу G-коду на машину за допомогою портативних пристроїв зберігання. Верстат з ЧПК виконує інструкції, готовий розпочати процес виробництва.

Початок виробництва деталей

Останнім кроком є запуск верстата з ЧПК для початку процесу виробництва деталей. Оскільки верстат з ЧПК отримує та інтерпретує G-код, він мобілізує свою автоматизовану систему. Потім він точно переміщує ріжучі інструменти для виконання запрограмованих траєкторій. Результатом є систематичне видалення матеріалу, поступове розкриття бажаної частини з неперевершеною точністю.

Види програмування ЧПК

Програмування з ЧПК – це багатогранна сфера з різними підходами, що задовольняють різні рівні складності, досвід користувача та вимоги до обробки. Розуміння різноманітних типів методів програмування ЧПК дає змогу зрозуміти, як вибрати найбільш прийнятний підхід для конкретних виробничих потреб.

Ручне програмування ЧПК

Ручне програмування з ЧПК є основоположним і основним стилем навчання верстатів з ЧПК. У цьому методі програмісти ЧПК вручну вводять команди безпосередньо в консоль керування верстатом ЧПК. Це ідеальний підхід для обробки простих деталей і часто використовується, коли операція проста.

Ручне програмування ЧПК добре підходить для ситуацій, коли геометрія деталей нескладна, а вимоги до програмування відносно прості. Однак його обмеження роблять його менш ідеальним для обробки складних деталей зі складними функціями.

Незважаючи на свою простоту, ручне програмування може бути трудомістким і займати багато часу. Кожна команда повинна бути введена ретельно, залишаючи місце для помилок. Крім того, відсутність попереджень або сповіщень про можливі помилки збільшує ймовірність помилок. Це може призвести до пошкодження інструменту або машини.

Розмовне програмування

Це передбачає використання верстатів з ЧПК, оснащених вбудованим розмовним інтерфейсом програмування. На відміну від традиційного програмування за допомогою G-коду, цей метод дозволяє користувачам вводити команди простою англійською мовою. Він також може використовувати відповіді на серію керованих запитань, які надає система.

Розмовне програмування спрощує процес програмування ЧПК, роблячи його більш доступним для користувачів із різним рівнем досвіду. Це зручно для швидкого створення програм, особливо для простих дизайнів. Простий мовний інтерфейс підвищує зручність для користувача порівняно з традиційними методами G-коду.

Хоча розмовне програмування ефективно для простих проектів, його простота може стати обмеженням при роботі зі складнішими частинами. Крім того, недостатня точність G-коду може бути непридатною для застосувань, які вимагають найвищого рівня точності та складної обробки.

Програмування САМ

Програмне забезпечення автоматизованого виробництва (САМ) є широко поширеним методом програмування з ЧПК, особливо в галузях, які вимагають точності та універсальності. Програмне забезпечення САМ автоматизує створення траєкторій на основі 3D або CAD моделі деталі. Це забезпечує ефективний і точний засіб програмування ЧПК.

Програмування САМ забезпечує неперевершену швидкість і точність порівняно з ручними методами. Це дозволяє програмістам ЧПК візуалізувати траєкторії інструменту. Таким чином вони можуть визначити потенційні проблеми під час обробки. Програмне забезпечення САМ є гнучким, воно може легко передавати код між різними верстатами з ЧПК без необхідності переписувати всю програму.

Програмування САМ відмінно підходить для створення деталей зі складними функціями та підходить для простих і складних конструкцій. Можливість імітувати траєкторії інструменту та візуалізувати процес обробки покращує контроль програміста над процесом виробництва. Це зменшує ймовірність помилок.

Застосування програмування ЧПК в різних галузях промисловості

Програмування з ЧПК стало основою точного виробництва, знайшовши застосування в різних галузях. Верстати з ЧПК пропонують адаптивність і точність для створення різних продуктів, від складних прототипів до основних компонентів для різних секторів.

Сектор охорони здоров'я

Програмування з ЧПК революціонізує галузь охорони здоров'я, дозволяючи виготовляти індивідуальні протези, імплантати та інші штучні анатомічні частини. Заміщення суглобів, черепні імплантати та реставрації зубів виготовляються з точністю, щоб забезпечити ідеальне прилягання до пацієнтів.

Виробники використовують програмування з ЧПК для виготовлення передових компонентів для медичних пристроїв. Обробка з ЧПК дозволяє тестувати та виготовляти складні деталі, які мають вирішальне значення для функціональності та надійності медичного обладнання.

Побутова електроніка

Механічна обробка з ЧПК, що керується точним програмуванням з ЧПК, відіграє вирішальну роль у секторі побутової електроніки. Ця технологія широко використовується для створення прототипів і компонентів таких пристроїв, як ноутбуки, смартфони та інша електроніка. Висока точність, яку забезпечують верстати з ЧПК, є корисною для виготовлення деталей, таких як друковані плати.

Масштабованість програмування ЧПК робить його добре придатним для великомасштабного виробництва в промисловості побутової електроніки. Верстати з ЧПК

можуть ефективно виробляти компоненти незмінної якості, щоб задовольнити попит на виробництво великої кількості.

Аерокосмічна та авіаційна промисловість

Програмування з ЧПК полегшує виробництво різних компонентів і деталей, необхідних для літаків. Пропелери, крила, рами, компоненти шасі та двигуни є одними з багатьох продуктів, створених із високою точністю за допомогою обробки з ЧПК.

Програмування з ЧПК також забезпечує високоякісне виготовлення компонентів, таких як лопаті гвинтів вертольотів і елементів космічних кораблів, таких як супутники та ракети.

Автомобільна промисловість

Верстати з ЧПК використовуються в різноманітних сферах застосування в автомобільному секторі, починаючи від деталей рідинних систем і підвісок і закінчуючи складними компонентами для внутрішніх і зовнішніх характеристик автомобілів. Програмування з ЧПК широко використовується в автомобільній промисловості для виготовлення основних компонентів для двигунів. Деякі приклади включають головки циліндрів, колінчасті вали, розподільні вали, клапани та різні кронштейни.

Поради щодо успішного програмування верстатів з ЧПК

Освоєння програмування верстатів з ЧПК – це поєднання технічного досвіду, уваги до деталей і прагнення до точності. Незалежно від того, чи є ви досвідченим програмістом з ЧПК, чи новачком, наведені нижче поради є безцінними для забезпечення успішного програмування верстатів із ЧПК та отримання оптимальних результатів обробки.

Опануйте основи

Перш ніж приступати до будь-якого проекту з програмування ЧПК, переконайтеся, що ви добре володієте основами машинного програмування. Незалежно від того, використовуєте розмовний або ручний метод програмування, ще раз перевірте обчислення, щоб гарантувати використання точних специфікацій машини. Точність верстата з ЧПК безпосередньо пов'язана з точністю основних математичних розрахунків.

Програми тонкого налаштування

Інвестуйте час у доопрацювання програми ЧПК, особливо в проектах, які передбачають значні обсяги обробки. Коли програму оптимізовано та підтверджено, що вона функціонує правильно, її часто можна «встановити та забути». Однак оптимізація окремих елементів машинного коду ЧПК може значно підвищити загальну ефективність процесу обробки.

Налаштуйте швидкість подачі на основі тонкощів проекту обробки. Пристосування швидкості подачі до конкретних вимог різних секцій деталі може оптимізувати видалення матеріалу, забезпечуючи незмінну якість.

Зрозумійте типи компенсації

Компенсація в програмуванні ЧПК відноситься до обліку відхилень, які можуть виникнути під час обробки. Ознайомтеся з різними типами компенсації, включаючи зміщення для пристосувань, знос інструменту, компенсацію радіуса різця та компенсацію довжини інструменту. Розуміння та відповідне застосування методів компенсації сприяє досягненню точних і безпомилкових результатів обробки.

Багато сучасних верстатів з ЧПК оснащені інструментами автоматичної попередньої настройки для програмування компенсацій. Використовуйте ці інструменти, щоб оптимізувати процес компенсації або вводити компенсації вручну, якщо необхідно. Ця увага до деталей гарантує, що верстат з ЧПК пристосовується до таких факторів, як знос інструменту. Це забезпечує послідовну та точну обробку.

Зробіть програми простими

У багатьох додатках обробки з ЧПК використання G-кодів як частини стандартних стандартних циклів може значно скоротити час програмування. Стандартні цикли дозволяють повторювати звичайні операції обробки без необхідності програмувати кожну операцію окремо. Це спрощує машинний код ЧПК і підвищує ефективність програмування.

Хоча простота має вирішальне значення, переконайтеся, що програма ЧПК оптимізована для підвищення ефективності. Оцініть процес обробки, щоб визначити можливості оптимізації програми без шкоди для точності. Це може включати консолідацію повторюваних команд або використання ефективних траєкторій для мінімізації часу обробки.

Моніторинг і коригування в реальному часі

Інвестуйте в верстати з ЧПК із можливістю моніторингу в реальному часі. Інструменти моніторингу дозволяють операторам спостерігати за процесом обробки, коли він розгортається. Цей проактивний підхід дозволяє машиністам негайно виявляти потенційні проблеми, такі як знос інструменту або відхилення від запрограмованих траєкторій.

Активно стежте за процесом обробки та будьте готові вносити коригування в режимі реального часу, якщо це необхідно. Це може включати налаштування швидкості подачі, зміну траєкторії інструменту або вирішення неочікуваних проблем. Можливість робити спонтанні налаштування підвищує загальну ефективність і успіх програмування верстатів з ЧПК.

Мікросхема AT90USB647-AU

Характеристики мікросхеми: 64KB 2.7V~5.5V AVR 16MHz FLASH 48 TQFP-64(14x14) Блоки мікроконтролерів (MCU/MPU/SOC) ROHS.

Нижче наведено більш детальні характеристики:

- Упаковка: Піднос.
- Статус частини: Активний.
- Ядро процесора: AVR.
- Розмір ядра: 8-розрядний.
- швидкість: 16 МГц.
- Підключення: EBI/EMI, I2C, SPI, UART/USART, USB OTG.
- Периферійні пристрої: Виявлення/скидання вимкнення, POR, PWM, WDT.
- Кількість входів/виходів: 48.
- Розмір програмної пам'яті: 64 Кб (64 Кб x 8).
- Тип пам'яті програми: СПАЛІХ.
- Розмір EEPROM: 2К x 8.
- Розмір оперативної пам'яті: 4К x 8.
- Напруга - живлення (Vcc/Vdd): 2,7 В ~ 5,5 В.
- Перетворювачі даних: A/D 8x10b.
- Тип осцилятора: внутрішній.
- Робоча температура: -40°C ~ 85°C (TA).
- Тип монтажу: Поверхневий монтаж.
- Пакет пристроїв постачальника: 64-TQFP (14x14).
- Пакет / футляр: 64-TQFP.
- Базовий номер продукту: AT90USB647.

Розробка структурної схеми

У будь-якого верстата зі ЧПК є певний набір функцій, які можуть бути перепрограмовані. Часто дороге встаткування допускає тільки ручне керування більшістю своїх функцій. Наприклад, багато фрезерних верстатів дозволяють запрограмувати тільки рух інструмента. А такі функції, як напрямок і швидкість обертання шпинделя, подача охолодження або зміна інструмента можуть бути зроблені оператором тільки вручну.

З іншої сторони більш дороге встаткування допускає програмне керування більшістю своїх функцій, а завдання оператора зводиться до завантаження заготовлі й зніманні готової деталі. У цьому випадку після запуску обробки оператор повністю вільний для виконання інших функцій.

Нижче наведений список найбільше часто використовуваних функцій разом з відповідними адресами:

– Керування шпинделем. Слово з адресою «S» використовується для завдання швидкості обертання шпинделя (число обертів у хвилину). Крім того, застосовується одна з допоміжних функцій: M03 задає обертання шпинделя за годинниковою стрілкою; M04 визначає обертання шпинделя проти годинникової стрілки; нарешті M05 виключає двигун, що обертає шпиндель. Зверніть увагу на особливість токарських центрів – функцію постійної швидкості різання, що визначає швидкість обертання шпинделя так, щоб забезпечити постійне знімання точної кількості металу за хвилину.

– Пристрій автоматичної зміни інструмента (Обробні Центри). Слово з адресою «T» повідомляє систему зі ЧПК про номер інструмента, що повинен бути використаний далі. У більшості випадків саме допоміжна функція M06 повідомляє про необхідність зробити фізичну зміну інструмента.

– Пристрій автоматичної зміни інструмента (Токарські центри). У більшості випадків використовується адреса «T» і чотири цифри. Перші дві цифри визначають номер турелі, а останні – номер позиції з потрібним інструментом на турелі.

– Керування охолодженням. Допоміжна функція M08 використовується для включення подачі охолодної рідини. У ряді випадків доступна функція M07 для включення подачі холодоагенту у вигляді туману. Функція M09 виключає подачу охолодної рідини.

– Пристрій для автоматичної зміни паллет. Допоміжна функція M60 звичайно використовується для того, щоб замінити паллету.

Токарські верстати зі ЧПК в порівнянні зі звичайними верстатами мають більше широкі технологічні можливості:

Компенсація погрішностей

Верстати зі ЧПК дозволяють проводити компенсацію погрішностей як самого верстата, так і погрішностей, що виникають у процесі обробки деталей.

Перший метод полягає в проведенні компенсації систематичної складової погрішностей на основі апріорної інформації про погрішності верстата зі ЧПК або всієї технологічної системи, отриманої аналітичними розрахунками або експериментальними дослідженнями (пружних деформацій, люфту в приводі подач, погрішностей інструмента, ходового гвинта й ін.).

Компенсація накопиченої погрішності кроку ходового гвинта, зазорів у приводі подачі, теплових деформацій здійснюється за допомогою постійно діючих програм корекції, закладених на згадку пристрою ЧПК. Причому такі можливості дозволяють не тільки підвищити початкову точність верстата зі ЧПК, але й шляхом періодичного виміру мінливих погрішностей верстата і їхньої корекції в пам'яті пристрою ЧПК підтримувати точність верстата в заданій межі в процесі експлуатації.

При іншому методі компенсація погрішностей верстата зі ЧПК здійснюється на основі інформації, що надходить безупинно або переривчасто від систем зворотного зв'язка з датчиками, що вимірюють

- початкові погрішності верстата (наприклад, геометричні параметри);
- погрішності, що виникають у процесі експлуатації (наприклад, вібрації, теплові деформації, інструмента й ін.);
- погрішності, викликувані зовнішніми впливами (температура, вібрації, припуск на заготівлі, твердість оброблюваного матеріалу й ін.);
- погрішності безпосередньо оброблюваних деталей (розмірів, форми, шорсткості й ін.).

Застосування зворотних зв'язків ускладнює верстат зі ЧПК, але дозволяє компенсувати не тільки систематичну, але й випадкову складову погрішностей і проводити цю компенсацію безупинно в процесі експлуатації. По такому методі працюють адаптивні системи керування, які дозволяють компенсувати погрішності обробки, обумовлені таким випадковими факторами, як коливання припуску на заготівлі й твердості оброблюваного матеріалу, а також затуплення різального інструменту.

Методи контролю верстатів зі ЧПК

Для верстатів зі ЧПК розроблені й застосовуються нові види контролю їхньої початкової точності. При роботі верстата зі ЧПК вхолосту визначається комплексний показник початкової точності – погрішності позиціонування.

Комплексна перевірка верстата зі ЧПК в роботі проводиться шляхом обробки заданої деталі (або декількох різних деталей) на певних режимах різання з регламентацією розмірів, що доручаються. Застосовують також контроль точності верстатів зі ЧПК обмацуванням спеціального еталона по заданій програмі й фіксації одержуваних відхилень. Контроль надійності роботи верстата й пристрою ЧПК проводиться при їхній безперервній роботі вхолосту по певній тест-програмі протягом заданого часу.



Рисунок 1 – Структурна схема системи

Діагностика технічного стану верстата зі ЧПК

Сучасні системи ЧПК дозволяють проводити діагностику технічного стану верстата й пристрою ЧПК, забезпечують оперативну видачу інформації про виникаючі несправності, а також дозволяють прогнозувати стан як окремих механізмів і блоків, так і верстатів зі ЧПК в цілому.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU.

Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU.
- Досліджена система програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання програматора верстатів ЧПК з використанням контролера AT90USB647-AU. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Список літератури

1. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.
2. Kuznetsov, O., Kuznetsova, Y., Smirnov, O., Kostenko, O., Zvieriev, V. «Evaluating Hashing Algorithms in the Age of ASIC Resistance». *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 93-105.
3. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchey, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
4. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023, 178, pp. 208–223.
5. Smirnova, T., Gnatyuk, S., Yudin, O., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., «The Model for Calculating the Quantitative Criteria for Assessing the Security Level of Information and Telecommunication Systems». *CEUR Workshop Proceedings Volume 3156*, 2022, Pages 390-399.
6. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». *Communications in Computer and Information Science*, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.
7. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
8. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». *Journal of theoretical and applied information technology* Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.
9. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
10. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications*. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
11. Smirnov, O., Markovets, O. Vovk, N., Turchyn, Y., «Model of informational support for social network administrators' content creation». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2616*, 2020, Pages 125-136.
12. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2616*, 2020, Pages 366-379.
13. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», *CEUR Workshop Proceedings Volume 2608*, 2020, Pages 633-645.
14. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019*; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
15. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». *International Journal of Computing*; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
16. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.
17. Smirnov, O., Odarchenko, R., Abakumova, A., Usik, P., Kundyz, M., «QoE optimization technique for media delivery in 5G networks». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019. P.597-601.
18. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». *CEUR Workshop Proceedings*, Vol 2588, P. 90-106, 2019.
19. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
20. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kiian, A., Zamula, A., Rudenko, S., Hryhorenko, V., «Variance Analysis of Networks Traffic for Intrusion Detection in Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 353-358.
21. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.

22. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special Correlation Properties», CEUR Workshop Proceedings Volume 2353, CEUR Workshop Proceedings 2019, Pages 618-629.
23. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», Telecommunications and Radio Engineering. – Volume 74, Issue 1. – Begel House Inc. – 2015. – P. 61-78.
24. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко А.С., Смірнов С.А., Буравченко К.О. «Дослідження вимог міжнародних стандартів IEC60880 та IEC62138 з розробки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, вип. 3(73), С. 155-166.